ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 70415— 2022

ЧЕХЛЫ И ШТАНГИ ПРИВОДОВ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ ВОДО-ВОДЯНОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО РЕАКТОРА

Расчет на прочность на стадиях проектирования и эксплуатации

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2023

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Федеральным государственным унитарным предприятием «Центральный научно-исследовательский институт конструкционных материалов «Прометей» им. И.В. Горынина Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» (НИЦ «Курчатовский институт» — ЦНИИ КМ «Прометей») и Акционерным обществом «Инжиниринговая компания «АЭМ-технологии» (АО «АЭМ-технологии»), филиал Акционерного общества «Инжиниринговая компания «АЭМ-технологии» «Ижора» (филиал АО «АЭМ-технологии» «Ижора»)

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 27 декабря 2022 г. № 1646-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 и определения 2
4 Обозначения и сокращения 2
5 Общие положения 4
6 Классификация напряжений и номинальные допускаемые напряжения 5
7 Режимы нагружения и учитываемые факторы 6
8 Расчет на статическую прочность 7
8.1 Компоненты чехлов приводов систем управления и защиты 7
8.2 Компоненты штанг приводов систем управления и защиты 7
9 Расчет на циклическую прочность 9
10 Расчет на устойчивость 9
10.1 Компоненты чехлов приводов систем управления и защиты 9
10.2 Компоненты штанг приводов систем управления и защиты 9
11 Расчет на сопротивление разрушению 10
11.1 Компоненты чехлов приводов систем управления и защиты 10
11.2 Компоненты штанг приводов систем управления и защиты 10
12 Расчет на внешние динамические воздействия 11
13 Расчет на вибропрочность 13
Приложение А (обязательное) Статическая трещиностойкость стали марки 14Х17Н2 14
Библиография 16

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ЧЕХЛЫ И ШТАНГИ ПРИВОДОВ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ ВОДО-ВОДЯНОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО РЕАКТОРА

Расчет на прочность на стадиях проектирования и эксплуатации

Shells and rods for drives of control and protection systems of water-water energetic reactor. Strength assessment for stages of design and operation

Дата введения — 2023—02—01

1 Область применения

1.1 Настоящий стандарт устанавливает требования к расчету на прочность чехлов и штанг приводов систем управления и защиты (изготовленных из хромоникелевых сталей аустенитного класса и стали марки 14Х17Н2) для водо-водяных энергетических реакторов.

1.2 Настоящий стандарт предназначен для применения на стадиях проектирования и эксплуатации приводов систем управления и защиты водо-водяных энергетических реакторов типа ВВЭР-440, ВВЭР-1000, ВВЭР-1200 и ВВЭР-ТОИ.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 22761 Металлы и сплавы. Метод измерения твердости по Бринеллю переносными твердомерами статического действия

ГОСТ 23082 Реакторы ядерные. Термины и определения

ГОСТ 34233.4 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет на прочность и герметичность фланцевых соединений

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

ГОСТ Р 59115.2 Обоснование прочности оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. Модуль упругости, температурный коэффициент линейного расширения, коэффициент Пуассона, модуль сдвига

ГОСТ Р 59115.3—2021 Обоснование прочности оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. Кратковременные механические свойства конструкционных материалов

ГОСТ Р 59115.6—2021 Обоснование прочности оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. Методы определения характеристик трещиностойкости конструкционных материалов

ГОСТ Р 59115.7—2021 Обоснование прочности оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. Прибавки к толщине стенки на сплошную коррозию

ГОСТ Р 59115.8—2021 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 59115.10—2021 Обоснование прочности оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. Уточненный поверочный расчет на стадии проектирования

ГОСТ Р 59115.11—2021 Обоснование прочности оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. Поверочный расчет на постпроектных стадиях

Издание официальное

ГОСТ Р ИСО 6507-1 Металлы и сплавы. Измерение твердости по Виккерсу. Часть 1. Метод измерения

ГОСТ Р ИСО 6507-4 Металлы и сплавы. Измерение твердости по Виккерсу. Часть 4. Таблицы определения твердости

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.

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по ГОСТ 23082, ГОСТ Р 59115.1, а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 **максимальное расчетное землетрясение:** Землетрясение максимальной интенсивности на площадке атомной станции с повторяемостью один раз в 10 000 лет.

3.2 **напряженно-деформированное состояние компонентов чехлов и штанг приводов системы управления и защиты:** Совокупность полей напряжений и соответствующих им полей деформаций, возникающих в компонентах чехлов и штанг приводов системы управления и защиты в результате воздействия внешних нагрузок, а также температурного и радиационного воздействия.

3.3 **охватываемая деталь:** Деталь резьбового соединения, имеющая наружную резьбу.

3.4 **охватывающая деталь:** Деталь резьбового соединения, имеющая внутреннюю резьбу.

3.5 **поверочный расчет:** Расчет на прочность компонента конструкции по различным критериям, проводимый после выбора основных размеров компонента конструкции, его материала и условий его нагружения в соответствии с принятой моделью эксплуатации.

3.6 **чехол:** Элемент привода системы управления и защиты, который образует границу удержания давления первого контура*.

3.7 **штанга:** Элемент исполнительного механизма системы управления и защиты, обеспечивающий механическую связь привода и рабочего органа приводов системы управления и защиты**.

4 Обозначения и сокращения

4.1 Сокращения

В настоящем стандарте применены следующие сокращения:

ВВЭР — водо-водяной энергетический реактор;

КИН — коэффициент интенсивности напряжений;

МРЗ — максимальное расчетное землетрясение;

НДС — напряженно-деформированное состояние;

ННУЭ — нарушение нормальных условий эксплуатации;

НУЭ — нормальные условия эксплуатации;

ПЗ — проектное землетрясение;

СУЗ — система управления и защиты;

УИ — условия испытаний;

УПА — условия проектной аварии.

---

* Элемент системы управления и защиты, попадающий под действие федеральных норм и правил в области использования атомной энергии [1].

** Элемент системы управления и защиты, не попадающий под действие федеральных норм и правил в области использования атомной энергии [1].

4.2 Обозначения

В настоящем стандарте применены следующие обозначения:

a — длина малой полуоси расчетного дефекта, мм;

a_1, a_2 и a_3 — коэффициенты, характеризующие вид температурной зависимости статической трещиностойкости $K_{Jc(med)}(T)$ в соответствии с методом Advanced Unified Curve, независимо от состояния материала, a_1 — безразмерный коэффициент, коэффициенты a_2 и a_3 в °С;

A — площадь поперечного сечения компонента, мм^2;

B_p — длина фронта расчетного дефекта (трещины), мм;

$\overline{B}$ — референсная длина фронта расчетного дефекта (трещины), равная 25 мм;

c — длина большой полуоси расчетного дефекта, мм;

d_0 — наружный диаметр резьбы шпильки (болта), мм;

d_1 — внутренний диаметр резьбы шпильки (болта), мм;

E^T — модуль упругости материала компонента при температуре T, МПа;

F — флюенс нейтронов с энергией более 0,5 МэВ, нейтр./м^2;

F_0 — нормирующий множитель, равный $1 \cdot 10^{22}$ нейтр./м^2;

h_w — высота рабочей части резьбы резьбового соединения, мм;

HB_0 — нормирующий множитель, равный, 1 НВ;

HV_0 — нормирующий множитель, равный, 1 HV;

$HV^{исх}$ — твердость по Виккерсу материала в исходном состоянии, HV;

$HV^{обл}$ — твердость по Виккерсу материала после нейтронного облучения, HV;

$HB^{обл}$ — твердость по Бриннелю материала после нейтронного облучения, НВ;

I — момент инерции поперечного сечения компонента, мм^4;

k_{1b} — коэффициент полноты резьбы охватываемой детали;

k_{1n} — коэффициент полноты резьбы охватывающей детали;

k_F — параметр твердости материала, HV;

k_{HV} — коэффициент, учитывающий изменение твердости материала;

K_I — КИН первого рода (для модели трещины нормального отрыва), МПа · м$^{1/2}$;

K_J — КИН, рассчитанный по величине J-интеграла, МПа · м$^{1/2}$;

K_{Jc} — статическая трещиностойкость, МПа · м$^{1/2}$;

$\overline{K}_{Jc}$ — значение статической трещиностойкости для расчетного дефекта длиной фронта $\overline{B}$ при вероятности хрупкого разрушения 0,05, МПа · м$^{1/2}$;

$K_{Jc(med)}$ — значение статической трещиностойкости для расчетного дефекта длиной фронта $\overline{B}$ при вероятности хрупкого разрушения 0,5, МПа · м$^{1/2}$;

K_{Jc}^{shelf} — температурно-независимая составляющая статической трещиностойкости, МПа · м$^{1/2}$;

K_{min} — минимально возможная статическая трещиностойкость, МПа · м$^{1/2}$;

L — длина компонента, мм;

n — коэффициент запаса на КИН;

$n_{0,2}$ — коэффициент запаса прочности по условному пределу текучести;

n_F — коэффициент приращения твердости материала под действием нейтронного облучения;

n_m — коэффициент запаса прочности по временному сопротивлению;

P — максимальная эксплуатационная нагрузка на штангу, Н;

P_{cr} — критическая нагрузка, при которой в процессе испытаний компонент штанги теряет устойчивость, Н;

P_w — суммарное усилие в шпильках (болтах) фланцевого соединения, Н;

$R_{p0,2}^T$ — минимальное значение условного предела текучести при температуре T, МПа;

R_m^T — минимальное значение временного сопротивления при температуре T, МПа;

T — расчетная температура, °С;

$T_{обл}$ — температура облучения, °С;

T_{100} — температура, при которой значение статической трещиностойкости на температурной зависимости статической трещиностойкости $K_{Jc(med)}(T)$, построенной по методу Advanced Unified Curve для расчетного дефекта длиной $\overline{B}$ при вероятности хрупкого разрушения 0,5, равно 100 МПа · м$^{1/2}$, °С;

$T_{100}^{исх}$ — значение температуры T_{100} в исходном состоянии, °С;

z — количество шпилек (болтов), шт.;

ΔHV — приращение твердости по Виккерсу материала, HV;

η — коэффициент приведения длины;

σ_b — общие изгибные напряжения, МПа;

σ_c — напряжение сжатия, МПа;

σ_{cr} — критическое напряжение сжатия, МПа;

σ_m — общие мембранные напряжения, МПа;

$\sigma_{см}$ — напряжение смятия, МПа;

$(\sigma)_1$ — группа приведенных напряжений, которую определяют по составляющим общих мембранных напряжений, МПа;

$(\sigma)_2$ — группа приведенных напряжений, которую определяют по суммам составляющих общих мембранных и общих изгибных напряжений, МПа;

$(\sigma)_R$ — максимальный размах приведенных напряжений, который определяют по суммам составляющих общих и местных напряжений от механических нагрузок и температурных воздействий, МПа;

$(\sigma_s)_1$ — группа приведенных общих мембранных напряжений с учетом сейсмических воздействий, МПа;

$(\sigma_s)_2$ — группа приведенных общих мембранных и общих изгибных напряжений с учетом сейсмических воздействий, МПа;

$[\sigma]$ — номинальное допускаемое напряжение, МПа;

$[\sigma]_c$ — номинальное допускаемое напряжение сжатия, МПа;

$[\sigma]_w$ — номинальное допускаемое напряжение для резьбовых соединений, МПа;

τ — касательное напряжение, МПа;

τ_{sb} — напряжение среза резьбы охватываемой детали, МПа;

τ_{sn} — напряжение среза резьбы охватывающей детали, МПа;

τ_p — допускаемое напряжение среза в резьбе, МПа;

Ω — параметр, характеризующий вид температурной зависимости статической трещиностойкости $K_{Jc(med)}(T)$ *в* соответствии с методом Advanced Unified Curve в зависимости от состояния материала, МПа $\cdot$ м$^{1/2}$.

5 Общие положения

5.1 Расчет на прочность компонентов чехлов приводов СУЗ (полный перечень компонентов определяют в соответствии с конструкторской документацией на соответствующий тип ВВЭР) на стадии проектирования проводят в два этапа. На первом этапе выполняют расчет по выбору основных размеров в соответствии с требованиями ГОСТ Р 59115.8. На втором этапе выполняют поверочный расчет в соответствии с требованиями ГОСТ Р 59115.9 и настоящего стандарта. При этом должны быть соблюдены как требования расчета по выбору основных размеров, так и требования поверочного расчета.

5.2 Поверочный расчет на прочность компонентов чехлов приводов СУЗ на стадии проектирования проводят по предельным состояниям, предусмотренным федеральными нормами и правилами в области использования атомной энергии, устанавливающими нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок.

5.3 При проведении поверочного расчета компонентов чехлов приводов СУЗ на стадии проектирования используют номинальные значения размеров и толщин стенок рассчитываемых компонентов, кроме расчета на устойчивость, который проводят по минимальным размерам, определяемым с учетом допусков и возможных утонений за назначенный срок службы. Расчет прочности узлов, сопряжение деталей в которых осуществляется по посадке, выполняют с учетом наихудшего сочетания допусков на сопрягаемые размеры.

5.4 Расчет на прочность компонентов чехлов приводов СУЗ на стадии эксплуатации проводят в соответствии с требованиями ГОСТ Р 59115.11.

5.5 Расчет НДС компонентов чехлов приводов СУЗ проводят методом конечных элементов, допускается выполнять расчет НДС с использованием аналитических формул.

5.6 Расчет по выбору основных размеров компонентов штанг приводов СУЗ в рамках настоящего стандарта не проводят.

5.7 Поверочный расчет компонентов штанг приводов СУЗ на стадии проектирования проводят с учетом:

- отрицательного допуска на толщину стенки компонента;
- прогнозного (за назначенный срок службы) значения утонения за счет общей коррозии;

- прогнозного (за назначенный срок службы) значения утонения за счет износа в местах механического взаимодействия деталей приводов СУЗ.

Численное значение утонения за счет общей коррозии определяют экспериментально на основе результатов коррозионных испытаний в эксплуатационных условиях и/или на основе лабораторных исследований. Допускается принимать значение коррозионного утонения в соответствии с ГОСТ Р 59115.7—2021 (раздел 4).

Численное значение утонения за счет износа определяют экспериментально на основе результатов ресурсных испытаний опытных образцов приводов и/или анализа опыта эксплуатации изделий-аналогов в сходных условиях эксплуатационного нагружения.

Испытания, в результате которых определяют численные значения характеристик здесь и далее по тексту стандарта, должны проводиться в соответствии с действующими документами по стандартизации и актами в сфере технического регулирования.

5.8 Поверочный расчет компонентов штанг приводов СУЗ на стадии эксплуатации проводят с учетом фактических размеров компонентов, а также прогнозных значений утонения за счет общей коррозии и механического износа.

5.9 Расчет НДС компонентов штанг приводов СУЗ проводят методом конечных элементов, допускается выполнять расчет НДС с использованием аналитических формул.

5.10 При проведении поверочных расчетов следует использовать значения физических и механических свойств конструкционных материалов, приведенные в ГОСТ Р 59115.2, ГОСТ Р 59115.3 и ГОСТ Р 59115.6.

5.11 При проведении поверочного расчета на стадии эксплуатации учитывают как фактическую историю нагружения до момента определения текущего состояния, так и возможную прогнозируемую последовательность режимов эксплуатации компонента на период от момента определения текущего состояния до прогнозируемого срока службы.

6 Классификация напряжений и номинальные допускаемые напряжения

6.1 При проведении поверочных расчетов все напряжения, действующие в компонентах чехлов и штанг приводов СУЗ, разделяют на категории. Напряжения, относящиеся к различным категориям, объединяют в группы категорий напряжений.

6.2 Классификацию напряжений и объединение категорий в группы для компонентов чехлов приводов СУЗ проводят в соответствии с ГОСТ Р 59115.9.

6.3 При проведении поверочного расчета компонентов штанг используют следующие основные категории напряжений, которые определяют из расчета в упругой постановке:

- общие мембранные напряжения (σ_m) — напряжения, вызываемые действием механических нагрузок, нормальные к рассматриваемому сечению штанги, распределенные по всему сечению и равные среднему значению напряжений в данном сечении штанги;
- общие изгибные напряжения (σ_b) — напряжения, вызываемые действием механических нагрузок, меняющиеся по всему сечению штанги от максимального положительного значения до минимального отрицательного значения и приводящие к изгибу штанги в целом;
- напряжения сжатия (σ_c) — средние по сечению напряжения, вызываемые действием сжимающих нагрузок;
- напряжения смятия ($\sigma_{см}$) — средние напряжения на контактных поверхностях;
- напряжения среза (τ) — средние по сечению касательные напряжения, вызываемые действием поперечных (по отношению к рассматриваемому сечению) нагрузок.

6.4 Из указанных в 6.3 категорий напряжений формируют расчетные группы категорий напряжений, которые используют для оценки прочности:

- $(\sigma)_1$ — группа приведенных напряжений, которую определяют по составляющим общих мембранных напряжений;
- $(\sigma)_2$ — группа приведенных напряжений, которую определяют по суммам составляющих общих мембранных и общих изгибных напряжений;
- $(\sigma)_R$ — максимальный размах приведенных напряжений, который определяют по суммам составляющих общих и местных напряжений от механических нагрузок и температурных воздействий.

Порядок определения приведенных напряжений указан в ГОСТ Р 59115.9—2021 (подраздел 6.1). Правила обработки распределения напряжений по сечению и по толщине стенки с целью выделения средних (мембранных) и изгибных составляющих распределения приведены в ГОСТ Р 59115.9—2021 (подраздел 6.2).

6.5 Номинальные допускаемые напряжения для компонентов чехлов приводов СУЗ и компонентов штанг определяют в соответствии с ГОСТ Р 59115.8—2021 (подраздел 4.2) и ГОСТ Р 59115.9—2021 (раздел 5).

6.6 Номинальные допускаемые напряжения для компонентов чехлов приводов СУЗ и компонентов штанг определяют по значениям кратковременных механических свойств конструкционных материалов, определяемым согласно требованиям ГОСТ Р 59115.3—2021 (раздел 4).

6.7 Номинальные допускаемые напряжения для компонентов штанг определяют с учетом значения расчетной температуры T. Расчетную температуру T для компонентов штанг устанавливают в общем случае в зависимости от температуры среды первого контура ВВЭР и уровня внутренних радиационных энерговыделений.

6.8 При наличии в компоненте штанги кольцевых (поперечных) сварных соединений в несущих деталях номинальное допускаемое напряжение для компонента определяют как минимальное из допускаемых значений, вычисленных для основного металла и металла шва.

7 Режимы нагружения и учитываемые факторы

7.1 Основные расчетные режимы для оценки прочности и устойчивости чехлов приводов СУЗ включают в себя:

- затяг болтов и шпилек фланцевых соединений;
- пусковой режим;
- стационарные режимы;
- работу системы аварийной защиты;
- изменение мощности ВВЭР;
- останов;
- гидравлические испытания ВВЭР;
- пневматические испытания оболочки реакторного здания;
- нарушения нормальных условий эксплуатации;
- условия проектных аварий.

К стационарным режимам работы относятся все режимы работы ВВЭР на различных уровнях мощности в случае, если размах изменения определяющих параметров (давление и температура) в рассматриваемых компонентах не выходит за пределы ±5 % от их среднего значения за период протекания режима.

Режим «работа системы аварийной защиты» включает в себя спектр режимов, обеспечивающих функционирование элементов системы управления и защиты в нормальных условиях эксплуатации.

При нарушениях нормальных условий эксплуатации и в условиях проектных аварий учитывается изменение параметров среды как со стороны контура внутреннего давления в ВВЭР, так и со стороны среды под оболочкой реакторного здания, а также нагрузки, связанные с работой привода СУЗ.

7.2 Основные расчетные нагрузки и воздействующие факторы для чехлов приводов СУЗ включают в себя:

- внутреннее и наружное давление;
- нагрузки от затяга болтов и шпилек;
- весовые нагрузки;
- механические нагрузки, обусловленные работой привода СУЗ;
- нагрузки от внешних динамических воздействий, включая сейсмические воздействия и динамические воздействия техногенного происхождения;
- температурное воздействие.

7.3 Основные расчетные режимы для оценки прочности и устойчивости штанг приводов СУЗ включают в себя:

- режим удержания рабочего органа СУЗ в неподвижном положении;
- перемещение рабочего органа СУЗ в режиме регулирования;
- сброс рабочего органа СУЗ в режиме аварийной защиты;
- нарушения нормальных условий эксплуатации;
- условия проектных аварий.

7.4 Основные расчетные нагрузки и воздействующие факторы для штанг приводов СУЗ включают в себя:

- весовые нагрузки;

- выталкивающую силу;
- перепад давления на рабочем органе СУЗ;
- гидродинамические нагрузки;
- нагрузки от утыкания при вводе рабочего органа СУЗ в активную зону;
- нагрузки при извлечении рабочего органа СУЗ из активной зоны;
- инерционные нагрузки в динамических режимах работы привода СУЗ;
- нагрузки от внешних динамических воздействий, включая сейсмические воздействия и динамические воздействия техногенного происхождения;
- температурные воздействия;
- радиационное воздействие.

7.5 При выполнении расчетов на стадии эксплуатации следует учитывать параметры фактических и прогнозируемых (на оставшийся срок службы) режимов.

8 Расчет на статическую прочность

8.1 Компоненты чехлов приводов систем управления и защиты

8.1.1 Расчет на статическую прочность проводят только для тех компонентов чехлов приводов СУЗ, которые обеспечивают прочность и/или несущую способность привода СУЗ в целом или представляют собой границу удержания давления первого контура.

8.1.2 Расчет на статическую прочность компонентов чехлов приводов СУЗ на стадии проектирования проводят в соответствии с ГОСТ Р 59115.9—2021 (раздел 8). При этом рассматривают расчетные режимы и условия эксплуатации, указанные в 7.1, при действии расчетных нагрузок, указанных в 7.2, за исключением нагрузок от внешних динамических воздействий.

8.1.3 Расчет на статическую прочность компонентов чехлов приводов СУЗ на стадии эксплуатации проводят в соответствии с ГОСТ Р 59115.11—2021 (подраздел 6.3).

8.2 Компоненты штанг приводов систем управления и защиты

8.2.1 Расчет на статическую прочность проводят только для тех компонентов штанг приводов СУЗ, которые обеспечивают прочность и/или несущую способность привода СУЗ в целом.

8.2.2 При расчете на статическую прочность компонентов штанг приводов СУЗ следует проверить выполнение условий прочности узлов и деталей согласно 8.2.3—8.2.7 в расчетных режимах, перечисленных в 7.3, при действии расчетных нагрузок, указанных в 7.4, кроме нагрузок от внешних динамических воздействий.

8.2.3 Напряжения расчетных групп категорий напряжений, вычисленные в рамках расчета на статическую прочность узлов и деталей штанг приводов СУЗ, не должны превышать допускаемых значений, приведенных в таблице 8.1.

8.2.4 Необходимость удовлетворения требований по размахам напряжений $(\sigma)_R$ устанавливает конструкторская организация.

Таблица 8.1 — Допускаемые напряжения для компонентов штанг приводов СУЗ

Режим	$(\sigma)_1$	$(\sigma)_2$	$(\sigma)_R$
НУЭ	$[\sigma]$	$1{,}3[\sigma]$	$\min\left(\left(2{,}5-\frac{R^T_{p0,2}}{R^T_m}\right)\cdot R^T_{p0,2},\ 2\cdot R^T_{p0,2}\right)$
ННУЭ	$1{,}2[\sigma]$	$1{,}6[\sigma]$	—
УПА	$1{,}4[\sigma]$	$1{,}8[\sigma]$	—
УИ	$1{,}35[\sigma]$	$1{,}7[\sigma]$	—

8.2.5 Максимальное и минимальное значения приведенных напряжений, по которым определяют размах $(\sigma)_R$, по абсолютному значению не должны превосходить значение R^T_m.

8.2.6 Средние напряжения смятия не должны превышать $1{,}5\ R^T_{p0,2}$. В случае, если расстояние от края зоны приложения нагрузки до свободной кромки превышает размеры зоны, на которой действует нагрузка, допускаемые напряжения смятия могут быть увеличены на 25 %.

8.2.7 Средние касательные напряжения среза в компонентах, предназначенных для восприятия перерезывающих усилий (шпонки, шлицы, бобышки), не должны превышать допускаемых напряжений, приведенных в таблице 8.2.

Таблица 8.2 — Допускаемые напряжения среза для компонентов штанг приводов СУЗ (за исключением резьб)

Режим	τ	
	от механических нагрузок	от механических нагрузок и температурных воздействий
НУЭ	0,50[σ]	0,65[σ]
ННУЭ	0,60[σ]	0,77[σ]
УПА	0,70[σ]	0,90[σ]
УИ	0,68[σ]	—

8.2.8 Напряжения среза в резьбовых соединениях не должны превышать значений, приведенных в таблице 8.3.

Таблица 8.3 — Допускаемые напряжения среза в резьбе компонентов штанг приводов СУЗ

Режим	τ_p	
	от механических нагрузок	от механических нагрузок и температурных воздействий
НУЭ	0,25 $R^T_{p0,2}$	0,32 $R^T_{p0,2}$
ННУЭ	0,30 $R^T_{p0,2}$	0,38 $R^T_{p0,2}$
УПА	0,30 $R^T_{p0,2}$	0,45 $R^T_{p0,2}$
УИ	0,35 $R^T_{p0,2}$	—

Напряжение среза резьбы для охватываемой детали (шпильки или болта) рассчитывают по формуле

$$\tau_{sb} = \frac{P_w}{\pi \cdot z \cdot d_1 \cdot h_w \cdot k_{1b}}, \quad (8.1)$$

где τ_{sb} — напряжение среза резьбы охватываемой детали, МПа;

P_w — суммарное усилие в шпильках (болтах) фланцевого соединения, Н;

z — количество шпилек (болтов), шт.;

d_1 — внутренний диаметр резьбы шпильки (шпильки или болта), мм;

h_w — номинальная высота рабочей части резьбы резьбового соединения, мм;

k_{1b} — коэффициент полноты резьбы охватываемой детали.

Коэффициент полноты резьбы охватываемой детали k_{1b} принимают равным:

- 0,40 для прямоугольной резьбы;
- 0,65 для трапецеидальной резьбы;
- 0,75 для метрической резьбы.

Напряжение среза резьбы для охватывающей детали (гайки) рассчитывают по формуле

$$\tau_{sn} = \frac{P_w}{\pi \cdot z \cdot d_0 \cdot h_w \cdot k_{1n}}, \quad (8.2)$$

где τ_{sn} — напряжение среза резьбы охватывающей детали, МПа;

d_0 — наружный диаметр резьбы шпильки (шпильки или болта), мм;

k_{1n} — коэффициент полноты резьбы охватывающей детали.

Коэффициенты полноты резьбы охватывающей детали k_{1n} принимают равными:

- 0,40 для прямоугольной резьбы;
- 0,65 для трапецеидальной резьбы;
- 0,87 для метрической резьбы.

В формулах (8.1) и (8.2) значение P_w рассчитывают в соответствии с ГОСТ 34233.4. Допускается рассчитывать P_w с помощью метода конечных элементов (допускается использовать другие численные методы).

9 Расчет на циклическую прочность

9.1 Общий порядок определения напряжений для оценки циклической прочности изложен в ГОСТ Р 59115.9—2021 (раздел 6).

9.2 Расчет на циклическую прочность компонентов приводов СУЗ (чехлов и штанг) на стадии проектирования проводят в соответствии с ГОСТ Р 59115.9, на стадии эксплуатации — в соответствии с ГОСТ Р 59115.11.

10 Расчет на устойчивость

10.1 Компоненты чехлов приводов систем управления и защиты

10.1.1 Расчет компонентов чехлов приводов СУЗ на устойчивость на стадии проектирования проводят в соответствии с ГОСТ Р 59115.9—2021 (раздел 9).

10.1.2 Расчет компонентов чехлов приводов СУЗ на устойчивость на стадии эксплуатации проводят в соответствии с ГОСТ Р 59115.11—2021 (подраздел 6.5).

10.1.3 При оценке устойчивости компонентов чехлов приводов СУЗ необходимо учитывать максимально допустимое отклонение продольной оси компонента от прямолинейности и несовершенство формы, допускаемое проектом.

10.2 Компоненты штанг приводов систем управления и защиты

10.2.1 При проведении расчета компонентов штанг приводов СУЗ на устойчивость критическое значение нагрузки допускается определять с использованием аналитических формул или метода конечных элементов (допускается использовать другие численные методы).

10.2.2 Расчет штанг приводов СУЗ на устойчивость проводят с учетом максимально допустимого отклонения от прямолинейности, предусмотренного проектом.

10.2.3 Критическое напряжение сжатия σ_{cr} для компонента стержневого типа при отклонении прямолинейности в пределах 1 % может быть определено по формуле

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E^T \cdot I}{A \cdot (\eta \cdot L)^2}, \quad (10.1)$$

где σ_{cr} — критическое напряжение сжатия, МПа;

E^T — модуль упругости материала компонента при температуре T, МПа

I — момент инерции поперечного сечения компонента, мм^4;

A — площадь поперечного сечения компонента, мм^2;

η — коэффициент приведения длины, ед;

L — длина компонента, мм.

Значение коэффициента η принимают равным:

- 0,5, если оба конца компонента закреплены жестко;
- 0,7, если один конец компонента закреплен жестко, а другой шарнирно;
- 1,0, если оба конца компонента закреплены шарнирно;
- 2,0, если один конец компонента закреплен жестко, а другой свободен.

10.2.4 Номинальное допускаемое осевое напряжение сжатия $[\sigma]_c$ определяют по формуле

$$[\sigma]_c = \begin{cases} 0,5 \cdot \sigma_{cr}, \text{ при } \sigma_{cr} \le 0,5 \cdot R^T_{p0,2} \\ 0,5 \cdot R^T_{p0,2} \cdot \left(1 - \dfrac{R^T_{p0,2}}{4 \cdot \sigma_{cr}}\right), \text{ при } \sigma_{cr} > 0,5 \cdot R^T_{p0,2} \end{cases}, \quad (10.2)$$

где $[\sigma]_c$ — допускаемое осевое напряжение сжатия, МПа;

10.2.5 Устойчивость компонента штанги привода СУЗ обеспечена, если выполняется условие

$$\sigma_c \le [\sigma]_c, \tag{10.3}$$

где σ_c — напряжение сжатия, МПа.

10.2.6 При невыполнении условия (10.3) в случае, если поперечные смещения стержня конструктивно ограничены, допускается проводить оценку статической прочности по критериям раздела 8.2 с использованием расчетной схемы деформированного состояния штанги привода СУЗ в конечном состоянии после потери устойчивости. При выполнении условий статической прочности результат оценки устойчивости считается приемлемым в случае, если обеспечивается работоспособность привода СУЗ.

10.2.7 Допускается обоснование устойчивости компонентов штанги привода СУЗ по результатам стендовых испытаний по аттестованным методикам в составе привода СУЗ с обеспечением действия эксплуатационных факторов (давление и температура).

10.2.8 Устойчивость компонента штанги в результате испытаний обеспечена, если выполняется условие

$$P = 0{,}5 \cdot P_{cr}, \tag{10.4}$$

где P — максимальная эксплуатационная нагрузка на штангу, Н;

P_{cr} — критическая нагрузка, при которой в процессе испытаний компонент штанги теряет устойчивость, Н.

11 Расчет на сопротивление разрушению

11.1 Компоненты чехлов приводов систем управления и защиты

11.1.1 Расчет на сопротивление разрушению компонентов чехлов приводов СУЗ проводят в соответствии с ГОСТ Р 59115.9—2021 (раздел 12).

11.1.2 Расчет на сопротивление разрушению допускается не проводить для компонентов чехлов приводов СУЗ, подпадающих под условия ГОСТ Р 59115.9—2021 (пункт 12.1.4).

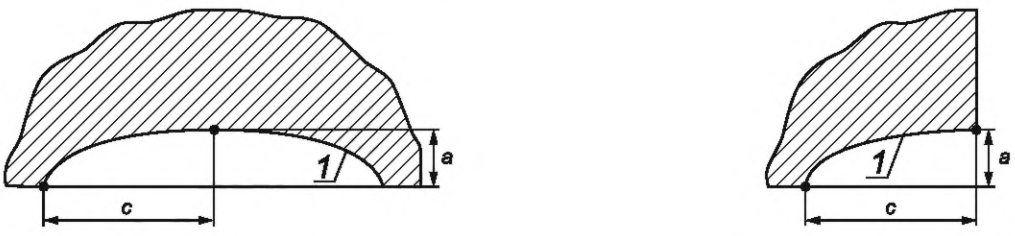
11.2 Компоненты штанг приводов систем управления и защиты

11.2.1 Расчет на сопротивление разрушению компонентов штанг приводов СУЗ проводят в соответствии с 11.2.3—11.2.16.

11.2.2 Расчет на сопротивление разрушению допускается не проводить для компонентов штанг приводов СУЗ, подпадающих под условия ГОСТ Р 59115.9—2021 (пункт 12.1.4).

11.2.3 Расчет на сопротивление разрушению проводят для компонента штанги привода СУЗ с постулируемым дефектом на основе сопоставления расчетной характеристики механики разрушения (коэффициента интенсивности напряжений K_I) со значением статической трещиностойкости (K_{Jc}) материала этого компонента.

11.2.4 В качестве постулируемого дефекта рассматривают расчетную трещину с заданными формой и размерами. В зависимости от геометрии компонента расчетный дефект принимают в виде поверхностной полуэллиптической или поверхностной угловой четвертьэллиптической трещины (рисунок 11.1) с отношением длины большой полуоси *c* к длине малой полуоси a, равным 3. Размер малой полуоси *a* расчетного дефекта принимают равным 1 мм.



а) Поверхностная полуэллиптическая трещина

б) Поверхностная угловая четвертьэллиптическая трещина

1 — фронт трещины

Рисунок 11.1 — Виды расчетного дефекта в компоненте штанги привода СУЗ

11.2.5 Расчет на сопротивление разрушению проводят для зон компонента штанги привода СУЗ, в которых ожидают наибольшие значения КИН K_I, либо наименьшее значение статической трещиностойкости материала K_{Jc}, либо наименьшее отношение K_{Jc}/K_I.

11.2.6 Расчет на сопротивление разрушению компонента штанги привода СУЗ проводят для всех проектных режимов эксплуатации, включая НУЭ, ННУЭ, УИ и УПА.

11.2.7 Расчет КИН проводят методом конечных элементов на основе упругого расчета НДС компонента штанги привода СУЗ. Допускается выполнять расчет КИН методами линейной механики разрушения, включая метод весовых функций, или с использованием аналитических формул.

11.2.8 Расчет НДС компонента штанги привода СУЗ выполняют для каждого расчетного режима с учетом параметров расчетного дефекта.

11.2.9 При расчете КИН значения модуля упругости, температурного коэффициента линейного расширения и коэффициента Пуассона для материала компонента штанги привода СУЗ принимают согласно ГОСТ Р 59115.2.

11.2.10 На основании выполненных расчетов определяют максимальное значение K_I по фронту трещины.

11.2.11 Значение статической трещиностойкости K_{Jc} для хромоникелевых сталей аустенитного класса (включая сварные соединения этих сталей) определяют согласно ГОСТ Р 59115.6—2021 (подраздел 13.1) для максимальной температуры расчетного режима.

11.2.12 Значение статической трещиностойкости K_{Jc} для стали марки 14Х17Н2 определяют согласно приложению А для минимальной температуры расчетного режима.

11.2.13 Условие прочности для компонента штанг приводов СУЗ с постулируемым дефектом считают выполненным в случае, если для каждого рассматриваемого момента времени протекания расчетного режима выполняют условие

$$n \cdot K_I \le K_{Jc}, \tag{11.1}$$

где n — коэффициент запаса на КИН, ед.;

K_I — КИН первого рода (для модели трещины нормального отрыва), МПа · м$^{1/2}$;

K_{Jc} — статическая трещиностойкость, МПа · м$^{1/2}$.

11.2.14 Значение коэффициента запаса n для хромоникелевых сталей аустенитного класса (включая сварные соединения этих сталей) для всех режимов эксплуатации, относящихся к НУЭ, ННУЭ, УИ и УПА, принимают равным 1,1.

11.2.15 Значение коэффициента запаса n для стали марки 14Х17Н2 принимают равным:

- 2,0 при НУЭ;
- 1,5 при ННУЭ и УИ;
- 1,0 при УПА.

11.2.16 Дополнительно к условию (11.1) должно быть выполнено условие отсутствия потери несущей способности компонента штанг приводов СУЗ с трещиной

$$\sigma_{ref}(a, c) \le R^T_{p0,2}, \tag{11.3}$$

где $\sigma_{ref}(a, c)$ — референсное напряжение, зависящее от размеров дефекта, МПа;

a — длина малой полуоси расчетного дефекта, мм;

c — длина большой полуоси расчетного дефекта, мм.

Значение референсного напряжения рассчитывают по ГОСТ Р 59115.10—2021 (приложение Л).

Значение $R^T_{p0,2}$ принимают согласно ГОСТ Р 59115.3—2021 (раздел 4).

12 Расчет на внешние динамические воздействия

12.1 В качестве внешних динамических воздействий рассматриваются природные воздействия (например, землетрясение, ураган, смерч или иное явление, возможное на площадке атомной станции) и воздействия техногенного характера (например, ударная волна, падение летательного аппарата), регламентированные к учету в проекте атомной энергетической установки.

12.2 Расчет компонентов приводов СУЗ на внешние динамические воздействия проводят при совместном действии эксплуатационных и динамических нагрузок.

12.3 Основным учитываемым видом природного воздействия является сейсмическое воздействие. Общие требования к проведению расчета элементов атомных станций на сейсмические воздействия приведены в федеральных нормах и правилах в области использования атомной энергии [2].

12.4 Расчет компонентов приводов СУЗ на иные внешние динамические воздействия (техногенного или природного характера) проводят в той же постановке, что и расчет на сейсмическое воздействие. При этом расчетные сочетания нагрузок и допускаемые напряжения принимают такими же, как и в случае МРЗ.

12.5 В случае если спектры отклика при техногенном воздействии во всем диапазоне частот ниже спектров ответа при МРЗ, расчет на соответствующие воздействия допускается не проводить.

12.6 Для оценки собственных частот, форм колебаний компонентов привода СУЗ и определения отклика на внешнее динамическое воздействие используют метод конечных элементов. Допускается использовать расчетную модель привода, представленную ГОСТ Р 59115.9—2021 (приложение Д).

12.7 Сейсмические нагрузки на элементы привода СУЗ определяют в составе интегральной модели, включающей в себя чехол и штангу, а также другие элементы привода, имеющие с ними механические связи.

12.8 Прочность компонентов чехлов приводов СУЗ при сейсмических воздействиях (сейсмопрочность) на стадии проектирования обосновывают в соответствии с ГОСТ Р 59115.9—2021 (подраздел 15.1), на стадии эксплуатации — в соответствии с ГОСТ Р 59115.11—2021 (подраздел 6.4).

12.9 Оценку сейсмопрочности компонентов штанг приводов СУЗ проводят по допускаемым напряжениям, по допускаемым перемещениям, по критериям циклической прочности, устойчивости и сопротивления разрушению.

12.10 Напряжения в компонентах штанг приводов СУЗ при сейсмических воздействиях не должны превышать допускаемых значений (σ_s), приведенных в таблицах 12.1—12.3. Номинальные допускаемые напряжения $[\sigma]$ и $[\sigma]_w$ определяют согласно разделу 6.

Таблица 12.1 — Сочетания нагрузок и допускаемые напряжения для компонентов штанг приводов СУЗ при сейсмических воздействиях

Категория сейсмостойкости	Сочетания нагрузок	Допускаемое напряжение	
		$(\sigma_s)_1$	$(\sigma_s)_2$
I	НУЭ+МРЗ	1,4[σ]	1,8[σ]
	ННУЭ+МРЗ		
	НУЭ+УПА+ПЗ		
	НУЭ+ПЗ	1,2[σ]	1,6[σ]
	ННУЭ+ПЗ		
II	НУЭ+ПЗ	1,5[σ]	1,9[σ]
	ННУЭ+ПЗ		

Таблица 12.2 — Допускаемые напряжения смятия для компонентов штанг приводов СУЗ при сейсмических воздействиях

Категория сейсмостойкости	Сочетания нагрузок	Допускаемое напряжение
I	НУЭ+МРЗ	2,7[σ]
	ННУЭ+МРЗ	
	НУЭ+УПА+ПЗ	
	НУЭ+ПЗ	2,5[σ]
	ННУЭ+ПЗ	
II	НУЭ+ПЗ	3,0[σ]
	ННУЭ+ПЗ	

Таблица 12.3 — Допускаемые напряжения среза для компонентов штанг приводов СУЗ при сейсмических воздействиях

Категория сейсмостойкости	Сочетания нагрузок	Допускаемое напряжение	
		для резьбовых соединений (срез резьбы)	для остальных компонентов (кроме среза резьбы)
I	НУЭ+МРЗ	$0,7[\sigma]_w$	$0,7[\sigma]$
	ННУЭ+МРЗ		
	НУЭ+УПА+ПЗ		
	НУЭ+ПЗ	$0,6[\sigma]_w$	$0,6[\sigma]$
	ННУЭ+ПЗ		
II	НУЭ+ПЗ	$0,8[\sigma]_w$	$0,8[\sigma]$
	ННУЭ+ПЗ		

12.11 Расчет штанг приводов СУЗ на устойчивость при сейсмических воздействиях проводят в соответствии с положениями 10.2. Допускаемые напряжения при оценке устойчивости принимают равными

$$[\sigma]_c = \begin{cases} 0,7 \cdot \sigma_{cr}, \text{ при } \sigma_{cr} < R^T_{p0,2} \\ 0,7 \cdot R^T_{p0,2}, \text{ при } \sigma_{cr} \geq R^T_{p0,2} \end{cases}. \quad (12.1)$$

12.12 Расчет штанг приводов СУЗ на циклическую прочность при сейсмических воздействиях на стадии проектирования проводят в соответствии с ГОСТ Р 59115.9—2021 (раздел 10), на стадии эксплуатации — в соответствии с ГОСТ Р 59115.11—2021 (подраздел 6.8). Расчет на циклическую прочность при внешних динамических воздействиях техногенного происхождения допускается не проводить.

12.13 Расчет штанг приводов СУЗ на сопротивление разрушению при внешних динамических воздействиях проводят в соответствии с положениями раздела 11. При этом принимают коэффициенты запаса, соответствующие НУЭ и ННУЭ.

12.14 Допускаемые значения перемещений компонентов штанг приводов СУЗ при внешних динамических воздействиях задает конструкторская организация в зависимости от назначения и условий эксплуатации данных компонентов.

13 Расчет на вибропрочность

13.1 Расчет на вибропрочность чехлов приводов СУЗ на стадии проектирования проводят в соответствии с ГОСТ Р 59115.9—2021 (раздел 16). Допускается обоснование вибропрочности чехлов приводов СУЗ по результатам стендовых испытаний по аттестованным методикам.

13.2 На стадии проектирования вибропрочность компонентов штанг приводов СУЗ обосновывают по результатам стендовых испытаний по аттестованным методикам в составе привода СУЗ с моделированием эксплуатационных воздействий.

13.3 Расчет компонентов СУЗ на вибропрочность на стадии эксплуатации не проводят.

Приложение А
(обязательное)

Статическая трещиностойкость стали марки 14Х17Н2

А.1 Расчетные значения статической трещиностойкости K_{Jc} стали марки 14Х17Н2 в диапазоне температур от 20 °С до 350 °С определяют по величине приращения твердости по Виккерсу ΔHV этой стали под действием облучения при температуре облучения $T_{обл}$ от 270 °С до 350 °С флюенсом нейтронов F в диапазоне от 0 до $8{,}0 \cdot 10^{24}$ нейтр./м^2.

А.2 Величину ΔHV допускается определять расчетным или экспериментальным путем.

А.2.1 Расчетным путем величину приращения твердости стали марки 14Х17Н2 под действием нейтронного облучения определяют по формуле

$$\Delta HV = k_F \cdot \left(\frac{F}{F_0}\right)^{n_F}, \quad (А.1)$$

где ΔHV — приращение твердости по Виккерсу материала, *HV*;

k_F — параметр твердости материала, равный 108 *HV*;

F — расчетный флюенс нейтронов с энергией более 0,5 МэВ, нейтр./м^2;

F_0 — нормирующий множитель, равный $1 \cdot 10^{22}$ нейтр./м^2;

n_F — коэффициент приращения твердости материала под действием нейтронного облучения, равный 0,455.

Определение значения расчетного флюенса нейтронов F проводят расчетными методами с использованием программных средств, аттестованных в порядке, установленном уполномоченным органом государственного регулирования безопасности в области использования атомной энергии.

А.2.2 Экспериментальным путем величину приращения твердости стали марки 14Х17Н2 под действием нейтронного облучения определяют по формуле

$$\Delta HV = HV^{обл} - HV^{исх}, \quad (А.2)$$

где $HV^{обл}$ — твердость по Виккерсу материала после нейтронного облучения, *HV*;

$HV^{исх}$ — твердость по Виккерсу материала в исходном состоянии, *HV*.

Значение твердости $HV^{обл}$ для стали марки 14Х17Н2 определяют экспериментально в соответствии с ГОСТ Р ИСО 6507-1 и ГОСТ Р ИСО 6507-4. В случае если провести измерения твердости по Виккерсу не представляется возможным, допускается определять твердость по Бринеллю $HB^{обл}$ стали марки 14Х17Н2 после нейтронного облучения в соответствии с ГОСТ 22761. В этом случае значение $HV^{обл}$ определяют по формуле

$$HV^{обл} = \left(3{,}5 \cdot 10^{-4} \cdot \left(\frac{HB^{обл}}{HB_0}\right)^2 + 0{,}84 \cdot \left(\frac{HB^{обл}}{HB_0}\right) + 31\right) \cdot HV_0, \quad (А.3)$$

где $HB^{обл}$ — твердость по Бринеллю материала после нейтронного облучения, *HB*;

HB_0 — нормирующий множитель, равный 1 *HB*.

HV_0 — нормирующий множитель, равный 1 *HV*.

В качестве значения $HV^{исх}$ принимают максимальное значение твердости стали марки 14Х17Н2, установленное сертификатом (допускается принимать равным 288 *HV*).

В случае если экспериментально измеренное значение твердости превышает 423 *HV*, то дальнейшую эксплуатацию штанги привода СУЗ не допускают без проведения восстановительного отжига компонентов штанги из стали марки 14Х17Н2 при температуре 650 ºС в течение 2 часов и последующего подтверждения эффективности восстановительного отжига снижением твердости до величин не более 288 *HV*. Восстановительный отжиг допускается проводить не более 3 раз.

А.3 Определяют температуру T_{100}. Расчет значения T_{100} проводят по формуле

$$T_{100} = T_{100}^{исх} + k_{HV} \cdot \left(\frac{\Delta HV}{HV_0}\right), \quad (А.4)$$

где T_{100} — температура, при которой значение статической трещиностойкости на температурной зависимости статической трещиностойкости $K_{Jc(med)}(T)$, построенной по методу Advanced Unified Curve для расчетного дефекта длиной 25 мм при вероятности хрупкого разрушения 0,5, равно 100 МПа · м$^{1/2}$;

$T_{100}^{исх}$ — значение температуры T_{100} в исходном состоянии, °С;

k_{HV} — коэффициент, учитывающий изменение твердости материала, равный 0,178 °С;

HV_0 — нормирующий множитель, равный 1 *HV*.

В качестве значения $T_{100}^{исх}$ для стали марки 14Х17Н2 принимают 42 °С.

А.4 Рассчитывают параметр Ω. Расчет значения Ω проводят по формуле

$$\Omega = \frac{70}{a_1 \cdot \left[1 + \text{th}\left(\frac{T_{100} - a_2}{a_3}\right)\right]}, \quad (A.5)$$

где Ω — параметр, характеризующий вид температурной зависимости статической трещиностойкости $K_{Jc(med)}(T)$ в соответствии с методом Advanced Unified Curve в зависимости от состояния материала, МПа · м$^{1/2}$;

a_1, a_2 и a_3 — коэффициенты, характеризующие вид температурной зависимости статической трещиностойкости $K_{Jc(med)}(T)$ в соответствии с методом Advanced Unified Curve, независимо от состояния материала, a_1 — безразмерный коэффициент, коэффициенты a_2 и a_3 в °С.

Значения коэффициентов a_1, a_2 и a_3 принимают по таблице А.1, используя значение температуры $T_{100}^{исх}$.

Таблица А.1 — Значения коэффициентов в формуле (А.5)

Температура, °С	a_1	a_2, °С	a_3, °С
Ниже или равна 130 °С	1,00	130	105
Выше 130 °С	1,99	216	157

А.5 Определяют значение статической трещиностойкости $K_{Jc(med)}$ для температуры T по формуле

$$K_{Jc(med)}(T) = K_{Jc}^{shelf} + \Omega \cdot a_1 \cdot \left[1 + th\left(\frac{T - a_2}{a_3}\right)\right], \quad (A.6)$$

где $K_{Jc(med)}$ — значение статической трещиностойкости для расчетного дефекта длиной фронта $\overline{B}$ при вероятности хрупкого разрушения 0,5, МПа · м$^{1/2}$;

T — температура, °С;

K_{Jc}^{shelf} — температурно-независимая составляющая статической трещиностойкости, МПа · м$^{1/2}$.

В формуле (А.6) температура T не должна превышать температуру облучения $T_{обл}$.

Значение K_{Jc}^{shelf} принимают равным 30 МПа · м$^{1/2}$.

Значения коэффициентов a_1, a_2 и a_3 принимают по таблице А.1, используя значение температуры T.

А.6 Определяют расчетное значение статической трещиностойкости K_{Jc} для температуры T, которое соответствует длине фронта расчетного дефекта B_p и вероятности хрупкого разрушения 0,05, по формуле

$$K_{Jc}(T) = 0{,}52 \cdot \left(\frac{\overline{B}}{B_p}\right)^{1/4} \cdot \left(K_{Jc(med)}(T) - K_{min}\right) + K_{min}, \quad (A.7)$$

где B_p — длина фронта расчетного дефекта (трещины), мм;

$\overline{B}$ — референсная длина фронта расчетного дефекта (трещины), $\overline{B}$ равна 25 мм;

K_{min} — минимально возможная статическая трещиностойкость, МПа · м$^{1/2}$.

Значение длины фронта расчетного дефекта в виде поверхностной полуэллиптической трещины рассчитывают по формуле

$$B_p = 2 \cdot c \cdot \sqrt{1 + 4{,}6 \cdot \left(\frac{a}{2 \cdot c}\right)^{1{,}65}}, \quad (A.8)$$

где a — длина малой полуоси расчетного дефекта, мм;

c — длина большой полуоси расчетного дефекта, мм.

Значение длины фронта расчетного дефекта в виде поверхностной четвертьэллиптической трещины рассчитывают по формуле

$$B_p = c \cdot \sqrt{1 + 4{,}6 \cdot \left(\frac{a}{2 \cdot c}\right)^{1{,}65}}. \quad (A.9)$$

Значение K_{min} при расчете по формуле (А.6) принимают равным 20 МПа · м$^{1/2}$.

Расчетное значение статической трещиностойкости K_{Jc}, полученное для температуры T по формуле (А.7), используют при анализе прочности по условиям (11.1) или (11.2).

Библиография

[1] Федеральные нормы и правила НП-089-15 — Правила устройства и безопасной эксплуатации оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок

[2] Федеральные нормы и правила НП-031-01 — Нормы проектирования сейсмостойких атомных станций

УДК 621.039:539.4:006.354 ОКС 27.120.10

Ключевые слова: водо-водяной энергетический реактор, привод СУЗ, прочность

Редактор *Л.В. Коретникова*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *Е.Д. Дульнева*
Компьютерная верстка *Е.О. Асташина*

Сдано в набор 29.12.2022. Подписано в печать 19.01.2023. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 2,32. Уч.-изд. л. 2,12.

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