



СЕРТИФИКАЦИЯ ИЛИ ПРОФАНАЦИЯ?



В последнее время обозначилась тенденция выдачи сертификатов соответствия российским нормам по расчету на прочность для зарубежных компьютерных программ, в которых эти нормы фактически не реализованы. При этом часто приходится слышать мнение, что если расчет выполнен в соответствии с американскими нормами по расчету на прочность, то требования российских норм будут обеспечены автоматически. Это далеко не так. Рассмотрим этот вопрос подробнее.

Для оценки прочности технологических трубопроводов в США используется стандарт ASME B31.3 [6], а в России — СА 03-003-07 [1]. Подходы к оценке прочности в этих стандартах имеют существенные отличия. Это объясняется целым рядом причин:

- историей их независимого развития друг от друга;
- требованиями к стандартизации труб и трубопроводных деталей в США и в России;
- разными возможностями для принятия самостоятельных решений при оценке прочности.

Допускаемые напряжения по американским и российским нормам не всегда соответствуют друг другу. Понятия предела прочности стальных труб идентичны, а вот в определении предела текучести имеются разночтения. В стандартах ASME предел текучести для углеродистых и низколегированных сталей может соответствовать как величине 0,5% полной деформации, так и 0,2% остаточной деформации. Следовательно, для одних и тех же сталей эта величина может отличаться в зависимости от того, по какому методу она определялась.

Критерии оценки прочности на дополнительные воздействия (вес и температурный нагрев) также различаются.

В рабочем состоянии оценка прочности от силовых воздействий (например, вес трубопровода и обустройств) выглядит следующим образом (все обозначения

приведены как в российских нормах):

- по отечественным нормам:

$$\sigma_e = \sqrt{\sigma^2 - \sigma\sigma_z + \sigma_z^2 + 3\tau^2} \leq 1,1[\sigma],$$

где

$$\sigma_z = \sigma_{pz} \pm \sigma_{zN} + \sigma_{zM};$$

- по нормам США:

$$\sigma_z = \sigma_{pz} \pm \sigma_{zN} + \sigma_{zM} \leq [\sigma]\varphi_y.$$

В этих формулах:

$[\sigma]$ — допускаемое напряжение при расчетной температуре, которое, как было отмечено выше, может отличаться в российских и американских нормах;

φ_y — коэффициент снижения прочности сварного шва на давление. В американских и российских нормах он имеет разный смысл и совпадает только при 100% контроле качества сварного шва $=1$;

σ — кольцевое напряжение от внутреннего давления;

σ_{pz} — продольное напряжение от внутреннего давления;

τ — касательное напряжение от кручения;

σ_{zN} — продольные напряжения от осевой силы;

σ_{zM} — продольное напряжение от изгиба

$$\sigma_{zM} = \frac{1}{\varphi_{bw}} \sqrt{(i_0 M_0)^2 + (i_i M_i)^2};$$

φ_{bw} — коэффициент снижения прочности сварного шва при изгибе. В российских нормах его значение может изменяться в диапазоне от 0,6 до 1,0, а в американских он всегда равен 1,0;

i_0, i_i — коэффициенты концентрации местных напряжений в отводах и Т-образных соединениях (врезках и тройниках).

Оценка прочности от всех воздействий в рабочем состоянии в СА 03-003-07 так же отличается от ASME B31.3:

- по отечественным нормам

$$\sigma_e = \sqrt{\sigma^2 - \sigma\sigma_z + \sigma_z^2 + 3\tau^2} \leq 1,5[\sigma],$$

в среднетемпературных трубопроводах такая проверка обязательна только для труб;

- по американским нормам допустимо использовать две методики: "стандартную" и "альтернативную".

1. "Стандартная" методика:

$$\sigma_e = \sqrt{\sigma_{zM}^2 + 4\tau^2} \leq f(1,25[\sigma]_{20} + 0,25[\sigma]),$$

в случае $[\sigma] > \sigma_z$ вместо этого критерия можно использовать

$$\sigma_e = \sqrt{\sigma_{zM}^2 + 4\tau^2} \leq f\{(1,25[\sigma]_{20} + [\sigma]) - \sigma_z\}.$$

2. "Альтернативная" методика (введена в нормы США в 2004 году в качестве Приложения "Р"):

$$\sigma_e = \sqrt{(\sigma_{zN} + \sigma_{zM})^2 + 4\tau^2} \leq 1,25f([\sigma] + [\sigma]_{20}).$$

В этих формулах:

$[\sigma]_{20}$ — допускаемое напряжение в холодном состоянии (при температуре 20°C);

f — коэффициент, учитывающий влияние циклических воздействий на прочность труб и деталей; его максимальное значение — 1,2, минимальное — 0,15 (соответствует пределу выносливости)

$$f = 6N_c^{-0,2},$$

N_c — количество полных циклов нагружения.

Для холодного трубопровода при количестве циклов менее 3000 критерии прочности можно также записать следующим образом:

$$\sigma_e = \sqrt{(\sigma_{zN} + \sigma_{zM})^2 + 4\tau^2} \leq 3[\sigma].$$

В отечественных нормах оценка циклической прочности производится отдельно от проверки статической прочности. Для углеродистых сталей, например, эта оценка выглядит следующим образом

$$\sigma_{ae} \leq A_T 80 \left(1 + 1200 N_c^{-0,533} \right)^{0,625},$$

где

σ_{ae} — амплитуда эквивалентных напряжений,

A_T — коэффициент приведения к температуре 20°C

$$A_T = [\sigma] / [\sigma]_{20}.$$

Отводы и Т-образные соединения проверяются только на циклическую прочность. В американских же нормах такая оценка отсутствует: как показано выше, статическая прочность и циклическая прочность в них оцениваются совместно.

Подход к расчету высокотемпературных трубопроводов в российских и американских нормах отличается принципиально. В российских нормах учитываются эффекты, вызванные деформациями ползучести металла при высоких температурах: релаксация напряжений в трубопроводе в рабочем состоянии и саморастяжка при последующем охлаждении. Для этого используются коэффициенты усреднения и релаксации компенсационных напряжений. В американских нормах учет релаксации и саморастяжки при оценке прочности отсутствует, а нагрузки на опоры с учетом этих факторов определяются только для простых случаев (пункт 319.5.1).

Мы привели сравнение стандартов для технологических трубопроводов. Но аналогичные различия наблюдаются и в других нормативных документах:

- ASME B31.1 [7] и РД 10-249-98 [2] для трубопроводов пара и горячей воды энергетических установок;
- ASME B31.8 [8] и СНиП 2.05.06-85[3] для магистральных нефте- и газопроводов.

Невозможно однозначно установить, какие нормы (российские или американские) дают лучшее решение. Это отмечают и сами американские специалисты [9]. Требуется достаточно высокая квалификация, чтобы правильно сопоставить результаты оценки прочности по различным нормам и установить степень их соответствия, особенно для трубопроводов, сконструированных из отечественных труб и деталей. Наш опыт показывает, что если трубопровод удовлетворяет условиям прочности по отечественным нормам, то условиям прочности по ASME он, как правило, также удовлетворяет. Обратной закономерности, к сожалению, не наблюдается.

Из зарубежных компьютерных программ для расчетов прочности трубопроводов наибольшую известность на российском рынке получили две: CAESAR II (Intergraph) и Bentley AutoPIPE (Bentley Systems Inc). Российские нормы в официальном (заявленном разработчиками!) списке реализованных в этих программах норм отсутствуют.

Потенциальные покупатели обычно задают вопрос: "Можно ли использовать эти программы при проектировании

промышленных объектов, находящихся на территории России?". В свете изложенного, на него следует дать отрицательный ответ: российским нормам оценки прочности ни CAESAR II, ни Bentley AutoPIPE не соответствуют (за исключением, возможно, СНиП 2.05.06-85 [3] в AutoPIPE v.9.4).

Сертификаты на соответствие этих программ российским нормам доверия не вызывают, поскольку в обязательных приложениях к ним не подтверждается соответствие заявленным нормам. На момент сертификации отечественные нормы в программах не были реализованы, поэтому заявители либо необдуманно пытались доказать соответствие российских норм зарубежным аналогам ("Омскнефтехимпроект"), либо специально выбирали исключительно те положения норм, которым программа не противоречит (Bentley Systems Inc). Например, в сертификате, выданном на программу Bentley AutoPIPE, соответствие нормам СНиП 2.04.12-86 "Расчет на прочность стальных трубопроводов" декларируется на основании пункта 5.3. В последнем говорится, что "расчетная схема трубопровода должна отражать действительные условия его работы, а метод расчета — учитывать возможность использования ЭВМ". Если при сертификации руководствоваться подобными критериями, можно сертифицировать любую программу на соответствие любым нормам!

По нашему мнению, в процессе сертификации зарубежных программ необходимо использовать два предварительных фильтра:

- первый (грубый) — в экранном меню должен присутствовать заявленный нормативный документ;
- второй (тонкий) — документация, предоставляемая при сертификации, должна содержать тестовый пример с распечаткой результатов расчета в соответствии с этим документом.

Если заявитель не может предъявить ни того ни другого, то нет предмета сертификации, а сам сертификат становится источником недобросовестной рекламы и предназначен для того, чтобы усыпить бдительность надзорных органов.

Выводы

1. Критерии прочности трубопроводов в российских нормах, как правило, оказываются более жесткими, чем в американских аналогах. Трубопроводы, прочность которых подтверждена американскими стандартами, в ряде случаев

могут не удовлетворять условиям прочности по российским нормам.

2. Усыпить бдительность надзорных органов подобные сертификаты вряд ли помогут. Мы не знаем ни одного случая, когда объект, возводимый на территории России с использованием зарубежных норм, не проходил бы экспертизу на соответствие отечественным стандартам. Квалифицированно сопоставить результаты оценки прочности по американским и отечественным нормам удается далеко не всегда, в большинстве случаев необходим полный перерасчет объекта в соответствии с российскими нормами.

3. Целью подтверждения соответствия отечественным регламентам, стандартам и сводам правил должно быть действие потребителю в kompetentном выборе продукции и услуг, а не формальное декларирование справедливости отдельных положений, которые зачастую не содержат самих критериев оценки прочности.

4. Нельзя сертифицировать программу на соответствие нормам, которые в ней даже не реализованы. Это резко снижает доверие к процедуре сертификации и ставит под сомнение ее ценность.

Литература

1. Расчеты на прочность и вибрацию стальных технологических трубопроводов, стандарт Ассоциации РОСТЕХЭКСПЕРТИЗА СА 03-003-07. М., 2007.
2. Нормы расчета на прочность стационарных котлов и трубопроводов пара и горячей воды, РД 10-249-98. М., 2010.
3. Строительные нормы и правила, СНиП 2.05.06-85*. Магистральные трубопроводы. М., 2007.
4. Строительные нормы и правила, СНиП 2.04.12-86. Расчет на прочность стальных трубопроводов. М., 2006.
5. Нормы расчета на прочность трубопроводов тепловых сетей, РД 10-400-01. М., 2001.
6. ASME B31.3 Process Piping.
7. ASME B31.1 Power Piping.
8. ASME B31.8 Gas Transmission and Distribution Piping Systems.
9. A. Aynbinder, B. Green, B. Taska, P. Dalton, Stress Criteria of American Oil and Gas Pipeline Design Code and Comparisons with Russian SNIP 2.05.06-85, Gulf interstate Engineering. Houston, USA, 1994.

*Виктор Магалиф,
Алексей Матвеев
НТП "Трубопровод"*