

Расчеты защитных гильз

Компания Emerson предлагает новое средство для расчета защитных гильз - бесплатно и в интерактивном режиме

Основанное на использовании стандарта ASME PTC 19.3 TW, это бесплатное интерактивное средство имеется на сайте Rosemount.com/ThermowellCalc.

Попробуйте поработать с ним сегодня и посмотрите также видео, в котором объясняется новый стандарт.



Dirk Bauschke

Менеджер по техническим вопросам

David Wiklund

Старший главный инженер

Andrew Dierker

Инженер-механик проекта

Alex Cecchini

Старший инженер по маркетингу

Содержание

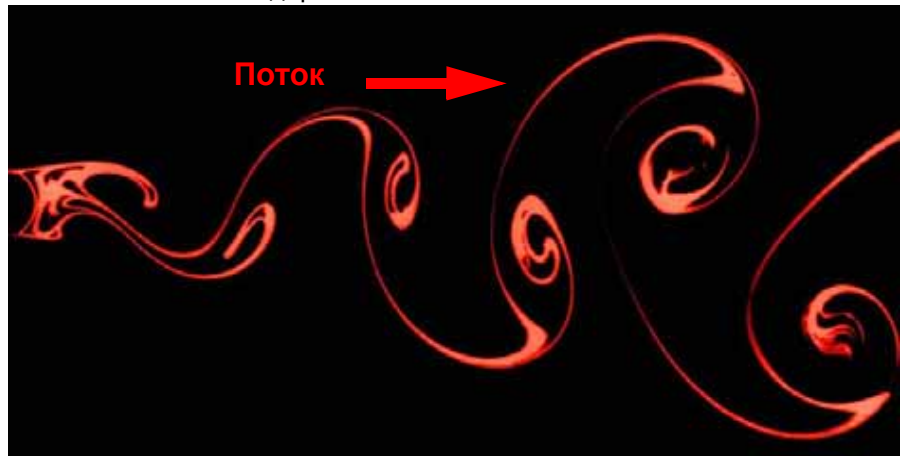
Расчеты защитных гильз

Введение	1-1
Краткая предыстория стандарта ASME PTC 19.3.	1-1
Методология ASME PTC 19.3-1974	1-3
Теория вихревых потоков	1-4
Напряжения от изгиба и от давления	1-9
Изменения установки	1-18
Определение свободной длины.	1-21
Кольца скорости.	1-23
Средняя скорость и профиль скорости	1-24
Требования к конструкции защитной гильзы.	1-24

Защитные гильзы

ВВЕДЕНИЕ

Защитные гильзы по существу представляют собой круговые цилиндры, устанавливаемые как консоли в технологических трубопроводах. Они обеспечивают защиту режима технологического процесса и технологическое уплотнение для датчиков температуры. По мере того, как технологическая жидкость проходит вокруг защитной гильзы, вихри низкого давления создаются на стороне выпуска в ламинарном, турбулентном или переходном потоке. Комбинация напряжений, образованных действующими на одной линии статическими силами лобового сопротивления от потока жидкости и динамическими поперечными подъемными силами, вызванными переменным вихревым потоком, создают потенциальную возможность возникновения механических поломок защитных гильз, вызванных усталостью. Конструкторы трубопроводов могут использовать самые разнообразные средства для прогнозирования и предотвращения поломок гильз в своих системах, однако большинство защитных гильз было спроектировано с использованием стандарта ASME PTC 19.3-1974.



Усиленный цветом дымовой след, показывающий вихревую дорожку фон Кармана в ламинарном потоке жидкости.⁽¹⁾

КРАТКАЯ ПРЕДЫСТОРИЯ СТАНДАРТА ASME PTC 19.3



Стандарт был создан в 1957 г., когда ASME (Американское общество инженеров-механиков) решило, что Дополнение 1930 г. об измерении температуры является неудовлетворительным, так как не включает в себя влияние тепловых явлений и температуры. Общество ASME попросило Комитет по котлам и сосудам давления создать документ, но комитет посчитал, что это выходит за пределы его компетенции. Затем независимому комитету поручили проведение всех температурных измерений с проектированием защитных гильз в качестве отдельного раздела. Основу стандарта ASME PTC 19.3-1974 составила статья, автором которой был Дж.У. Мердок (1959).⁽²⁾

(1) Статья в Википедии: http://en.wikipedia.org/wiki/Vortex_induced_vibration по состоянию на 20.05.2011

(2) Мердок, Дж.У., «Нормы и правила силовых испытаний термокарманов», Журнал инженерных проблем энергетики (Journal of Engineering for Power) (1959).

Защитные гильзы

Джон Брок, аспирант школы ВМФ, выполнил в 1974 г. некоторые последующие работы, которые приоткрыли ряд моментов, которые Мердок либо предполагал, либо проигнорировал. Брок предложил такие идеи, как использование переменного числа Струхаля вместо фиксированного числа Струхаля, применение коэффициентов установки при аппроксимации естественной частоты защитной гильзы и анализ предела отношения частот, равного 0,8, для учета неопределенности в расчетах естественных частот⁽¹⁾. Было показано, что некоторые из этих идей могут обеспечить улучшение стандарта ASME PTC 19.3-1974.

При этом оказалось, что стандарт ASME PTC 19.3-1974 пригоден не для всех установок. Пример сильной катастрофической усталостной поломки защитной гильзы появился, когда был остановлен реактор-размножитель на быстрых нейтронах в Монжю (Япония) в связи с утечкой в системе охлаждения жидким натрием в 1995 г. Исследование показало, что защитная гильза была спроектирована в соответствии с требованиями стандарта ASME PTC 19.3-1974, однако режим поломки был обусловлен линейным резонансом, который не учитывается в этом стандарте. Результатом этого была разработка японской версии стандарта, называемой JSME S012⁽²⁾. В конечном счете, реактор был снова запущен в мае 2010 г. после многолетних исследований и юридических баталий.

Тем не менее в большинстве случаев был успешно использован стандарт ASME PTC 19.3-1974, как в приложениях с паром, так и в приложениях без пара. Несколько важных факторов привели к тому, что Общество ASME преобразовало комитет в 1999 г., для того чтобы полностью переписать стандарт: успехи в изучении процессов в защитной гильзе, ряд катастрофических поломок (включая поломку в Монжю) и повышенное использование метода конечных элементов для моделирования напряжений. Объединение этих факторов привело к тому, что в промышленности перешли от использования рудиментарных методов и упрощенных таблиц, заложенных в стандарте ASME PTC 19.3-1974, к более совершенным методам прогнозирования естественных частот колебаний защитных гильз и расчету вынужденных частот.

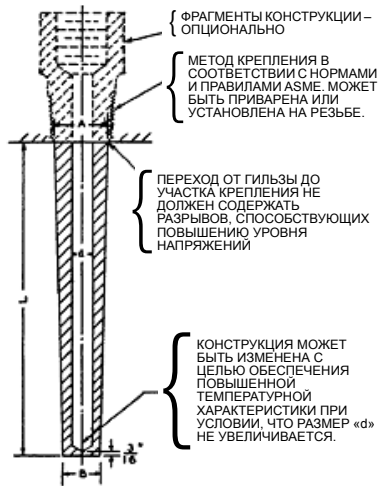
Вместо простого обновления существующей версии стандарта ASME PTC 19.3-1974, комитет решил выпустить новый стандарт вследствие существенных изменений, связанных с проведенными работами. Часть расчета защитных гильз стандарта ASME PTC 19.3-1974 занимает 4 страницы. Для сравнения, новый стандарт, известный как ASME PTC 19.3 TW-2010 (где «TW» – это защитная гильза), занимает 40 страниц в связи с наличием пояснений теории и невероятной сложности процесса.

Стандарт ASME PTC 19.3 TW-2010 был выпущен в июле 2010 г.

(1) Брок, Джон Е., «Расчет напряжений защитных гильз», Школа аспирантуры ВМФ, Монтерей, штат Калифорния (1974).

(2) Одахара, Санору и др. «Усталостная поломка вследствие линейной вибрации потока и оценка ресурса по усталостной прочности», JSME International Journal, Series A, Vol. 48, No. 2 (2005).

**МЕТОДОЛОГИЯ ASME
PTC 19.3-1974**



Как указывалось ранее, стандарт 1974 г. является очень кратким. Он позволяет использовать мало профилей стержня, и в нем используются упрощенные уравнения для моделирования защитной гильзы для расчетов собственных частот. Даже несмотря на то, что он позволяет применять любой метод крепления, который утвержден Нормами и правилами ASME для котлов, сосудов давления и трубопроводов, эти уравнения не обеспечивают различия между вариантами обычных способов крепления, таких как фланцевое, резьбовое и сварное внахлест соединение, и игнорируют влияние различных профилей стержня, таких как прямой, конический или

ступенчатый профиль. Не учитываются размеры расточки, не указанные в таблице, так что расточки для датчиков диаметром 6 мм и ¼-дюйма соответствуют одинаковым константам в этих уравнениях, а для расточек датчиков диаметром 3 мм значения константы не предусмотрены.

Однако при всех своих недостатках стандарт ASME PTC 19.3-1974 содержит простой процесс оценки защитной гильзы, что способствовало широкому его распространению в промышленности; позволило собрать данные о технологическом процессе и информацию о материалах защитных гильз, рассчитать собственные частоты и частоты Струхала, сравнить отношение с величиной 0,8, рассчитать изгибные напряжения, сравнить максимальное давление с давлением технологического процесса и проверить максимальную длину на предмет достижения желательной длины.

Процесс сбора данных о технологическом процессе и информации о материалах является простым шагом, за исключением того, что имеется одно значение, которое уже не является доступным. «Отношение частоты при температуре технологического процесса к частоте при 70 °F» найти нелегко.

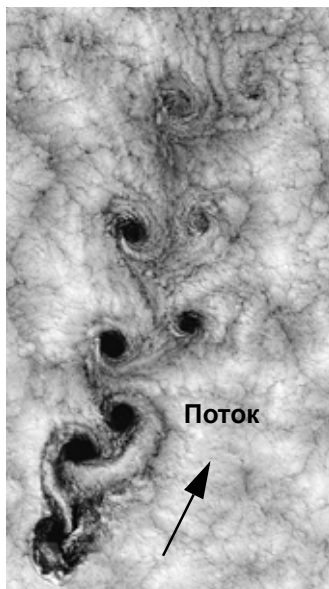
В методе расчета собственной частоты защитной гильзы используется простое уравнение, однако некоторые из его членов, такие как K_f , определены недостаточно хорошо. Если П-образная длина защитной гильзы не согласуется с величиной, указанной в этой таблице, то при консервативном подходе конструктор должен использовать значение для длины, превышающее фактическую величину для защитной гильзы. Для приемлемой конструкции защитной гильзы отношение частоты Струхала к собственной частоте «не должно превышать» 0,8.

На заключительном шаге производится оценка длины защитной гильзы на основании подхода установившихся напряжений. При этом определяется максимальная длина защитной гильзы, которая обеспечивает сопротивление изгибным напряжениям. Эта длина сравнивается с требуемой длиной для того, чтобы определить, приемлема ли она или ее необходимо уменьшить.

Защитные гильзы

ТЕОРИЯ ВИХРЕВЫХ ПОТОКОВ

(основа для ASME PTC 19.3 TW-2010)



Изображение Landsat 7 вихревой цепочки фон Кармана в облаках над побережьем в Чили около островов Хуан-Фернандес (15 сентября 1999 г.).⁽¹⁾

Когда жидкость обтекает тупой объект при движении по своей траектории, то за этим объектом образуются вихри. Обычно это называется вихревым следом, вихревой дорожкой фон Кармана или вихрями потока. Вихри представляют собой ячейки низкого давления, которые создаются и уносятся вниз по потоку в шахматном порядке. Перепад давлений вследствие шахматного расположения вихрей способствует образованию переменных сил, действующих на данный объект. Это приводит к возникновению переменных напряжений на объекте по мере его отклонения. Это явление наблюдается в природе в виде вихрей в потоке жидкости за устоями моста, в воронках, образуемых в облаках за вершинами гор, или в звуках вибрирующих проводов, которые слышатся, когда ветер обтекает провода инженерных коммуникаций. Хотя вихревые потоки полезны при выполнении измерений параметров технологических потоков, конструкторы защитных гильз избегают их, так как они потенциально могут приводить к поломкам.

Поскольку главной причиной поломок защитных гильз является усталость вследствие резонанса, конструктор должен понимать поведение вихревого следа, для того чтобы избежать его влияния и прогнозно оценить частоту вихревого следа. Вихревой след возникает при частотах в диапазоне примерно от 50 Гц до 1500 Гц, поэтому защитная гильза может испытывать большое число циклов за короткий промежуток времени.



Пример усталости защитной гильзы вследствие вызванной вихрями вибрации.⁽²⁾

(1) Веб-сайт NASA для спутникового наблюдения Земли

«http://earthobservatory.nasa.gov/Newsroom/NewImages/images.php3?img_id=3328.»

(2) Энергетический институт, «Руководящие указания для предотвращения вибрации, вызванной усталостью в технологических трубопроводах», 2-е издание (2008), публикация номер 978-0-85293-463-0.

Поскольку частота вихревого следа, или частота Струхалия, примерно равна собственной частоте защитной гильзы, смещение и напряжения концевой участка сильно увеличиваются, и защитная гильза может сломаться из-за большой энергии, которую она может поглотить. Поэтому в дополнение к условиям технологического процесса, таким как параметры давления, температуры и коррозии, конструктор должен учитывать многоцикловую усталостную прочность для обеспечения общей пригодности для использования в приложении.

Минимальная скорость

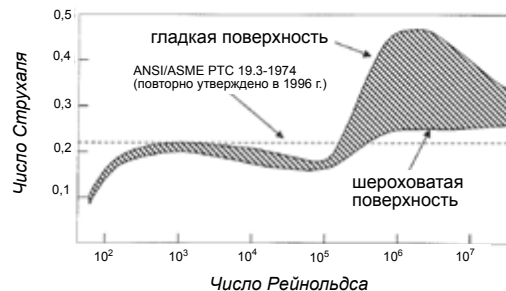
Для медленно движущихся технологических жидкостей энергии, которая передается от технологической жидкости к защитной гильзе, оказывается недостаточно для возникновения поломки вследствие усталости. Если выполняются указанные ниже условия, то нет необходимости проводить расчеты пределов частоты, так как риск поломки защитной гильзы пренебрежимо мал.

1. Скорость технологической жидкости, $V < 0,64$ м/с (2,1 фута/с)
2. Толщина стенки, $(A - d) \geq 9,55$ мм (0,376 дюйма)
3. Длина свободного участка, $L \leq 0,61$ м (24 дюйма)
4. Диаметр в корне и на периферии (A и B) $\geq 12,7$ мм (0,5 дюйма)
5. Максимально допустимое напряжение, $S \geq 69$ МПа (10 кфунт/дюйм²)
6. Предел усталостной выносливости, $S_f \geq 21$ МПа (3 кфунт/дюйм²)

Даже в этом случае такие низкие скорости могут вызвать линейный резонанс и привести к поломке датчика вследствие сильной вибрации, которая возникает при резонансе. Если эти критерии не выполняются или если имеется возможность коррозии под напряжением или хрупкости материала вследствие взаимоотношения с жидкостью (что вызывает изменение усталостной выносливости), то конструктор должен выполнить полную оценку защитной гильзы.

Число Струхалия

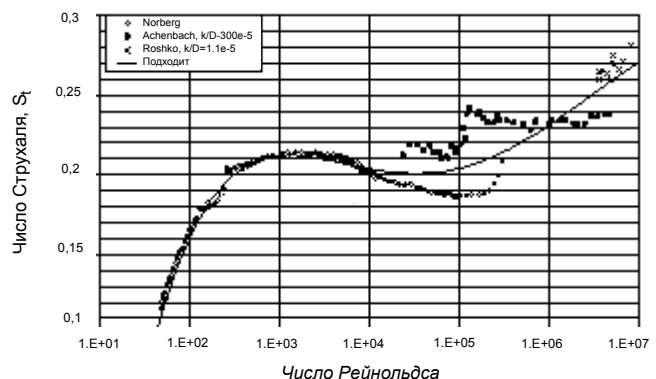
Вопрос о том, использовать фиксированное или переменное число Струхалия, был предметом широкой дискуссии. В стандарте ASME PTC 19.3-1974 использовалось фиксированное значение числа Струхалия, равное 0,22, а Брок рекомендовал использовать переменное значение числа Струхалия в зависимости от величины числа Рейнольдса. Многие специалисты в промышленности начали применять переменное число Струхалия к уравнениям для частоты вихревого следа в рамках стандарта ASME PTC 19.3-1974, называя это «методом Брока» или аналогично.



Защитные гильзы

Перед тем как принять решение о том, как использовать переменное число Струхала, комитет ASME PTC 19.3 TW-2010 рассмотрел более поздние эксперименты. Две статьи, опубликованные в журнале JSME International Journal в 2001 г., содержат интересные результаты испытаний для механически обработанных прямых и конических цилиндров, которые по форме близки к защитным гильзам. Усилия и амплитуды вибрационных колебаний измерялись тогда, когда эти цилиндры были погружены в поток жидкости. В выводах указывалось, что доказательство высокого значения числа Струхала в предыдущих экспериментах было основано на измерениях вихревого следа, а не фактических усилий, действующих на защитную гильзу.⁽¹⁾⁽²⁾

«Шероховатые» поверхности были определены в экспериментах при измерениях выше уровня 128 Ra. Защитные гильзы в промышленных технологических процессах не имеют отделки поверхности выше уровня 32 Ra, и пределы напряжений и расчеты в стандарте ASME PTC 19.3 TW-2010 недействительны для качества отделки поверхности грубее уровня 32 Ra.



Фактическое значение числа Струхала для шероховатого цилиндра является функцией числа Рейнольдса.⁽³⁾

На основании этого значения комитет ASME PTC 19.3 TW-2010 решил включить в стандарт переменное число Струхала, определяемое кривой для цилиндра с шероховатой поверхностью. Для упрощения расчетов конструкторам также разрешается применять консервативный подход, используя примерное число Струхала, равное 0,22. Это особенно полезно в том случае, если конструктор не может установить динамическую или кинематическую вязкость для определения значения числа Рейнольдса.

Число Рейнольдса

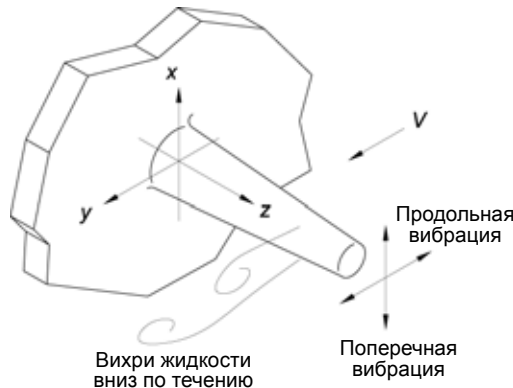
В любых потоках с полным погружением основополагающим параметром является число Рейнольдса. Число Рейнольдса представляет собой отношение внутренних сил к силам вязкости в поле потока. Для целей элементов вихревого следа исходная длина для числа Рейнольдса является шириной элемента вихревого следа. В случае защитных гильз это является диаметром на периферии.

(1) Сакаи Т., Ивата К., Моришита М., Китакура С., «Вызванная вихрями вибрация кругового цилиндра в потоках с сверхкритическими значениями числа Рейнольдса и ее подавление с помощью демпфирования конструкции», JSME Int. J. Ser. B. 44, 712-720 (2001).

(2) Сакаи Т., Ивата К., Моришита М., Китакура С., «Оценка вызванной турбулентностью вибрации кругового цилиндра в потоках с сверхкритическими значениями числа Рейнольдса и ее подавление с помощью демпфирования конструкции», JSME Int. J. Ser. B. 44, 721-728 (2001).

(3) Стандарт ASME, Нормы и правила для испытаний по проверке эксплуатационных характеристик 19.3TW (проект 7).

Собственная частота защитной гильзы



Вызванные жидкостью силы и согласование осей для расчета напряжений защитной гильзы⁽¹⁾

В стандарте ASME PTC 19.3 TW-2010 моделируется защитная гильза в виде простой консольной балки и применяется ряд корректирующих коэффициентов для учета отличий от идеальной балки путем включения таких параметров, как добавленная масса жидкости, добавленная масса датчика, балка с неравномерным профилем и соответствие условиям монтажа. Для защитных гильз в виде ступенчатого

стержня большинство всех корреляций и расчетов являются более сложными вследствие геометрии и точек концентрации напряжений.

По этой причине в стандарте ASME PTC 19.3 TW-2010 ограничивается изменение размеров защитных гильз ступенчатого типа в пределах сферы применения этого стандарта.

После того как были применены все корректирующие коэффициенты, рассчитывается собственная частота «по месту» или в месте установки f_n^c , и эта величина используется в остальной части частотного анализа.

Критические скорости

После того как будет установлена собственная частота защитной гильзы, конструктору необходимо задать запас безопасности между собственной частотой и частотой Струхала.

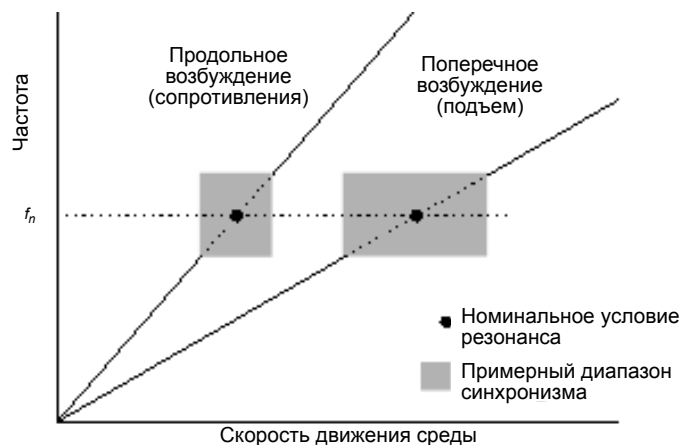


Схема продольного и поперечного возбуждения, показывающая область «синхронизма».⁽¹⁾

Существует фактически два режима возбуждения защитной гильзы. Поперечная (подъемная) сила вызывает вибрацию защитной гильзы в направлении, перпендикулярном потоку, в то время как продольная сила (сопротивление) вызывает вибрацию защитной гильзы в направлении, параллельном потоку. Частота продольной вибрации примерно в два раза больше частоты поперечной вибрации. Продольная «критическая скорость» (когда частота Струхала равна собственной частоте)

(1) Стандарт ASME, Нормы и правила для испытаний по проверке эксплуатационных характеристик 19.3TW-2010.

Защитные гильзы

составляет примерно половину от поперечной скорости. В стандарте ASME PTC 19.3-1974 не рассматривается продольная вибрация, а учитываются только установившиеся изгибные напряжения.⁽¹⁾

Хотя изменение частоты вихревого следа прямо пропорционально скорости движения жидкости, защитная гильза очень легко входит в синхронизм с резонансной частотой. Он также может учитывать изменение скорости для того, чтобы отвести зону завихрений от защитной гильзы при ее собственной частоте. Поскольку уровень демпфирования типовых защитных гильз является очень низким, очень важно обеспечить отсутствие зоны резонанса для защитной гильзы. При резонансе усилия и смещения резко увеличиваются.

$$f_s < 0,8 f_n^c$$

20% охранный диапазон обеспечивает существенную изменчивость вследствие следующих факторов:

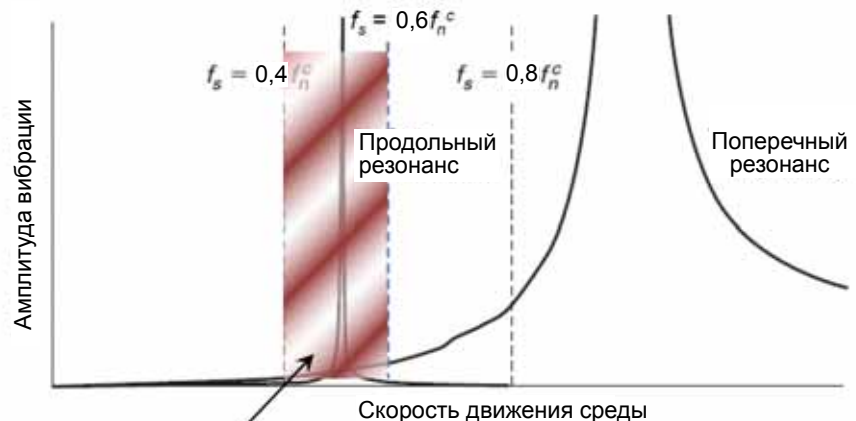
- нелинейность упругой характеристики защитной гильзы
- широкие пределы допусков изготовления защитной гильзы
- данные о свойствах материала, установленные только с точностью до 3 значащих цифр
- малые обычные изменения расхода, температуры, плотности или вязкости в технологическом процессе

Так как продольная вибрация возникает при примерно вдвое меньшей скорости в поперечном направлении (или с удвоенной частотой), жидкости имеют дополнительные ограничения.

$$2f_s < 0,8 f_n^c$$

Если на это взглянуть несколько по-другому, то можно заметить более широкую перспективу использования работы защитной гильзы.

$$f_s \text{ (установившееся состояние)} < 0,4 f_n^c \quad \text{или} \quad 0,6 f_n^c < f_s \text{ (установившееся состояние)} < 0,8 f_n^c$$



График, показывающий зависимость амплитуды защитной гильзы от вызванных жидкостью сил.⁽²⁾

(1) Стандарт ASME, Нормы и правила для испытаний по проверке эксплуатационных характеристик 19.3.3-74 (повторно утверждены в 1998 г.).

Стандарт ASME PTC 19.3 TW-2010 содержит также положение для работы в «сверхкритическом режиме», когда защитная гильза эксплуатируется при частоте, превышающей собственную частоту защитной гильзы. Компания Emerson настоятельно не рекомендует эксплуатировать защитные гильзы в этой зоне.

Число Скрутона

Новинка в теории заключается в использовании числа Скрутона, которое характеризует внутреннее демпфирование защитной гильзы. В стандарте ASME PTC 19.3 TW-2010 применяется очень консервативный подход и устанавливается коэффициент затухания величиной 0,0005, кроме случаев, когда определено иное.

Значение числа Скрутона менее 2,5 означает, что внутреннее затухание отсутствует, и защитную гильзу необходимо оценить на частоте продольного резонанса и отстроиться от частоты поперечного резонанса. По мере увеличения числа Скрутона уровень внутреннего затухания возрастает, что уменьшает величину прогибов и, следовательно, величину напряжений. Допустимый уровень затухания позволит эксплуатировать защитную гильзу при продольных и, быть может, даже при поперечных резонансных частотах.

Если условия таковы, что защитная гильза будет эксплуатироваться при частотах, превышающих собственную частоту, то необходимо рассматривать резонансы более высокого порядка, однако в стандарте ASME PTC 19.3 TW-2010 не дается никаких указаний по этому поводу, и компания Emerson настоятельно не рекомендует эксплуатировать защитные гильзы в этой зоне.

НАПРЯЖЕНИЯ ОТ ИЗГИБА И ОТ ДАВЛЕНИЯ

(используемые в ASME PTC 19.3 TW-2010)

Несмотря на то, что создается впечатление, что уделено большое внимание теории и приложениям вихреобразования, напряжения в защитной гильзе и действующие силы также являются критическими для оценки пригодности к конкретным технологическим приложениям. В отличие от простого метода, приведенного в версии 1974 г., в стандарте ASME PTC 19.3 TW-2010 проводится более детальное рассмотрение как частоты, так и напряжения защитной гильзы. Это обеспечивает более широкие возможности для применения разных методов монтажа, для использования разных профилей и размеров расточки, отражающих предложения, которые имеются сегодня в промышленности.

В целом, в стандарте ASME PTC 19.3 TW-2010 существует 4 количественных критерия, чтобы установить приемлемость защитной гильзы для конкретного набора условий технологического процесса:

1. **Предел частоты:** резонансная частота защитной гильзы должна быть достаточно высокой, с тем чтобы в потоке жидкости не возбуждались разрушительные колебания.

(2) *Адаптировано из стандарта ASME, Нормы и правила для испытаний по проверке эксплуатационных характеристик 19.3TW-2010.*

Защитные гильзы

2. **Предел динамических напряжений:** максимальное первичное динамическое напряжение не должно превышать допустимого предела усталостных напряжений. Если конструкция требует, чтобы защитная гильза проходила через продольный резонанс для того, чтобы достичь условий эксплуатации, то существует дополнительная проверка усталости при резонансе.
3. **Предел статических напряжений:** максимальное установившееся напряжение в защитной гильзе не должно превышать допустимого напряжения, определяемого критерием фон Мизеса.
4. **Предел гидростатического давления:** внешнее давление не должно превышать значений номинального давления на концевой кромке, на хвостовике и на фланце защитной гильзы (или на резьбах).

Кроме того, необходимо рассмотреть вопрос о пригодности материала защитной гильзы для использования в технологической среде. Это означает, что конструктор должен оценить, как процессы коррозии и эрозии влияют на защитную гильзу, а также как воздействие условий технологического процесса влияет на свойства материала.

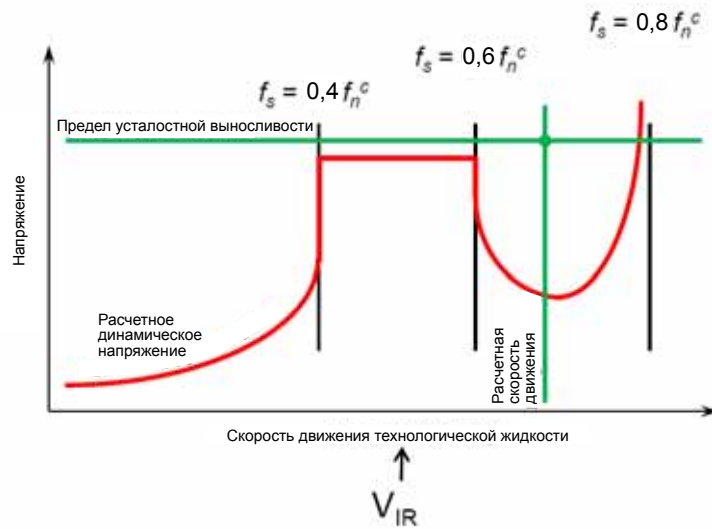
Предел частоты

В разделе о теории вихреобразования обсуждается метод стандарта ASME PTC 19.3 TW-2010 для расчета частоты Струхалия. Если частота Струхалия находится между диапазоном синхронизма продольной критической частоты и диапазоном синхронизма поперечной критической частоты, а оценка числа Скруттона указывает на недостаточное затухание, то конструкцию защитной гильзы необходимо модифицировать, кроме случаев, когда выполнены все указанные ниже условия:

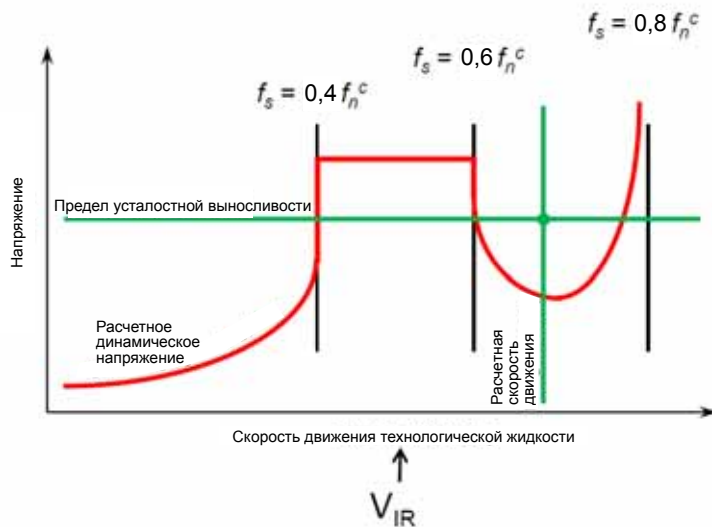
1. Технологической жидкостью является газ
2. Защитная гильза проходит через продольный резонанс только во время пуска, останова или, в противном случае, нечасто во время эксплуатации
3. Пиковое напряжение при резонансе меньше предела усталости материала
4. Технологическая жидкость не вызывает изменений свойств материала (в частности, сопротивления усталости)
5. Последствия поломки защитной гильзы представляют собой допустимый риск

Прохождение через частоту продольного резонанса

Если значение пикового изгибного колебательного напряжения меньше предела усталостной выносливости при продольной критической скорости, то защитная гильза может проходить через зону синхронизма продольного резонанса на пути достижения установившейся расчетной скорости движения жидкости. Скорости установившегося движения в пределах зоны синхронизма продольного резонанса не допускаются, вследствие большого числа усталостных циклов в защитной гильзе, а также повышенной вероятности повреждения датчика.



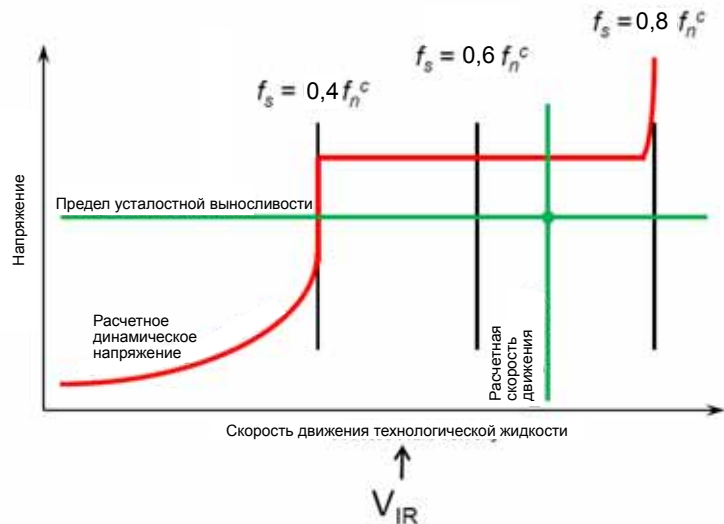
Примерный график, показывающий ситуацию, когда конструкция защитной гильзы переходит через примерное значение продольного резонанса.



Примерный график, показывающий ситуацию, когда конструкция защитной гильзы не переходит через примерное значение продольного резонанса. Эта конструкция может считаться приемлемой согласно стандарту ASME PTC 19.3 TW-2010.

Защитные гильзы

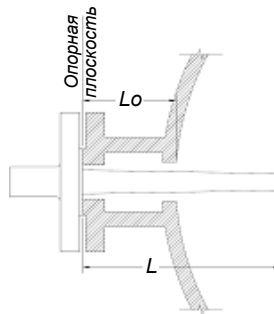
Если значение пикового изгибного колебательного напряжения больше предела усталостной выносливости при продольной критической скорости, то существует большая неопределенность относительно того, может ли защитная гильза эксплуатироваться выше уровня продольной критической скорости движения жидкости. Теоретически в том случае, если защитная гильза быстро проходит через зону синхронизма продольного резонанса, разрешается осуществлять эксплуатацию в диапазоне между $0,6 f_n^c$ и $0,8 f_n^c$. Подсчет циклов усталости проводится кумулятивно на протяжении всего срока службы защитной гильзы, так что очень важно знать, насколько долго защитная гильза находится в состоянии резонанса. Так как срок службы по условию усталости зависит от многих факторов, то чем дольше защитная гильза находится в состоянии резонанса, тем менее определенным является срок службы.



Пример графика, показывающего как компания Emerson интерпретирует оценку продольного резонанса. Компания Emerson будет считать такую конструкцию неприемлемой.

В связи с тем, что данные о конструкции, касающиеся скорости разгона, не известны провайдерам контрольно-измерительных приборов, защитные гильзы, которые не удовлетворяют оценке пиковых изгибных колебательных напряжений и которые эксплуатируются в зоне выше уровня продольной критической скорости движения жидкости, будут характеризоваться как неприемлемые с точки зрения компании Emerson.

**Защитные гильзы,
частично
экранированные
от потока**

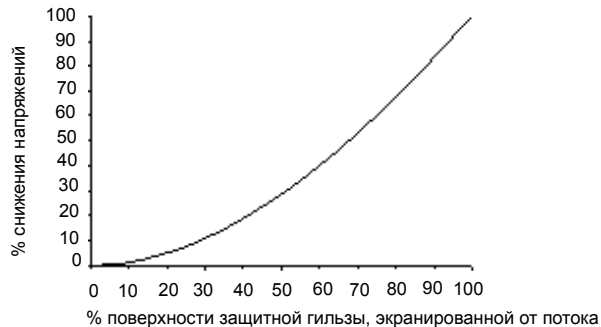


*Коническая защитная гильза,
частично экранированная
от потока*

Большинство установленных защитных гильз частично экранированы от потока; длина защитной гильзы, подвергаясь воздействию потока, не является полностью опертой длиной, и уравнения для изгибного момента и изгибных напряжений необходимо скорректировать.

Влияние экранирования на коническую защитную гильзу легко продемонстрировать, однако влияние экранирования на защитные гильзы ступенчатого типа более трудно прогнозировать или моделировать, так как поверхность воздействия имеет неравномерно изменяющуюся форму, и имеет место большая неоднородность данных. В результате этого, существуют

два набора оценок, выполненных для экранированных защитных гильз ступенчатого типа, основанные на положении ступени относительно потока жидкости. Расчеты напряжений также необходимо выполнить дважды для того, чтобы определить напряжения как в корне защитной гильзы, так и на ступени.



Влияние экранирования на коническую защитную гильзу

После того как будут определены условия установки и технологического процесса, а также когда частота Струхала будет находиться в частотной области, можно выполнить анализ фактических напряжений, действующих на защитную гильзу. Как указывалось ранее, если предполагается, что защитная гильза будет эксплуатироваться в зоне выше уровня продольной критической скорости, то существуют циклические напряжения при продольном резонансе, которые необходимо учитывать по мере того, как она переходит через эту область на пути достижения расчетной скорости движения жидкости. Кроме того, необходимо оценить установившиеся и динамические напряжения при расчетной скорости движения жидкости.

Защитные гильзы

Оценка продольных циклических напряжений

Циклические напряжения, возникающие в результате действия продольных и поперечных сил на поверхность защитной гильзы, концентрируются в корне. Для учета условий резонанса необходимо выполнить расчеты при продольной критической скорости резонанса для того, чтобы определить, являются ли пиковые изгибные напряжения при резонансе меньшими, чем предел усталостной выносливости материала. Так как этот анализ проводится в продольной критической точке, увеличение вследствие продольного резонанса имеет более сильное влияние, чем подъемные силы, поэтому для упрощения расчетов подъемными силами можно пренебречь. Эту оценку нужно проводить только в том случае, если оценка числа Скрутона показывает, что этого требуют условия технологического процесса.

Продольная критическая скорость используется для расчета силы, действующей на единицу площади поверхности защитной гильзы. Так как скорость технологической жидкости находится как средняя величина, а не как профиль скорости, то в расчетах также предполагается, что единичная площадь представляет собой всю длину защитной гильзы, подвергающейся воздействию. Если часть защитной гильзы частично экранирована от потока (как в случае отводной трубы), то это необходимо учитывать. Для защитных гильз ступенчатого типа этот анализ необходимо выполнить в обоих местах пиковых напряжений (в корне и в основании ступени).

Для того чтобы обеспечить консервативный характер расчетов, внутренний коэффициент затухания устанавливается равным 0,0005. Защитные гильзы со ступенчатым хвостовиком должны оцениваться в двух местах для того, чтобы идентифицировать наибольшие напряжения на этих двух участках.

Одним из основных изменений в стандарте ASME PTC 19.3 TW-2010 является использование таблицы для определения допустимых пределов усталостных напряжений. В таблице группируются материалы вместе с классом материалов и перекрестными ссылками на метод установки для определения предела напряжений.

Важно отметить, что сварные швы с частичным проплавлением обладают меньшим усталостным сопротивлением, чем сварные швы с полным проплавлением, и для них в таблице приводятся более низкие значения. Более подробную информацию см. ниже в разделе о требованиях к конструкции защитных гильз.

Оценка установившихся напряжений при расчетной скорости движения жидкости

Необходимо также выполнить оценку защитных гильз при расчетной скорости, а также обеспечить, чтобы они отвечали требованиям технологической среды. Установившиеся напряжения представляют собой комбинацию внешнего давления от технологического процесса и силы сопротивления. Они также рассчитываются для участков максимальных напряжений; поэтому если защитная гильза частично экранирована или если имеет ступенчатую форму, то расчеты следует производить с учетом этих характеристик установки.

После того, как будут рассчитаны максимальные напряжения, их значения можно использовать для определения того, выполняется ли критерий фон Мизеса или нет. Критерий фон Мизеса используется для оценки условий сдвига и напряжений от давления в сферах и круговых цилиндрах. Этот расчет позволяет прогнозировать условие пластической податливости материалов.⁽¹⁾ Успешный результат этой оценки означает, что установившиеся напряжения не превышают усталостной прочности материала и что защитную гильзу можно использовать при требуемой расчетной скорости движения жидкости.

Оценка динамических напряжений при расчетной скорости движения жидкости

Динамические напряжения, действующие на защитную гильзу, связаны с колебательными подъемными (поперечными) силами и (продольными) силами сопротивления. Коэффициент увеличения представляет экспоненциальный характер увеличения усилий по мере того, как частота Струхала приближается к собственной частоте защитной гильзы, например, в зоне около продольной критической скорости движения жидкости. Если частота Струхала не попадает в диапазоны синхронизма продольной или поперечной собственной частоты, то коэффициенты увеличения рассчитываются и применяются к уравнениям для циклических напряжений. Циклические силы сопротивления и подъемные силы необходимо рассчитать при расчетной скорости так же, как выполнялась оценка продольных циклических напряжений. В отличие от ранее выполненной оценки продольных циклических напряжений, подъемные силы не обнуляются.

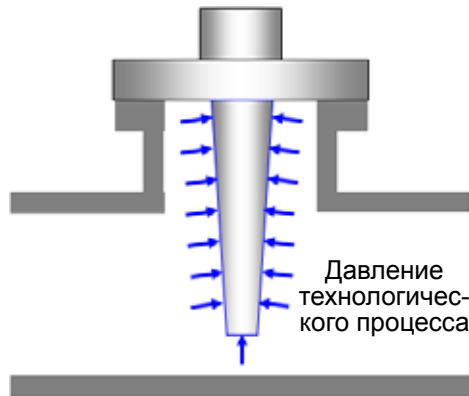
Если расчетная скорость превышает продольную критическую скорость, то, возможно, защитную гильзу следует рассматривать так, как будто бы она должна эксплуатироваться при уровнях продольных резонансных напряжений в течение неограниченного периода времени. См. выше положения о прохождении через продольный резонанс.

Очевидно, что существует ряд оценок, выполненных на конструкции защитной гильзы, однако при наличии информации, такой как значения продольной критической скорости, оценки установившихся и динамических напряжений, конструктор может получить подробную картину того, как защитная гильза эксплуатируется в частотной области, а также о том, насколько близко она эксплуатируется к пределу усталости. Эта информация позволит конструктору решить, какие коэффициенты запаса необходимо поддерживать в проектируемом технологическом процессе.

(1) Брок, Джон Е., «Расчет напряжений защитных гильз», Школа аспирантуры ВМФ, Монтерей, штат Калифорния (1974).

Защитные гильзы

Оценка напряжений от давления



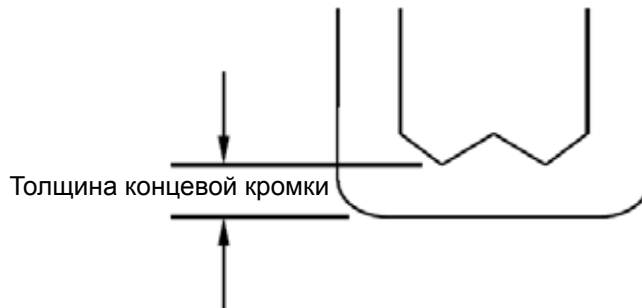
Окончательной проверкой, необходимой для того, чтобы определить, приемлема ли конструкция защитной гильзы для данного приложения, является оценка напряжений от давления. Эту проверку часто пропускают, так как, вообще говоря, она не является причиной непригодности конструкции, однако, тем не менее, она является критически важной. Проверку напряжений от давления необходимо выполнить отдельно на хвостовике и на концевой кромке.

Для расчета давления на хвостовике в качестве проверки пригодности предлагаются два метода в зависимости от давления технологического процесса. Для значений давления технологического процесса, меньших 103 МПа (15 кфунт/дюйм²), стандарт ASME PTC 19.3 TW-2010 рекомендует использовать Нормы и правила ASME для котлов и сосудов давления (BPVC), раздел VIII, пункт UG-28. Ограничения по температуре, указанные в этом разделе Норм и правил BPVC, не применяются, так как большинство защитных гильз проектируется в соответствии с требованиями стандартов ASME B31.1 или ASME B31.3. Максимально допустимые значения напряжений необходимо вместо Норм и правил BPVC брать из любого из этих стандартов. Причина того, что расчет из Норм и правил BPVC упомянут в стандарте ASME PTC 19.3 TW-2010, заключается в том, что это уравнение имеет историю успешного использования и сравнительно хорошо известно специалистам в промышленности.

В том случае, если требуемый материал защитной гильзы отсутствует в Нормах и правилах BPVC или если требуется применить более простой метод, стандарт ASME PTC 19.3 TW-2010 предлагает альтернативную упрощенную формулу. Недостаток использования упрощенного метода заключается в том, что давление хвостовика, определенное с помощью этого метода, может быть на 17 % ниже значения, рассчитанного с помощью метода UG-28 для некоторых материалов при некоторых температурах. Выигрыш заключается в менее сложном расчете и в обеспечении дополнительного запаса.

Для приложений высокого давления (> 103 МПа (15 кфунт/дюйм²)) стандарт ASME PTC 19.3 TW-2010 для проведения расчета указывает на Нормы и правила ASME для котлов и сосудов давления (BPVC), раздел VIII, пункт 3, или ASME B31.3, глава IX. Такие высокие давления (превышающие пределы давления для фланцев 2500# в ASME B16.5) необходимо оценивать аккуратно и не применять автоматических средств расчета.

Толщина концевой кромки является самым тонким размером от внешней концевой кромки до самой дальней точки сверления. Так как большинство защитных гильз изготавливается с использованием сверла для глубокого сверления с помощью пистолета, важно, чтобы используемая толщина концевой кромки принималась за фактическую меру самой тонкой точки. Пиковый размер используется для расчета длины датчика, так как пиковый размер соприкасается с датчиком, а не с «впадиной». Если сверло для глубокого сверления является острым, то впадина может достигать 1,5 мм [0,060 дюйма] и стать толще, чем износ сверла.



Фрагмент толщины концевой кромки защитной гильзы.

Максимальное давление, которое защитная гильза может выдержать, меньше предела давления на хвостовике или на концевой кромке.



ВАЖНОЕ ПРИМЕЧАНИЕ:

При обращении к стандарту ASME PTC 19.3 или к стандарту ASME PTC 19.3 TW-2010 оценка напряжений от давления касается только напряжений, которые может выдержать только стержень (или хвостовик) и концевая кромка защитной гильзы, а не тех, что может выдержать резьба или фланец. Выбор технологического соединения и оценка номинального значения давления должны проводиться до того, как будет выполнена оценка конструкции защитной гильзы на предмет наличия вызванных вихрями вибрационных колебаний.

Информация о материалах

Наилучший технический метод получения информации о материалах заключается в использовании, по возможности, надежной и стандартизированной информации. Компания Emerson использует только информацию о материалах из открытых источников, содержащих стандарты, таких как Нормы и правила ASME для котлов и сосудов давления и стандарт ASME B31.1/B31.3. Эта информация, вообще говоря, является консервативной и принята для использования в промышленности. Теоретически компания Emerson могла бы использовать информацию поставщика для пополнения базы данных материалов. Однако такая практика обескураживает, так как компания Emerson не может гарантировать, что конкретная партия материала будет использоваться в конкретной защитной гильзе для обеспечения соответствия с конкретным отчетом. Этот метод не является практичным или надежным для оптимизации эксплуатационных характеристик защитной гильзы.

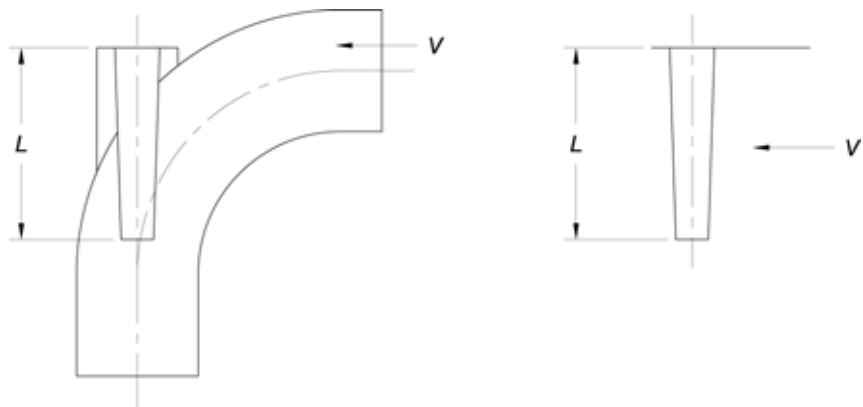
Защитные гильзы

ИЗМЕНЕНИЯ УСТАНОВКИ

Способ, с помощью которого защитные гильзы устанавливаются в технологическом процессе, может существенно повлиять на расчеты напряжений защитных гильз и вихреобразования. Рассматриваемые здесь изменения выходят за рамки «стандартных» способов установки, таких как фланцевые, резьбовые или приварные защитные гильзы или частичное экранирование защитной гильзы.

Установки в колене

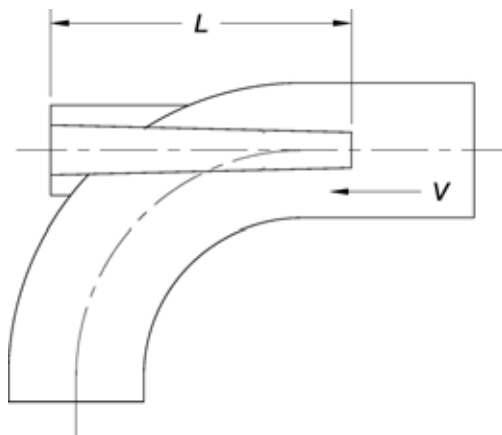
В стандарте ASME PTC 19.3 TW-2010 не приводится никаких разумных указаний относительно установки защитных гильз в колене. Моделирование потока в колене является чрезвычайно трудным вследствие наличия турбулентности и сложности течения. В стандарте ASME PTC 19.3 TW-2010 предлагается, что, для того чтобы применять консервативный подход, необходимо учитывать полностью неопертую неэкранированную длину, которая подвергается воздействию потока с усилениями, действующими перпендикулярно (то есть «нормально») оси защитной гильзы. Для многих этот ответ не является приемлемым. Некоторые замечания в стандарте ASME PTC 19.3 TW-2010 и обсуждения в комитете позволили получить альтернативу этому чересчур консервативному взгляду. Если концевая кромка расположена достаточно далеко вверх по потоку или вниз по потоку от колена так, что жидкость течет параллельно оси защитной гильзы на концевой кромке, то число Струхала очень мало, так как потоком через концевую кромку можно пренебречь. В стандарте ASME PTC 19.3 TW-2010 указывается, что это выходит за сферу применения этого стандарта, в то время как другие специалисты в промышленности считают, что этот тип установки был бы простым решением для конструкций защитной гильзы, которые эксплуатируются в зоне, близкой к собственной частоте.



Защитная гильза, установленная в колене с концевой кромкой, смотрящей в направлении вниз по потоку.⁽¹⁾

(1) Стандарт ASME, Нормы и правила для испытаний по проверке эксплуатационных характеристик 19.3TW-2010.

В стандарте ASME PTC 19.3 TW-2010 предполагается, что защитная гильза, установленная в направлении вниз по течению, является лучшим способом установки, так как количество и местоположение потока прилагают меньшее плечо момента и усилие к защитной гильзе, а обтекание концевой кромки является более ламинарным. Если концевая кромка направлена вниз по течению, то закрутка жидкости после прохождения защитной гильзы может иметь поперечные концевые компоненты, однако это явление чрезвычайно трудно моделировать. Так же, как и при угловой установке, показанной ниже, расчет плеча момента затруднен; поэтому изменения силы, плеча момента и напряжения нелегко прогнозировать.



Защитная гильза, установленная в колене с концевой кромкой, смотрящей в направлении вверх по потоку.⁽¹⁾

Компания Emerson проводит более широкие исследования этих методов установки, для того чтобы дать определенные обоснования в поддержку этих технических решений.

(1) Стандарт ASME, Нормы и правила для испытаний по проверке эксплуатационных характеристик 19.3TW-2010.

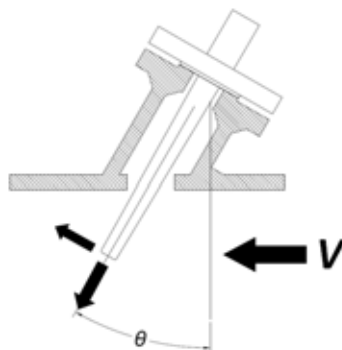
Защитные гильзы

Установка под углом

Заказчики часто устанавливают защитные гильзы под некоторым углом к потоку для того, чтобы улучшить возможность доступа, уменьшить величину сил, действующих на защитную гильзу или увеличить воздействие потока при небольших линейных размерах, что в результате позволяет получить более точные показания температуры. Влияние угла «скоса» на скорость потока на концевой кромке – это не просто задача из области тригонометрии. Такая установка усложняет также прогнозирование напряжений и сил, действующих на защитную гильзу.

При изменении угла установки скорость обтекания концевой кромки уменьшается.

$$V_{\text{вдоль поперечной оси}} = V_{\text{потока}} \cdot \cos(\theta) \text{ для } \theta \text{ до } 30^\circ \text{ (1)}$$



Векторы скорости при установке под углом

По мере того как этот угол будет приближаться к 0° , компонент скорости потока на концевой кромке будет приближаться к единице или к 100% от скорости движения жидкости. Это может быть полезно для уменьшения частоты Струхала в случаях установки, когда напряжения не являются ограничивающим фактором.

Такие же логические рассуждения несправедливы для сил, действующих на защитную гильзу. По мере изменения угла скоса площадь поверхности увеличивается, тем самым, увеличивается длина защитной

гильзы, повышая величину сил трения. Обтекание защитной гильзы значительно усложняет процесс моделирования, и поэтому возникают трудности при прогнозировании изменений значений сил, плеча момента и напряжений. В стандарте ASME PTC 19.3 TW-2010 указывается, что это выходит за сферу применения стандарта, однако компания Emerson проводит более широкое исследование данного метода установки для того, чтобы получить достаточное обоснование преимуществ этого технического решения. Существуют сложные клиентские приложения, когда такой метод установки может оказаться единственным жизнеспособным техническим вариантом.

Каналы прямогоугольного сечения и трубы кругового сечения

Поскольку в новом стандарте используется средняя скорость потока, то необязательно знать или моделировать профиль течения в каналах прямогоугольного сечения, а также знать, как она может отличаться от труб кругового сечения. Конструктору достаточно знать массовый расход, плотность и площадь поперечного сечения для того, чтобы рассчитать среднюю скорость. Более подробное обсуждение этого вопроса приводится в разделе «Средняя скорость».

(1) С.Е. Рамберг, «Влияние угла скоса и конечной длины на вихревой след неподвижных и вибрирующих цилиндров», *Journal of Fluid Mechanics* 128, 81-107 (1983).

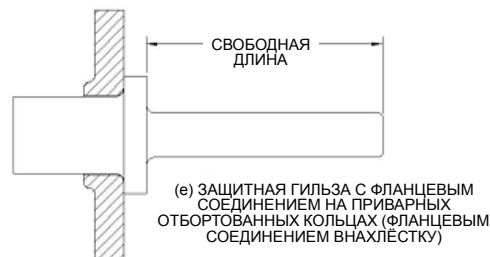
ОПРЕДЕЛЕНИЕ СВОБОДНОЙ ДЛИНЫ

Определение свободной длины изменилось с выпуском стандарта ASME PTC 19.3 TW-2010. Модель теории балок, которая используется в стандарте ASME PTC 19.3 TW-2010, очень чувствительна к изменениям свободной длины; таким образом, необходимо, чтобы определение было четким и согласованным.

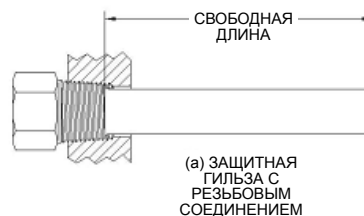
Для фланцевых защитных гильз (включая использование фланцев на приварных отбортованных кольцах или фланцевое соединение внахлестку) длина погруженной части совпадает со свободной длиной.



Фланцевая защитная гильза⁽¹⁾



Защитная гильза с фланцевым соединением на приварных отбортованных кольцах (фланцевым соединением внахлестку)⁽¹⁾



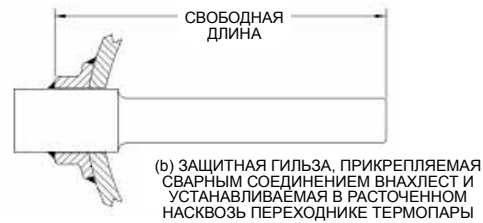
Защитная гильза с резьбовым соединением⁽¹⁾

Для резьбовых защитных гильз длина погруженной части совпадает со свободной длиной, однако результаты экспериментов показали, что свободная длина начинается примерно со 2-го или 3-го витка резьбы резьбового участка. Это учитывается в стандарте ASME PTC 19.3 TW-2010 путем применения корректирующих коэффициентов для резьбовых защитных гильз.

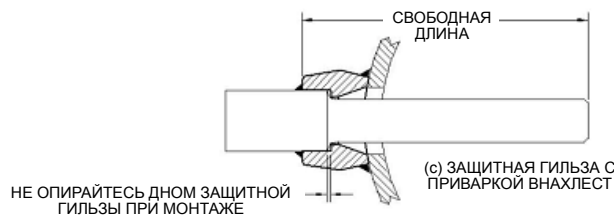
(1) Стандарт ASME, Нормы и правила для испытаний по проверке эксплуатационных характеристик 19.3TW-2010.

Защитные гильзы

Наибольшее изменение наблюдается в случае приварных защитных гильз. Неправильное использование длины погруженного участка укорачивает свободную длину и увеличивает собственную частоту защитной гильзы.

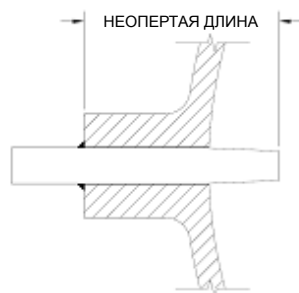


Приварная защитная гильза в сквозном отверстии⁽¹⁾.



Защитная гильза с приваркой внахлест.⁽¹⁾

Правильной точкой, с которой необходимо начинать расчет свободной длины, является точка сварного шва, однако, так как компания Emerson не знает точного местоположения точки сварного шва, необходимо выполнить оценку положения точки сварного шва для расчета или необходимо использовать общую длину защитной гильзы. Это должно гарантировать, что, независимо от того, как установлена защитная гильза, выполняемый расчет должен носить безопасный консервативный характер.



Приварная защитная гильза согласно стандарту DIN 43772.

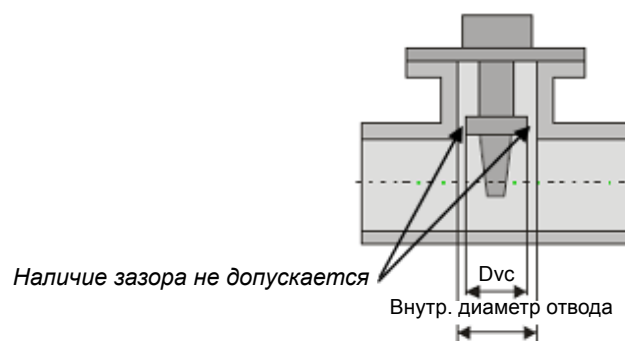
В качестве альтернативного метода можно было бы прочертить линию на защитной гильзе, для того чтобы показать место, где следует выполнить сварку, для того чтобы обеспечить точность или консервативный подход. Это может оказаться более сложным и потребовать знания размеров сварного шва внахлест.

(1) Стандарт ASME, Нормы и правила для испытаний по проверке эксплуатационных характеристик 19.3TW-2010.

Особый случай, когда необходимо прояснить величину свободной длины, – это приварные защитные гильзы, установленные согласно стандарту DIN 43772. Они проектируются с использованием отверстия, расточенного со строгим допуском в трубе, и с использованием литой защитной гильзы, подвергнутой механической обработке со строгим допуском. Поскольку существует допуск для установки, невозможно гарантировать посадку с натягом, которая может потребоваться для перемещения свободной длины (см. раздел «Кольца скорости»). При отсутствии другой информации свободная длина для этого способа установки должна определяться в соответствии с приведенным слева рисунком.

КОЛЬЦА СКОРОСТИ

Использование колец скорости (или частоты) рассматривается также в стандарте ASME PTC 19.3 TW-2010. В стандарте указывается, что не рекомендуется использовать кольца в качестве жесткой опоры для целей укорачивания неопертой длины. Этого можно добиться только путем использования посадки с натягом. Вот почему смещения концевой кромки защитной гильзы, вообще говоря, очень малы (менее 0,5 мм)⁽¹⁾⁽²⁾, и любой зазор между этим кольцом и внутренним диаметром отводной трубы сделает это кольцо неэффективным при уменьшении величины эффективной свободной длины. Кроме того, так же, как и молоток, многократно ударяющий по металлической поверхности, защитная гильза или труба будут продолжать деформироваться, и зазор будет расширяться до тех пор, пока не произойдет какой-либо контакт. Это может привести к росту напряжений в защитной гильзе вследствие выступов или, в конечном счете, к поломке сварных швов, которые могут находиться около данного кольца. Для того чтобы кольцо было эффективным, оно должно быть посажено с натягом, а поскольку компания Emerson не может гарантировать такую окончательную посадку, мы рекомендуем использовать геометрию или менять способы установки для того, чтобы обеспечить выполнение условий технологического процесса, а не использовать кольца.



Наличие зазора между кольцом и внутренним диаметром отвода трубы не допускается.

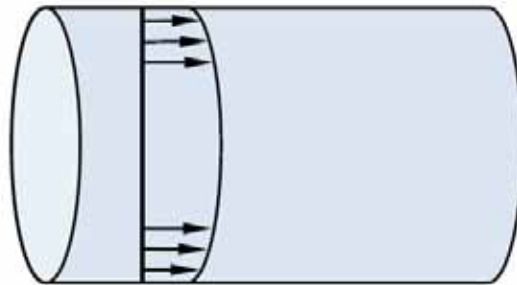
- (1) Finch, P., Hamblin, M., и Constable, D., «Локальные измерения вибрации защитных гильз во время герметизации технологической линии», Woodside Energy Ltd. Отчет (дата неизвестна – после 2001 г. и до 2010 г.).
- (2) Haslinger, K.H., Электрическая компания «Вестингауз», «Испытания вызванной потоком вибрации конструкций сменных защитных гильз», Journal of Fluids and Structures (2003).

Защитные гильзы

Компания Emerson продолжит поставлять защитные гильзы с кольцами скорости, выполненными согласно техническим условиям заказчика, однако мы отказываемся давать рекомендации относительно размеров кольца скорости и не будем предоставлять отчеты о расчетах для различных способов установки с помощью колец скорости. Любые иные принципы означали бы наше одобрение этого метода. Приварные защитные гильзы согласно стандарту DIN 43772 должны рассматриваться так же, как и кольца скорости, так же, как и в других методах установки, основанных на аналогичных намерениях.

СРЕДНЯЯ СКОРОСТЬ И ПРОФИЛЬ СКОРОСТИ

Можно подумать, что наилучшим методом расчета сил, действующих на защитную гильзу, является использование анализа по методу конечных элементов (МКЭ), который позволяет получить подробные и точные данные. Трудность при использовании анализа по методу МКЭ заключается в том, что значения исходных данных меняются непрерывно, так что получающаяся точность результатов намного превышает полезность при переходе от одного момента к другому. Как в стандарте ASME PTC 19.3-1974, так и в стандарте ASME PTC 19.3 TW-2010 для расчетов в соответствии со стандартом используется средняя скорость. Это объясняется тем, что конструктор, вообще говоря, знает значение массового расхода и может мало знать распределение потока по сечению трубы. Конструктору просто необходимо знать массовый расход, плотность и площадь поперечного сечения для того, чтобы рассчитать среднюю скорость. Использование средней скорости также упрощает расчеты, что способствует широкому принятию среди пользователей.



Пример полностью развитого профиля турбулентного течения в трубе.

ТРЕБОВАНИЯ К КОНСТРУКЦИИ ЗАЩИТНОЙ ГИЛЬЗЫ

При проведении расчета собственной частоты на месте в стандарте ASME PTC 19.3 TW-2010 предполагается, что защитная гильза изготовлена из сплошной отливки, позволяющей использовать простую модель балки. Штоки защитных гильз могут быть коваными или гнутыми, но их нельзя изготавливать из трубы или трубки. Это ограничение означает, что защитные гильзы представляющие собой трехэлементную сварную конструкцию, или защитные гильзы, изготовленные путем сверления через концевую кромку с приварной крышкой, не охватываются положениями стандарта ASME PTC 19.3 TW-2010.

Рекомендуется использовать сварные швы с полным проплавлением для фланцевых защитных гильз, с тем чтобы достигнуть наибольших значений номинальной усталостной прочности (см. раздел «Допустимые пределы амплитуды усталостных напряжений» в стандарте ASME PTC 19.3 TW-2010). Кованые защитные гильзы достигают той же цели без использования сварных швов, но при намного более высоких затратах. Защитные гильзы с соединением внахлестку достигают этой цели без увеличения расходов, однако многие заказчики не используют этот тип защитных гильз.

Другой проблемой конструкции являются допуски изготовления защитных гильз. Допуски, которые являются слишком свободными, могут привести к тому, что уравнения будут неточными, и могут использовать все запасы безопасности, включенные в члены уравнений. Однако ужесточение допусков приводит к увеличению стоимости изготовления защитных гильз. Для размеров также необходимо предусмотреть припуск на коррозию.

Защитные гильзы

*Rosemount и логотип Rosemount являются зарегистрированными товарными знаками компании Rosemount Inc.
PlantWeb является зарегистрированным товарным знаком одной из компаний группы Emerson Process Management.
Все другие знаки являются собственностью их соответствующих владельцев.*

Emerson Process Management

Россия, 115054, г. Москва,
ул. Дубининская, 53, стр. 5
Телефон: +7 (495) 995-95-59
Факс: +7 (495) 424-88-50
Info.Ru@Emerson.com
www.emersonprocess.ru

Азербайджан, AZ-1025, г. Баку
Проспект Ходжалы, 37
Demirchi Tower
Телефон: +994 (12) 498-2448
Факс: +994 (12) 498-2449
e-mail: Info.Az@Emerson.com

Казахстан, 050012, г. Алматы
ул. Толе Би, 101, корпус Д, Е, этаж 8
Телефон: +7 (727) 356-12-00
Факс: +7 (727) 356-12-05
e-mail: Info.Kz@Emerson.com

Украина, 04073, г. Киев
Куреневский переулок, 12,
строение А, офис А-302
Телефон: +38 (044) 4-929-929
Факс: +38 (044) 4-929-928
e-mail: Info.Ua@Emerson.com

Промышленная группа «Метран»

Россия, 454112, г. Челябинск,
Комсомольский проспект, 29
Телефон: +7 (351) 799-51-52
Info.Metran@Emerson.com
www.metran.ru

Технические консультации по выбору и применению
продукции осуществляет Центр поддержки Заказчиков
Телефон +7 (351) 799-51-52
Факс +7 (351) 799-55-88