

УДК 624.042.63:621.64

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВНУТРЕННИХ НАПРЯЖЕНИЙ В ТРУБОПРОВОДЕ ПРИ ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ

М.В. ДРОЗДЕЦКИЙ

(Представлено: А.Н. ЯНУШОНОК)

Представлено решение задачи распределения температур и температурных напряжений по оси открытого и свободного от изоляции магистрального трубопровода, поперечный участок которого нагрет специальной манжетой с целью изменения свойств металла трубы.

Республика Беларусь обладает развитой сетью магистральных трубопроводов, сооружение которых происходило преимущественно в 60-е – 70-е годы прошлого века. Это обусловило возраст трубопроводной системы: 80 % магистральных трубопроводов, транспортирующих жидкие углеводороды, работают за пределами нормативного срока службы.

В процессе старения в металле трубопроводов протекают процессы старения, которые проявляются в изменении микроструктуры и механических свойств. Наиболее выраженным следствием старения является снижение ударной вязкости металла, которая характеризует способность сопротивления хрупкому разрушению, т.е. является одним из факторов определяющим его надежность. За 30 лет эксплуатации в трубных сталях происходит снижение ударной вязкости в 3–5 раз и ее значения могут оказаться ниже требуемых техническими нормативными правовыми актами. Восстановление ударной вязкости возможно путем специальной термической обработки, режим которой определен в работе обеспечение надежности магистральных трубопроводов путем восстановительной термической обработки. В то же время высокотемпературное воздействие приведет к тому, что в металле трубы возникнут внутренние температурные напряжения, которые могли бы привести к развитию нежелательных деформаций в процессе обработки и осложнить технологию ее проведения. Определим возникающие в металле напряжения.

Постановка задачи. Расчет будет производиться для открытого очищенного от изоляции участка магистрального трубопровода длиной L , м; Внешним диаметром D , м, и внутренним диаметром d , м.

Труба нагревается до температуры T_n , К специальной манжетой, надетой на середину участка. За начало координат принято правое окончание манжеты, ось координат направлена вдоль оси трубы в сторону правого конца. Определим температуру в любой точке заданного участка, если температура окружающей среды равна T_o , К.

Принятые допущения. Теплообмен с окружающей средой в любой точке внешней поверхности трубы одинаков. Внутренняя поверхность трубы не совершает теплоотдачу. Время нагрева бесконечно большое, манжета всегда включена. Металл трубы однородный, сплошной и не имеет дефектов. Расчет производится для максимально возможных температур, вследствие поиска максимальных температурных напряжений.

Решение. Запишем уравнение теплопроводности для стенки трубопровода:

$$\rho c_v \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right),$$

где ρ – плотность металла трубы; c_v – теплоемкость при постоянном объеме; t – время; x – координата.

Считаем среду однородной. Как следствие $\lambda = const$.

Преобразуем выражение:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \chi \frac{\partial^2 T}{\partial x^2},$$

где $\chi = \frac{\lambda}{\rho c_v}$ – коэффициент теплопроводности среды. Учтем потери тепла в окружающую среду через внешнюю поверхность трубы

$$\rho c_v S \frac{\partial T}{\partial t} = S \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} - \alpha \rho (T - T_0),$$

где α – коэффициент внешней теплопроводности; S – площадь через которую проходит тепловой поток; T_0 – температура окружающей среды.

Так как для поиска максимальных температурных напряжений необходимо найти максимально возможные температуры, возможно не учитывать процесс остывания металла. И, как следствие, не важна зависимость температурного распределения от времени

Получаем:

$$S\lambda \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} - \alpha\rho(T - T_0) = 0.$$

Преобразуем уравнение:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} - \beta(T - T_0) = 0,$$

$$b = \sqrt{\frac{\alpha\pi D}{\rho^2 c \left(\frac{\pi D^2}{4} - \frac{\pi d^2}{4} \right)}}$$

$$\beta = \frac{b}{\sqrt{\chi}}.$$

Полученное уравнение есть дифференциальное уравнение второго порядка, общий вид решения которого выражается следующим образом:

$$T = Ae^{\beta x} + Be^{-\beta x} + T_0.$$

Определим коэффициенты A и B путём решения задачи Коши, подставив значения граничных условий. То есть при $x = 0$, $T = T_1$. При x , стремящемся к бесконечности, $T = T_0$. Исходя из граничных условий получаем $A = 0$, $B = T_1 - T_0$.

Итоговое преобразование:

$$T = (T_1 - T_0)e^{-\beta x}.$$

Данная формула является общим решением практической задачи поиска значений температур по длине открытого участка магистрального трубопровода, нагретого специальной манжетой.

Зная распределение температур по оси трубопровода, возможно рассчитать возникающие температурные напряжения. Находим линейные удлинения участков трубопровода вследствие температурного расширения:

$$\frac{\Delta L}{2} = \alpha_T T L_0,$$

где α_T – коэффициент линейного расширения металла, $\frac{\Delta L}{2}$ – удлинение участка трубы по одну сторону от манжеты.

Зная удлинение, можем определить максимальные сжимающие напряжения, возникающие в трубопроводе:

$$\Delta L = \frac{NL}{AE},$$

$$\frac{N}{A} = \frac{E\Delta L}{L},$$

где E – модуль Юнга.

Данное напряжение следует сравнить с максимально допустимым сжимающим напряжением в металле трубы. В случае если существующее напряжение меньше допустимого, дополнительных мер при проведении термической восстановительной обработки применять не нужно.

В заключение работы делаем вывод, что вышеописанная методика позволяет расчетным путем определить возможность использования термической восстановительной обработки без дополнительных мер по компенсации возникающих сжимающих напряжений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Методическое пособие для студентов специальностей 270205 «Автомобильные дороги и аэродромы», 270102 «Промышленное и гражданское строительство» и направления бакалавриата 270800 «Строительство» всех форм обучения / Сыктывкарск. лесной ин-т – филиал гос. образоват. учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургская государственная лесотехническая академия имени С.М. Кирова» кафедра дорожного, промышленного и гражданского строительства. – Сыктывкар, 2011. – С. 22–29.
2. Черепанов, Г.П. Механика хрупкого разрушения / Г.П. Черепанов. – М.: Наука, 1974. – С. 185–196.
3. Богословский, В.Н. Строительная теплофизика / В.Н. Богословский. – М.: Высш. школа, 1982. – С. 195–209.

УДК 502.51: 504.5: 665.6

МЕТОДИКА ВЫБОРА СТАЦИОНАРНЫХ РУБЕЖЕЙ

Е.Д. КУЗЬМИН

(Представлено: канд. техн. наук, доц. Л.М. СПИРИДЕНКО)

Стационарные рубежи локализации и сбора нефти рассматриваются как один из эффективных вариантов защиты реки в случае возникновения аварийной ситуации. Представлены подходы по выбору стационарных рубежей, разработанные на кафедре ТТВиГ УО «ПГУ».

Магистральный трубопроводный транспорт в Республике Беларусь выполняет важные функции по обеспечению национальной безопасности путем создания условий для полноценного функционирования энергетического комплекса, снабжения сырьем важнейших отраслей национальной экономики, обеспечения валютных поступлений от транзита, укрепления международного престижа страны и в целом является жизненно важным элементом её устойчивого развития.

Несмотря на то, что трубопроводный транспорт относится к наиболее экологобезопасным видам транспорта, он может оказывать серьёзное влияние на окружающую среду. Это влияние проявляется как на стадии сооружения объектов трубопроводного транспорта, так и на стадии эксплуатации.

На территории Беларуси расположена густая сеть нефтепроводов, аварии на которых сопровождаются разливами нефти, что несет серьезные последствия в экологической сфере. Это вызвано воздействием большого объема разлившейся нефти на компоненты геосферы (земля, водные объекты, атмосфера). Увеличение сроков нахождения в эксплуатации этой сети повышает вероятность возникновения аварийных ситуаций, при которых выход нефти в водные объекты одновременно может составить 1–2 и более тысяч тонн и создать режим залпового сброса (сброс, превышающий ПДК в 100 и более раз) [1].

Особенностью аварийных залповых сбросов нефти является масштабность негативного воздействия на природную среду. Кроме этого в настоящее время отсутствуют научно обоснованные организационно-технические системы защиты водных объектов и болот (ВОБ) от аварийных залповых сбросов нефти, нормативные положения по обеспечению их профилактики и защиты и развитая сеть специализированных служб, что делает проблему защиты ВОБ от аварийных сбросов актуальной.

Из всех возможных промышленных аварий на нефтепроводах наиболее «тяжелыми» являются аварии, которые происходят на территории водосборных бассейнов больших рек. Это связано с тем, что нефть является одним из наиболее опасных загрязнителей компонентов природной сферы, особенно гидросферы. Опасность разлива нефти многократно возрастает в результате того, что она может по притокам переноситься в русла больших рек и по ним распространяться на значительные расстояния, оказывая негативное экологическое воздействие на обширных территориях. Загрязнение больших рек нефтью при крупных авариях на нефтепроводах может принять характер экологической катастрофы, а в случае трансграничного переноса разлившейся нефти – создать неблагоприятный для престижа страны международный инцидент.

Наиболее опасными объектами магистральных нефтепроводов с точки зрения воздействия на окружающую среду являются подводные переходы магистральных нефтепроводов через водные преграды.

Стационарные рубежи локализации и сбора нефти – один из эффективных вариантов защиты реки в случае возникновения аварийной ситуации. Они ограничивают перемещение нефти по поверхности реки, направляют нефтяное пятно к берегу, снижая скорость его распространения [2].