

**Уточнение математической модели
напряженного состояния полиэтиленовых труб
для расчета при различных температурах**

Лавров И.Г.

*Тюменский государственный нефтегазовый
университет,
Тюмень, Россия*

В настоящее время все большее распространение получают бестраншейные способы прокладки трубопроводов. Положительными особенностями их использования является сокращение объема земляных работ, увеличение скорости укладки трубопроводов и т.д. В частности, повышенный интерес вызывает плужный метод бестраншейной прокладки полиэтиленовых трубопроводов. В случае использования этого метода при движении трубоукладчика грунт разрыхляется рыхлителем, который находится сзади него, и труба, сматываясь с бухты, укладывается на заданную рыхлителем глубину, проходя и изгибаясь по направляющему устройству.

Если следовать существующему своду строительных норм и правил [1], то работа такой машины возможна при температуре окружающего воздуха не ниже +5°C, т.к. при меньших значениях разматывание труб с бухт запрещено с позиции нарушения прочностных свойств. Указанное регламентирование температурной области использования подобных трубоукладчиков существенно ограничивает их применение в условиях Российской Федерации, т.к. на большей ее части значительный промежуток времени в году температура окружающего воздуха отрицательна. В то же время с позиций грунтовых условий прокладка трубопроводов на слабонесущих и болотистых грунтах при их промерзании в зимний период технологически более эффективна.

Существующие в нормативных документах ограничения на изгиб трубы при различных температурах относятся к полиэтилену ПЭ63, т.к. они перенесены из ранее действовавших документов, в которых использование этой марки для газопроводов было возможно. В данный момент использование для газопроводов труб из полиэтилена ПЭ63 запрещено, т.е. возможно использовать только марки полиэтилена, начиная с ПЭ80. Таким образом, ограничения, введенные ранее, требуют проверки с точки зрения их правомерности для новых марок полиэтилена.

Целью проводимых исследований было определение допустимых радиусов изгиба направляющего устройства при отрицательных температурах, при прохождении по которому труба из полиэтилена ПЭ80 сохраняла бы свои прочностные характеристики.

Анализ методов расчета на прочность гибких длинномерных труб с позиции теории прочности криволинейных стержней и с учетом особенности конструкции для плужного способа бестраншейной прокладки трубопровода показал, что описание напряженно-деформированного состояния гибкой трубы требует учета нелинейных характеристик материала.

Для расчета допустимых диаметров изгиба в известной математической модели [3], удовлетворяющей этому требованию, необходимо знать прочностные характеристики материала трубы, т.е. модуль упругости и предел текучести.

С целью учета нелинейных свойств материала трубы используется понятие переменного (сечущего) модуля (E_c), который определяется по следующему соотношению:

$$E_c = \frac{E_0}{1 + b \sigma_{in}^2}, \quad (1)$$

где E_0 - модуль упругости материала (МПа); b - коэффициент, определяющий изменение жесткости материала от величины деформации (МПа⁻²); σ_{in} - интенсивность напряжений (МПа).

В институте неметаллических материалов Сибирского отделения Российской академии наук

проводились испытания на растяжение труб из полиэтилена ПЭ80 при температурах +20, 0, -20, -40, -60°С [2]. Анализируя полученные диаграммы, были получены прочностные характеристики полиэтиленовых труб, которые представлены в таблице 1

Таблица 1 Прочностные характеристики трубы ПЭ80

Температура, °С	Модуль упругости, МПа	Предел текучести, МПа
20	770	19,5
0	1240	27
-20	1770	32,5
-40	2220	36,9
-60	2790	44,5

В результате аппроксимации данных, приведенных в таблице, получено, что модуль упругости зависит от температуры следующим образом (достоверность аппроксимации R^2 составляет 0,99):

$$E_0 = -25T + 1260, \quad (2)$$

где T – температура окружающего воздуха, °С;

E_0 – модуль упругости материала трубы при заданной температуре, МПа.

Зависимость предела текучести от температуры выглядит следующим образом ($R^2 = 0,97$):

$$\sigma_T = -0,325T + 26,3, \quad (3)$$

где σ_T – предел текучести материала трубы при заданной температуре, МПа.

Используя полученные зависимости, математическая модель расчета на прочность трубы была преобразована с целью определения допустимых радиусов изгиба трубы при отрицательных температурах.

Расчет по полученной модели позволяет определить минимально-допустимые радиусы изгиба полиэтиленовой трубы в условиях различных температур, при которых она сохранит свои прочностные характеристики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. СП 42-103-2003 Проектирование и строительство газопроводов из полиэтиленовых труб и реконструкция изношенных газопроводов.
2. Стручков А.С. Хладостойкость и особенности сопротивления разрушению нефтегазовых пластмассовых труб. Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – Якутск, 2005. – 34 с.
3. Якубовская С.В. Теоретические основы повышения надежности полимерных газораспределительных и сборных сетей. Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – Тюмень, 2005. – 36 с.

Прогнозирование разброса химического состава специальных латуней

Муратов В.С., Святкин А.В.

*Самарский государственный технический университет,
Самара, Россия*

Для прогнозирования разброса химического состава легированных латуней при серийной выплавке в производственных условиях использовали известный метод Монте-Карло. Требования стан-

$$\text{содержания примесей } \Sigma J = \min \left\{ \begin{array}{l} \max \left\{ \mu_{\Sigma J} + z_{\Sigma J} \cdot \sigma_{\Sigma J} \right. \\ \left. \Sigma (\mu_I + z_I \cdot \sigma_I) \right\} \\ \text{примесей всего} \end{array} \right. ; \text{ для цинка } Zn = 100 - \Sigma I - \Sigma J, \text{ где } z$$

– нормированная случайная величина.

Вид записанных выше соотношений соответствует принципам нормирования химического состава легированных латуней в отечественных, а так же в большинстве зарубежных стандартов. А именно: оговаривается процентное содержание меди и других основных (легирующих) элементов, содержание примесей – каждой контролируемой приме-

сартов к химическому составу в общем случае оговаривают: двухсторонние допустимые интервалы содержания основных элементов, например, для i -го элемента $I_{\min} \leq I \leq I_{\max}$ и односторонние допустимые интервалы содержания примесей, например, для j -й примеси $J < J_{\max}$.

Процентное содержание в латуни элемента I или J является случайной величиной и подчиняется нормальному закону распределения. Если не действует никаких внутриваровских ограничений либо дополнительных регламентирующих соображений по химическому составу, то математическое ожидание этой величины совпадает с серединой допустимого интервала. Среднеквадратичное отклонение подчиняется «правилу трех сигм»: максимально и минимально допустимые содержания равны среднему значению плюс-минус три среднеквадратичных отклонения. Таким образом, параметры распределения составляют: для основных компонентов

$$\mu_I = \frac{I_{\min} + I_{\max}}{2}; \quad \sigma_I = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{6},$$

$$\text{а для примесей } \mu_J = \frac{J_{\max}}{2}; \quad \sigma_J = \frac{I_{\max}}{6}.$$

Имея таблицу нормально распределенных случайных чисел, несложно назначить случайную реализацию химического состава (масс. %), которая соответствует требованиям стандарта (ГОСТ, ТУ и т.п.): для основных элементов (кроме цинка) $I = \mu_I + z_I \cdot \sigma_I$; для каждой из примесей $J = \mu_J + z_J \cdot \sigma_J$; для общего

си и примесей всего; цинк определяется как оставшее.

Для каждой полученной таким образом случайной реализации химсостава рассчитывается цинковый эквивалент, который в свою очередь является случайной величиной, подчиняющейся нормальному закону распределения со следующими параметрами: