ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**ГОСТ Р 59115.18— 2022**

# ОБОСНОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ И ТРУБОПРОВОДОВ АТОМНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

## Расчет на прочность при гидравлических ударах

**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 27 декабря 2022 г. № 1643-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
Приложение А (рекомендуемое) Определение повышения давления при гидравлическом ударе . . . . . 4
Приложение Б (рекомендуемое) Определение неуравновешенных осевых усилий в трубах при гидравлическом ударе . . . . . 5
Библиография . . . . . 6

## 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

## Расчет на прочность при гидравлических ударах

Rules for strength assessment of equipment and pipelines of nuclear power installations.
Strength analysis under water hammering

**Дата введения — 2023—02—01**

## 1 Область применения

1.1 Настоящий стандарт устанавливает методические рекомендации по учету в расчетах на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок, на которые распространяется действие федеральных норм и правил в области использования атомной энергии [1], гидравлических ударов вследствие срабатывания запорной, отсечной, предохранительной и обратной арматуры в трубопроводах с водным теплоносителем.

1.2 Настоящий стандарт предназначен для применения при обосновании прочности 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 59115.2 Обоснование прочности оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. Модуль упругости, температурный коэффициент линейного расширения, коэффициент Пуассона, модуль сдвига

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

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

ГОСТ Р 59115.13 Обоснование прочности оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. Поверочный расчет для стадии вывода из эксплуатации атомных энергетических установок

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 следующий термин с соответствующим определением:

3.1.1 **средняя температура по сечению:** Температура стенки компонента оборудования или трубопровода, равная максимальному среднеарифметическому значению температур на его наружной и внутренней поверхностях в одном сечении в рассматриваемом режиме нагружения.

### 3.2 Сокращения

В настоящем стандарте применены следующие сокращения:

АЭУ — атомная энергетическая установка;

НДС — напряженно-деформированное состояние;

ННУЭ — нарушение нормальных условий эксплуатации;

НУЭ — нормальные условия эксплуатации;

УИ — условия испытаний;

УПА — условия проектной аварии.

### 3.3 Обозначения

В настоящем стандарте применены следующие обозначения:

$a$ — скорость распространения ударной волны в трубопроводе, м/с;

$D$ — внутренний диаметр трубы, мм;

$F$ — осевое усилие при гидравлическом ударе, Н;

$L$ — расчетная длина участка трубопровода при гидравлическом ударе, м;

$\Delta P$ — повышение давления при гидравлическом ударе, Па;

$T$ — температура теплоносителя, К (°С);

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

$t_з$ — длительность процесса закрытия задвижки/клапана арматуры, с;

$\rho$ — плотность теплоносителя при температуре $\langle T \rangle$, кг/м$^3$.

## 4 Общие положения

4.1 В случаях, когда при срабатывании запорной, отсечной, предохранительной или обратной арматуры происходит перекрытие сечения трубопровода АЭУ, приводящее к снижению скорости течения или полной остановке теплоносителя, в трубопроводе может возникнуть гидравлический удар. При гидравлическом ударе по трубопроводу проходит ударная волна (волна давления), вызывающая затухающий колебательный процесс повышения — понижения давления теплоносителя в трубах, который может продолжаться несколько секунд. Также во время прохождения ударной волны на участках трубопровода действуют неуравновешенные осевые усилия, вызванные разностью давлений теплоносителя и приводящие к кратковременному изменению напряжений в стенках трубопровода, в оборудовании и в опорных конструкциях.

4.2 Повышение давления и неуравновешенные осевые усилия, возникающие при гидравлическом ударе, учитывают в поверочном расчете на прочность оборудования и трубопроводов как механические нагрузки, действующие дополнительно к механическим эксплуатационным нагрузкам режимов НУЭ, ННУЭ и УПА.

4.3 Допускается не учитывать в расчете дополнительные нагрузки от гидравлического удара, если повышение давления не превышает 5 % от значения эксплуатационного давления в соответствующем расчетном режиме.

4.4 НДС трубопровода при действии нагрузок от гидравлического удара рекомендуется определять динамическим методом. Оценку прочности при этом проводят для моментов времени, в которые расчетные категории и группы категорий напряжений принимают наибольшие значения.

Допускается учитывать повышение давления и неуравновешенные осевые усилия, возникающие при гидравлическом ударе, как статические механические нагрузки.

Внутреннее давление в трубопроводе принимают равным сумме эксплуатационного давления в соответствующем расчетном режиме НУЭ, ННУЭ и УПА и повышения давления при гидравлическом ударе $\Delta P$. Повышение давления в корпусах сосудов допускается не учитывать.

Неуравновешенное осевое усилие $F$, возникающее при гидравлическом ударе, принимают действующим в следующих сечениях трубопровода:

- в сечении присоединения арматуры, перекрывающей трубопровод;
- в сечении присоединения компонента, вызывающего отражение ударной волны (тройника, корпуса сосуда, коллектора), к перекрываемому участку трубопровода;
- в сечениях присоединения отводов, расположенных между перекрывающей арматурой и компонентом, вызывающим отражение ударной волны.

В случае если при расчете неуравновешенных сил не представляется возможным определить направление и время их действия, то при их суммировании с другими нагрузками выбирают наиболее консервативное сочетание.

4.5 Значения $\Delta P$ и $F$ рекомендуется определять из решения волновой задачи гидродинамики. Допускается определять $\Delta P$ по приложению А, а значения $F$ — по приложению Б.

4.6 Динамическую реакцию трубопровода и усилия в опорах при действии неуравновешенных сил допускается определять методом динамического анализа (по зависимостям сил от времени, определяемым из решения волновой задачи гидродинамики) или линейно-спектральным методом (по спектрам ответа).

4.7 Поверочный расчет на прочность оборудования и трубопроводов на стадии проектирования проводят согласно ГОСТ Р 59115.9, на постпроектных стадиях — согласно ГОСТ Р 59115.11, на стадии вывода из эксплуатации — ГОСТ Р 59115.13.

Нагрузки от гидравлического удара не учитывают в расчетах на длительную статическую прочность, на длительную циклическую прочность и на вибропрочность.

4.8 При проведении расчетов для режимов проверки срабатывания трубопроводной арматуры критерии прочности принимают, как для УИ.

4.9 При расчете на устойчивость трубопроводов, работающих под наружным давлением, превышающим внутреннее, наружное давление должно быть увеличено на $\Delta P$ (что соответствует прохождению в трубопроводе волны разрежения). При этом $\Delta P$ не должно превышать значения

$$\Delta P \le P - P^*, \qquad (4.1)$$

где $P$ — давление в трубопроводе в расчетном режиме, Па;

$P^*$ — давление насыщенных паров теплоносителя при температуре $T$, Па.

## Приложение А
## (рекомендуемое)

## Определение повышения давления при гидравлическом ударе

А.1 Рассматривается прямолинейный участок трубопровода длины $L$ от перекрывающей арматуры в направлении против потока до компонента трубопровода, вызывающего отражение ударной волны: отвода переменного сечения, тройника или корпуса резервуара, коллектора (до сечения присоединения патрубка к корпусу).

А.2 Скорость распространения ударной волны в трубопроводе определяют по формуле

$$a = \frac{1}{\sqrt{\rho\left(\frac{1}{K} + \frac{D}{sE^{\langle T\rangle}}\right)}}, \quad (A.1)$$

где $K$ — объемный модуль упругости теплоносителя при температуре $\langle T\rangle$, Па. Для воды допускается принять $K = 2{,}06 \cdot 10^9$ Па;

$s$ — толщина стенки трубы, мм;

$E^{\langle T\rangle}$ — модуль Юнга материала трубы при температуре $\langle T\rangle$, определяемый по ГОСТ Р 59115.2.

Повышение давления при гидравлическом ударе определяют по формулам:

$$\Delta P = (v_0 - v_1)\rho a \text{ при } t_з \le \frac{2L}{a}; \quad (A.2)$$

$$\Delta P = 2(v_0 - v_1)\frac{\rho L}{t_з} \text{ при } t_з > \frac{2L}{a}, \quad (A.3)$$

где $v_0$ — скорость потока теплоносителя в трубе в момент начала закрытия задвижки/клапана сработавшей арматуры, м/с;

$v_1$ — скорость потока теплоносителя в трубе в момент окончания закрытия задвижки/клапана сработавшей арматуры, м/с. При полном закрытии задвижки/клапана $v_1 = 0$.

Формулы (А.2) и (А.3) применимы при линейном законе изменения давления и скорости по времени при закрытии задвижки/клапана в арматуре.

## Приложение Б
## (рекомендуемое)

## Определение неуравновешенных осевых усилий в трубах при гидравлическом ударе

Максимальное значение неуравновешенного осевого усилия $F$, действующего попеременно на концах расчетного участка трубопровода длины $L$, определяют по формуле

$$F = \frac{\omega_{max}}{\bar{\omega}} \frac{L}{a \cdot t_з} \frac{\pi D^2}{2} \Delta P, \quad (Б.1)$$

где $\omega_{max}$ — максимальное значение скорости закрытия задвижки/клапана сработавшей арматуры, $с^{-1}$;

$\bar{\omega} = \frac{1}{t_з}$ — среднее значение скорости закрытия задвижки/клапана сработавшей арматуры, $с^{-1}$.

Формула (Б.1) применима при выполнении условия $\frac{\omega_{max}}{\bar{\omega}} \frac{L}{a \cdot t_з} \le 1$.

## 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, гидравлический удар, поверочный расчет на прочность

Редактор *Л.В. Коретникова*
Технический редактор *И.Е. Черепкова*
Корректор *Р.А. Ментова*
Компьютерная верстка *И.Ю. Литовкиной*

Сдано в набор 29.12.2022. Подписано в печать 11.01.2023. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 1,40. Уч-изд. л. 1,12.

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