

Учет случайной природы предела текучести материала труб при оценке прочности пригруженных сплошным покрытием криволинейных участков трубопроводов

DOI: 10.24411/2076-6785-2019-10049

С.А. Шоцкий

Sshotssky@mail.ru

ПАО «ГЕОТЭК Сейсморазведка»,
Москва, Россия

В работе представлены результаты расчета напряжений в стенке подземного трубопровода, пригруженного сплошным утяжеляющим покрытием в углах поворота на выпуклых участках трассы. С учетом случайной природы предела текучести трубных сталей σ_T , выборки фактических значений которого получены для материала труб разных производителей, выполнена оценка прочности криволинейных участков магистрального трубопровода. Обоснована необходимость индивидуального подбора параметров сплошного утяжеляющего покрытия для каждого участка трубопровода с учетом специфики закона распределения и пределов рассеивания предела текучести материала труб, применявшихся на этапе строительства участка.

Материалы и методы

Расчет напряжений в трубопроводе и проверка выполнения условия прочности пригруженного криволинейного участка МТ выполнена на основе строительных норм и правил (СНиП 2.05.06-85* Магистральные трубопроводы).

Результаты механических испытаний образцов из материала труб обработаны методами непараметрической статистики.

Ключевые слова

магистральный трубопровод, криволинейный участок, сплошное утяжеляющее покрытие, прочностной расчет, критерии прочности, случайная величина, предел текучести трубной стали

Теоретическая часть

На криволинейных участках магистральных трубопроводов (МТ), построенных способом подземной прокладки, вследствие воздействия избыточного внутреннего давления и температурного перепада возникают напряжения и перемещения, для снижения которых выполняют пригрузку трубопровода одиночными грузами или сплошным утяжеляющим покрытием.

Для расчета возникающих в трубопроводе от избыточного внутреннего давления и положительного температурного перепада максимальных суммарных продольных напряжений σ_{np}^H , в работах [1, 2] с учетом требований нормативного документа [3] получена зависимость:

$$\sigma_{np}^H = \mu \frac{p(D_n - 2\delta)}{2\delta} - \frac{N}{F} \pm \frac{M}{W}, \quad (1)$$

где μ — коэффициент Пуассона; p — избыточное внутреннее давление; D_n — наружный диаметр трубы; δ — толщина стенки трубы; M — продольное усилие на изогнутом участке трубопровода; N — максимальный изгибающий момент, F — площадь поперечного сечения трубы, W — момент сопротивления сечения трубопровода.

Расчет параметров N и M , входящих в зависимость (1), производится для каждого криволинейного участка МТ исходя из его конструктивных особенностей и схемы пригрузки [1, 2, 4].

Отсутствие на исследуемом участке недопустимых пластических деформаций и его прочность считаются обеспеченными, если выполнено условие [3]:

$$|\sigma_{np}^H| \leq \psi_3 \frac{m}{0,9k_n} R_2^H, \quad (2)$$

где σ_{np}^H — максимальные суммарные

продольные напряжения в МТ; ψ_3 — коэффициент, учитывающий двухосное напряженное состояние металла труб, ($\psi_3 = \psi_3(\sigma_{ки}, R_2^H, k_n, m)$); $\sigma_{ки}$ — кольцевые напряжения от нормативного (рабочего) давления, m — коэффициент условий работы трубопровода; k_n — коэффициент надежности по назначению трубопровода, R_2^H — минимальное значение предела текучести материала трубы.

При расчете прочности участков трубопровода исходные данные, входящие в зависимости (1) и (2), принимаются величинами постоянными. Однако исследования, результаты которых представлены в работах [5, 6, 7, 8], свидетельствуют, что такие исходные величины, как избыточное внутреннее давление p и температура T° , имеют случайную природу и различные, специфические закономерности изменения для каждого линейного участка магистрального трубопровода. Данный факт оказывает значимое влияние на результаты оценки прочности криволинейных участков подземного МТ и требует индивидуального подхода к выбору параметров сплошного утяжеляющего покрытия для каждого криволинейного участка.

Прочностные характеристики материала труб, которые применялись на этапе строительства участков МТ, тоже имеют случайную природу. Вследствие этого по результатам механических испытаний материала труб фиксируются различные закономерности и границы рассеивания предела текучести в зависимости от даты выпуска трубной продукции, ее изготовителя, действовавших на момент производства технических требований на трубную продукцию и ряда других факторов [9, 10, 11]. Результаты оценки влияния продолжительности эксплуатации нефтепроводов на изменение статистических характеристик законов распределения механических характеристик различных трубных сталей представлены в работе [12].

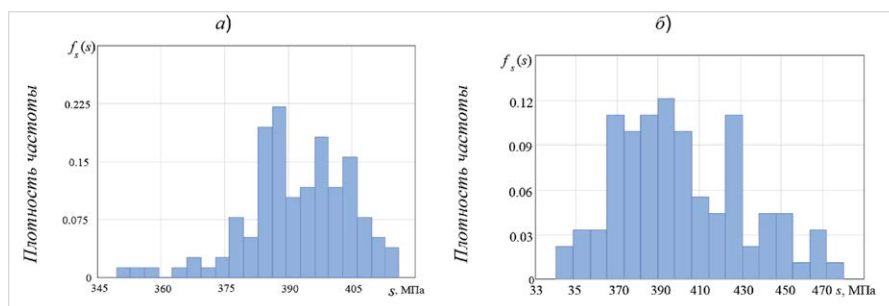


Рис. 1 — Частота распределения предела текучести для материала труб производства Харцызского ТЗ

а) — для труб, произведенных до 1975 г.

б) — для труб, произведенных после 1975 г.

Fig. 1 — Distribution frequency of yield strength for pipe material manufactured at Khartsizsk Tube Plant

а) yield strength for pipe material produced before 1975

б) yield strength for pipe material produced after 1975

В качестве примера на рисунках 1 и 2 представлены гистограммы для предела текучести σ_T , полученные в результате механических испытаний образцов, вырезанных из находившихся в эксплуатации труб, изготовленных на Харцызском трубном и Челябинском трубопрокатном заводах из стали 17Г1С в различные периоды времени, но согласно одинаковых технических условий ТУ 14-3-109-73 [10].

Однако данные факты не учитываются в существующих нормативных документах, регламентирующих расчет прочности линейных участков на основании зависимостей (1) и (2), а значения предела текучести материала трубы при выполнении расчетов принимаются из нормативно-справочной литературы как постоянные величины.

Анализ представленных на рисунках 1 и 2 данных позволяет сделать вывод, что отнесение при статистической обработке выборки значений предела текучести материала труб с целью определения характеристик распределения к нормальному закону некорректно. Одним из путей решения данной проблемы является применение для обработки результатов экспериментальных исследований образцов из материала труб математического аппарата непараметрической статистики, в рамках которого изначально предполагается, что вид распределения случайной величины или неизвестен, или может быть определен лишь приблизительно [6].

Основной метод непараметрической статистики при адаптивной оценке неизвестной функции плотности распределения (в рассматриваемом примере предела текучести $f_{\sigma_T}(\sigma_T)$) на основе полученной в результате экспериментов выборки значений σ_{Ti} , $i = \overline{1, m}$, является представление искомой функции в виде разложения:

$$f_{\sigma_T}(\sigma_T) = \frac{1}{m \cdot h_{\sigma_T} \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \times \sum_{i=1}^m \exp \left[-0,5 \left(\frac{\sigma_T - \sigma_{Ti}}{h_{\sigma_T}} \right)^2 \right] \cdot \frac{1}{c_{\sigma_T}}, \quad (3)$$

где

$$c_{\sigma_T} = \frac{1}{m \cdot h_{\sigma_T} \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \int_{\sigma_{T_{\min}}}^{\sigma_{T_{\max}}} \sum_{i=1}^m \exp \left[-0,5 \left(\frac{\sigma_T - \sigma_{Ti}}{h_{\sigma_T}} \right)^2 \right] d\sigma_T,$$

а h_{σ_T} — параметр сглаживания (размытости), определяющий «гладкость» получаемой оценки. Оптимальное значение параметра h_{σ_T} находится из условия достижения максимума информационного функционала:

$$\max_{h_{\sigma_T}} J = \max_{h_{\sigma_T}} \left\{ \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \ln \left[\frac{1}{(m-1)h_{\sigma_T}} \times \sum_{j \neq i}^{m-1} \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi}} \exp \left(-0,5 \left(\frac{\sigma_{Ti} - \sigma_{Tj}}{h_{\sigma_T}} \right)^2 \right) \right] \right\}. \quad (4)$$

Решение данной задачи позволяет определить все параметры, входящие в выражение (3), и восстановить искомую функцию $f_{\sigma_T}(\sigma_T)$.

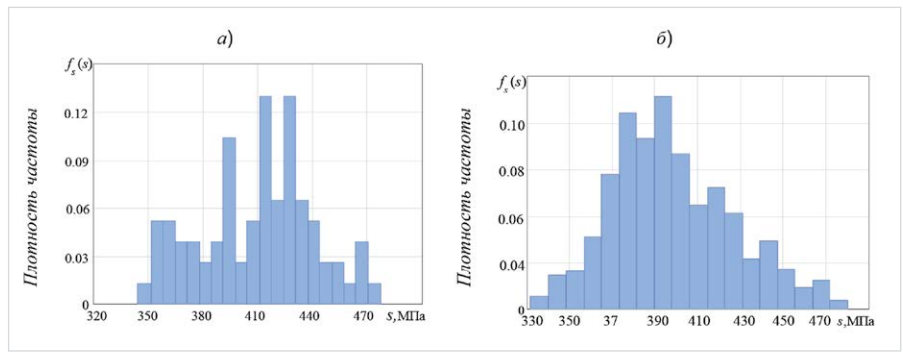


Рис. 2 — Частота распределения предела текучести для материала труб производства Челябинского ТПЗ. а) — предел текучести σ_T для материала труб, произведенных до 1975 г. б) — предел текучести σ_T для материала труб, произведенных после 1975 г.
Fig. 2 — Distribution frequency of yield strength for pipe material manufactured at Chelyabinsk Pipe Rolling Plant. a) yield strength for pipe material produced before 1975. b) yield strength for pipe material produced after 1975

Знание функции плотности вероятности $f_{\sigma_T}(\sigma_T)$ позволяет рассчитать любые значения квантилей предела текучести σ_T^α материала труб при требуемом уровне значимости α (например, $\alpha = 0,01$, $\alpha = 0,05$ или $\alpha = 0,1$) в результате решения уравнения [10, 13]:

$$\int_0^{\sigma_T^\alpha} f_{\sigma_T}(\sigma_T) d\sigma_T = \alpha \quad (5)$$

Применение полученных значений квантилей σ_T^α в качестве исходных данных для зависимостей (1) и (2) позволяют учесть при выполнении прочностного расчета МТ на основе детерминированных моделей случайную природу предела текучести стали 17Г1С и, как следствие, повысить достоверность получаемых результатов.

Пример расчета

В качестве примера реализации изложенного подхода выполним прочностной расчет криволинейного участка для трубопровода, построенного способом подземной прокладки. Для расчета примем следующие исходные данные:

- наружный диаметр трубопровода $D_n = 720$ мм;
- толщина стенки трубы $\delta = 10$ мм;
- материал трубы Сталь 17Г1С;
- избыточное внутреннее давление в трубопроводе $p = 5,19$ МПа [11];
- угол поворота φ в вертикальной плоскости на выпуклом рельефе местности ($2\varphi = 12^\circ$).

Угол поворота конструктивно выполнен крутоизогнутым отводом. Трубопровод проложен в песчаном грунте на глубине 80 см от верхней образующей трубы и пригружен сплошным утяжеляющим покрытием. Интенсивность сплошного утяжеляющего покрытия в рассматриваемом примере составляет

$q_{np} = 7,5$ кгс/см, $q_{np} = 15$ кгс/см и $q_{np} = 22,5$ кгс/см. Отметим, что исходные данные в настоящем примере аналогичны тем, что были приняты в примере расчета, рассмотренном в работе [4], кроме предела текучести материала трубы σ_T . Существенным отличием примеров является то, что в расчетах, результаты которых приведены в работе [4], предел текучести материала трубы был принят в соответствии с нормативной документацией величиной постоянной, значение которой составляет $\sigma_T = 400,0$ МПа. В настоящей работе при оценке прочности аналогичного по параметрам и конструктивному исполнению криволинейного участка МТ предел прочности σ_T рассматривается как случайная величина, законы распределения которой отличаются в зависимости от производителя трубной продукции (рисунки 1 и 2). В итоге возникает возможность сравнить результаты расчета, полученные на основе одинаковых детерминированных моделей, но при использовании различных по природе исходных данных.

На первом этапе оценки прочности рассматриваемого в примере криволинейного участка МТ выполним расчет квантильных значений предела текучести σ_T^α для материала труб разных производителей [10, 13]. Для этого на основе методов непараметрической статистики необходимо выполнить статистическую обработку выборок (рисунки 1а и 2а) экспериментальных значений σ_{Ti} , $i = \overline{1, 116}$ для труб производства Харцызского ТЗ и σ_{Ti} , $i = \overline{1, 77}$ для труб, выпущенных на Челябинском ТПЗ [10]. В результате решения задачи (4) определяются параметры зависимости (3) и восстанавливаются искомые функции плотности распределения вероятности $f_{\sigma_T}(\sigma_T)$ предела текучести материала труб разных производителей [11], которые представлены на рисунках 3 и 4 соответственно.

Уровень значимости α	Значение предела текучести σ_T^α , МПа	
	Харцызский ТЗ	Челябинский ТПЗ
$\alpha = 0,01$	418,4	479,6
$\alpha = 0,05$	413,8	467,3
$\alpha = 0,1$	410,5	456,3

Tab. 1 — Значения квантилей предела текучести σ_T^α стали 17Г1С для трубной продукции разных производителей [11]

Tab. 1 — Values of yield strength quantiles σ_T^α of steel pipes 17Г1С (analog of steel St52-3G) of different manufactures

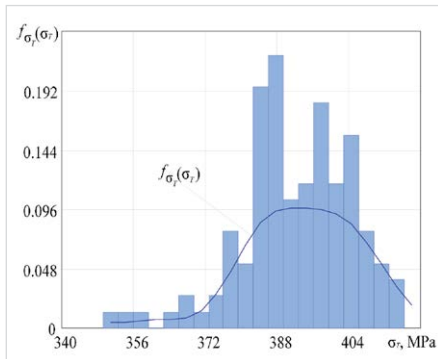


Рис. 3 — Функция плотности вероятности $f_{\sigma_T}(\sigma_T)$ предела текучести σ_T материала трубы, изготовленной на Харцызском ТЗ
Fig. 3 — Limit Stress Density Function $f_{\sigma_T}(\sigma_T)$ of yield strength for pipe material manufactured at Khartsizsk Tube Plant

Результаты расчета для известных функций $f_{\sigma_T}(\sigma_T)$ на основании уравнения (5) квантильных значений предела текучести σ_T^α при разном уровне значимости α представлены в таб. 1.

С целью возможности анализа выполнения условия прочности (2) температурно-деформируемого криволинейного участка МТ, построенного из труб, изготовленных различными производителями, но из одинакового материала, примем следующие значения предела текучести:

- $\sigma_T = 400,0$ МПа для материала трубы на основе данных, приведенных в нормативно-справочной литературе;
- $\sigma_T^{0,05} = 413,8$ МПа для материала трубы производства Харцызского ТЗ;
- $\sigma_T^{0,05} = 467,3$ МПа для материала трубы производства Челябинского ТПЗ.

Тогда в соответствии с требованиями СНиП [3] для выполнения условия (2) при значении квантиля предела текучести $\sigma_T^{0,05} = 413,8$ МПа величина максимальных суммарных продольных напряжений в стенке трубопровода должна быть не более 311,1 МПа, т.е. выполняться условие $|\sigma_{np}^n| \leq 311,1$ МПа, а при значении квантиля $\sigma_T^{0,05} = 467,3$ МПа не более 348,5 МПа, т.е. $|\sigma_{np}^n| \leq 348,5$ МПа. Для значения предела текучести $\sigma_T = 400,0$ МПа, принятого на основании нормативно-справочной литературы, значения суммарных продольных напряжений не должны превышать величину 301,7 МПа, т.е. $|\sigma_{np}^n| \leq 301,75$ МПа.

Графические иллюстрации к результатам расчета на основе зависимостей (1) и (2) максимальных суммарных продольных напряжений, возникающих в стенке подземного трубопровода при значении избыточного внутреннего давления $p = 7,41$ МПа, температурного перепада $\Delta t = 35$ С° и различной интенсивности q и относительной протяженности $\frac{\ell_{np}}{\ell}$ сплошного утяжеляющего покрытия, представлены на рис. 5. Предельные проектные напряжения, приведенные на рис. 5а, определены на основании справочного значения предела текучести для стали 17Г1С, а на рисунках 5б и 5в — на основании экспериментальных данных предела текучести σ_T для материала труб, изготовленных на Харцызском ТЗ и Челябинском ТПЗ соответственно.

На втором этапе оценки прочности криволинейного участка магистрального

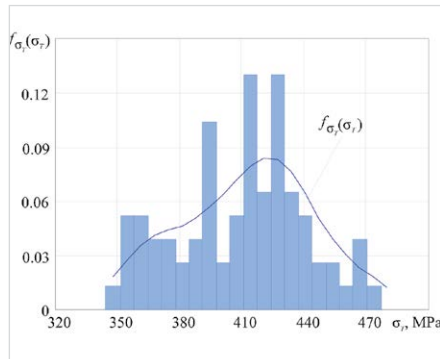


Рис. 4 — Функция плотности вероятности $f_{\sigma_T}(\sigma_T)$ предела текучести σ_T материала трубы, изготовленной на Челябинском ТПЗ
Fig. 4 — Limit Stress Density Function $f_{\sigma_T}(\sigma_T)$ of yield strength for pipe material manufactured at Chelyabinsk Pipe Rolling Plant

трубопровода, подверженного температурным деформациям, выполним анализ полученных результатов.

Данные, представленные на рис. 5 свидетельствуют, что применение сплошного утяжеляющего покрытия и подбор его соответствующих параметров позволяют выполнить условие прочности (2) для криволинейного температурно-деформируемого участка трубопровода с учетом случайной природы прочностных свойств материала труб, произведенных на различных предприятиях.

Так, в соответствии с требованиями СНиП [3], при значении предела текучести материала трубы $\sigma_T = 400,0$ МПа, принятом на основании нормативно-справочной литературы, величина максимальных суммарных продольных напряжений в стенке трубопровода должна быть менее 301,7 МПа, т.е. должно выполняться условие $|\sigma_{np}^n| \leq 301,7$ МПа. Для рассматриваемого в примере трубопровода применение сплошного утяжеляющего покрытия интенсивностью $q_{np} = 7,5$ кгс/см при температурном перепаде $\Delta t = 30$ С° не обеспечивает снижение фактических напряжений до величины предельных при любой относительной протяженности покрытия $\frac{\ell_{np}}{\ell}$ (рис. 5а). Применение утяжеляющего покрытия интенсивностью $q_{np} = 15$ кгс/см при величине его относительной протяженности не менее $\frac{\ell_{np}}{\ell} \approx 0,22$ позволяет снизить напряжения до нормативного уровня $\sigma_{np}^{fl} = 301,7$ МПа и обеспечить выполнение условия прочности (2). При этом дальнейшее увеличение относительной протяженности утяжеляющего покрытия является нецелесообразным.

Утяжеляющее покрытие интенсивностью $q_{np} = 22,5$ кгс/см обеспечивает снижение фактических напряжений до величины ниже предельных проектных при относительной протяженности не менее $\frac{\ell_{np}}{\ell} \approx 0,1$ (рис. 5а). Применение покрытия большей протяженности также является нецелесообразным как с технической, так и с экономической стороны.

Для варианта расчета, когда в качестве предельных приняты напряжения, соответствующие пределу текучести материала труб производства Харцызского ТЗ, применение сплошного утяжеляющего покрытия интенсивностью $q_{np} = 22,5$ кгс/см обеспечивает выполнение условия прочности при условии, что его минимальная относительная

протяженность должна составлять $\frac{\ell_{np}}{\ell} \approx 0,07$. При применении сплошного утяжеляющего покрытия интенсивностью $q_{np} = 15$ кгс/см его относительная протяженность должна быть не менее $\frac{\ell_{np}}{\ell} \approx 0,11$. Применение утяжеляющего покрытия интенсивностью $q_{np} = 7,5$ кгс/см не обеспечивает, как и в рассмотренном выше варианте, снижение фактических напряжений до проектного уровня при любой протяженности покрытия (Рис. 5б).

При варианте, когда в качестве предельных приняты напряжения, соответствующие пределу текучести материала труб производства Челябинского ТПЗ, применение утяжеляющего покрытия интенсивностью $q_{np} = 7,5$ кгс/см в отличие от первых двух вариантов уже позволяет обеспечить выполнение условия прочности (2) при минимальной протяженности покрытия $\frac{\ell_{np}}{\ell} \approx 0,08$. Очевидно, что в данном варианте применения утяжеляющих покрытий интенсивностью $q_{np} = 15$ кгс/см и $q_{np} = 22,5$ кгс/см также обеспечивает выполнение условия предотвращения недопустимых пластических деформаций при относительной протяженности покрытий $\frac{\ell_{np}}{\ell} \approx 0,01$ и $\frac{\ell_{np}}{\ell} \approx 0,02$ соответственно (рис. 5в).

Итоги

Представленные результаты свидетельствуют, что индивидуальные закономерности и границы распределения предела текучести материала труб даже одного сортамента, но выпущенных различными производителями, приводят к существенным отличиям в результатах оценки прочности температурно-деформируемых криволинейных участков МТ. Вследствие этого возникает объективная необходимость совершенствования методов оценки прочности МТ, которые должны учитывать случайную природу механических характеристик материала труб, применяемых в качестве исходных данных в зависимости от принятых в компании-операторе норм расчета.

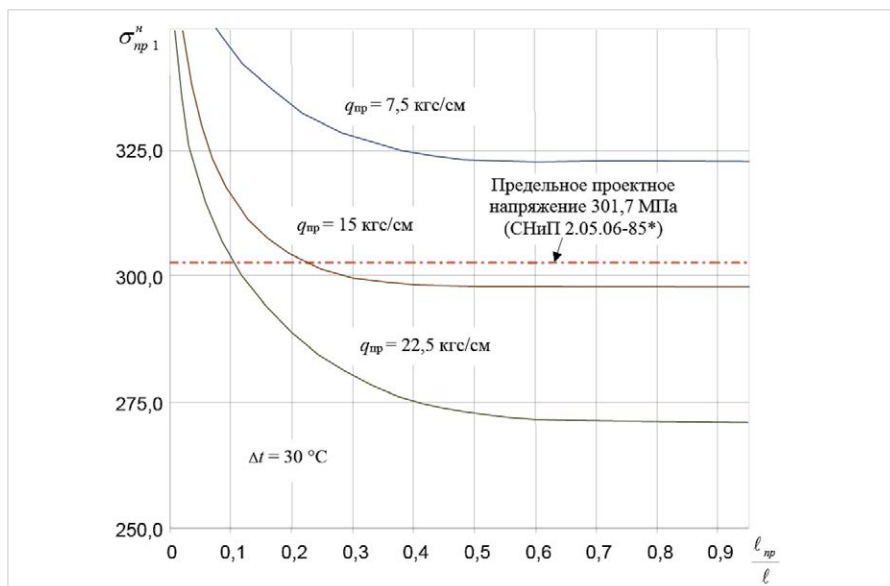
Выводы

1. Изложенный подход позволяет оценить прочность криволинейного пригруженного участка подземного трубопровода и обосновать выбор параметров сплошного утяжеляющего покрытия с учетом случайной природы предела текучести от материала труб, применявшихся на этапе строительства криволинейного участка, и его конструктивных особенностей.
2. Случайные закономерности и границы рассеивания предела текучести от материала труб вызывают необходимость индивидуального обоснования параметров сплошного утяжеляющего покрытия для каждого участка МТ.
3. Повышение достоверности результатов оценки прочности криволинейных участков, спроектированных и конструктивно выполняемых на этапе строительства с углом поворота, требует формирования базы данных о фактических закономерностях и пределах рассеивания механических характеристик материала труб, изготовленных различными производителями, а также труб, имеющих различный срок эксплуатации.
4. Результаты оценки прочности криволинейных участков МТ на основе фактических значений механических характеристик металла труб позволяют уточнить параметры

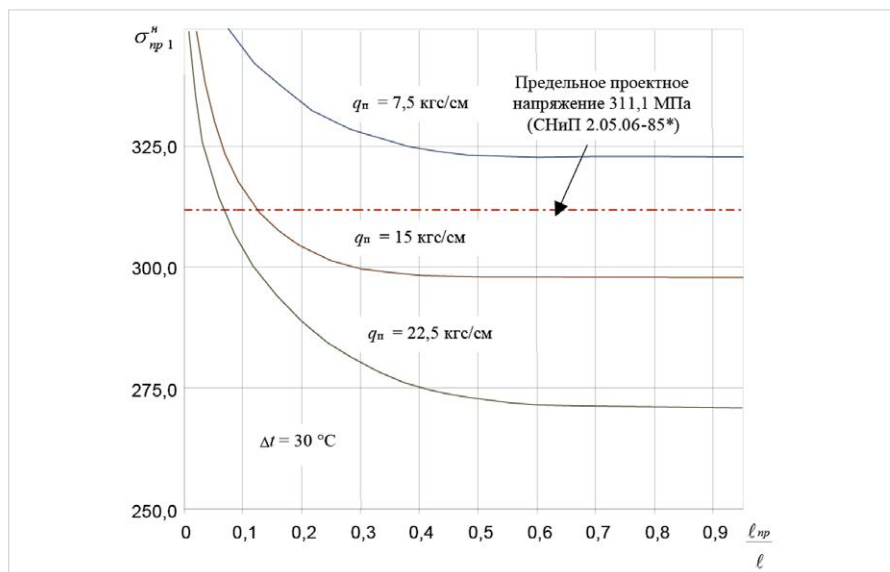
утяжеляющего покрытия, а также внести при необходимости изменения в конструктивную схему криволинейного участка на этапе реконструкции или ремонта линейной части.

Литература

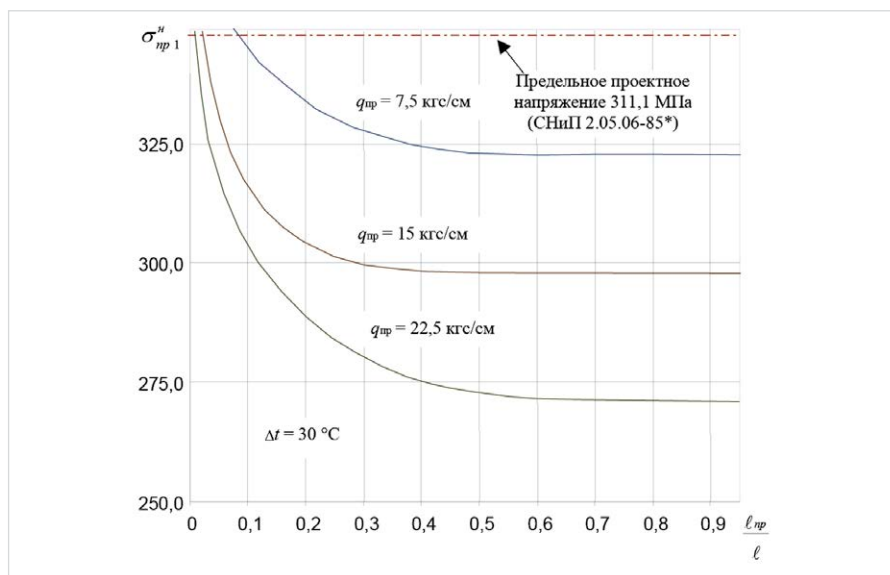
1. Шоцкий С.А., Малюшин Н.А. Напряжения и перемещения пригруженного подземного трубопровода на углах поворота в вертикальной плоскости // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. 2009. №2. С. 83–85.
2. Шоцкий С.А. Анализ напряженно-деформированного состояния подземных трубопроводов. Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. 2009. №3. С. 65–68.
3. СНиП 2.05.06-85* Магистральные трубопроводы. М.: ФГУП ЦПП, 2005. 60 с.
4. Шоцкий С.А., Голофаст С.Л. Оценка прочности пригруженных сплошным покрытием криволинейных участков подземных трубопроводов // Безопасность труда в промышленности. 2018. №10. С. 22–29.
5. Филатов А.А., Голофаст С.Л. Проблемы оценки прочностной надежности газопроводов // Газовая промышленность. 2015. №7. С. 45–48.
6. Сызранцев В.Н., Голофаст С.Л. Вероятностная оценка коэффициента запаса прочности трубопровода // Трубопроводный транспорт (теория и практика). 2012. №2. С. 27–29.
7. Филатов А.А., Георге М.С. Влияние условий эксплуатации газопровода на показатели его прочностной надежности // Наука и техника в газовой промышленности. 2013. №2. С. 75–82.
8. Голофаст С.Л. Проблемы оценки надежности линейной части магистральных трубопроводов // Безопасность труда в промышленности. 2018. №4. С. 36–40.
9. Филатов А.А., Новоселов В.В. Влияние прочностных свойств материала трубы на вероятностные характеристики коэффициента запаса прочности в условиях эксплуатации газопровода // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. 2014. №4. С. 80–85.
10. Голофаст С.Л. Влияние фактических закономерностей распределения механических характеристик трубной стали 17Г1С на коэффициент запаса прочности магистральных газопроводов // Экспозиция Нефть Газ. 2019. №3. С. 58–64.
11. Шоцкий С.А. Оценка прочности температурно-деформируемых участков трубопроводов с учетом случайной природы предела текучести материала труб // Экспозиция Нефть Газ. 2019. №2. С. 75–79.
12. Сызранцев В.Н., Голофаст С.Л., Лысяный К.К., Невелев Я.П. Исследование механических характеристик трубных сталей 17ГС, 17Г1С, 14ХГС после длительной эксплуатации нефтепроводов // Нефтепроводное хозяйство. 2008. №3. С. 98–100.
13. Голофаст С.Л. Оценка прочностной надежности магистральных трубопроводов на основе квантильных значений коэффициента запаса прочности // Безопасность труда в промышленности. 2018. №7. С. 22–28.



а)



б)



в)

Рис. 5 — Зависимости максимальных продольных напряжений σ_{np}^H от относительной протяженности $\frac{l_{np}}{l}$ и различной интенсивности сплошного утяжеляющего покрытия

Fig. 5 — Dependence of the maximum stress σ_{np}^H on the relative length $\frac{l_{np}}{l}$ and different intensity of the pipeline solid weight

Tracking random nature of creep strength on pipeline materials, while assessing resistance power of pipelines' curved sections weighted by uniform coating

Author

Sergey Shockiy; Sshotssky@mail.ru

PJSC "Geotech Seismic Services", Moscow, Russia

Abstract

The paper presents the results of calculating the stresses in the wall of an underground pipeline loaded with pipeline solid weight in the angles of rotation on convex sections of the pipeline. Taking into account the random nature of the yield strength of tube steels, samples of actual values obtained for the material of pipes from different manufacturers, the strength of curvilinear sections of the main pipeline was evaluated. The necessity of individual selection of the weight of a pipeline solid weight for each section of the pipeline is justified taking into account the specific law and the dispersion limits of the yield strength of the pipe material used during the construction phase of the section.

Materials and methods

Calculation of stresses in the pipeline and verification of the fulfillment of the strength condition of the loaded curvilinear section of main pipeline was carried out on the basis of construction norms and rules (SNiP 2.05.06-85 * Trunk pipelines).

The results of fracture tests of samples from the pipe material were processed nonparametric statistics.

Keywords

main pipeline, curved section, pipeline solid weight, strength calculation, the strength criteria, random variable, probability density, yield limit of pipe steel

Results

The results obtained show that the individual patterns and the pipe material's distribution limit of yield strength, even among the same range of products, but produced by different manufacturers, lead to substantial dissimilarities in the results of strength assessment of temperature-deformable curved sections of trunk pipelines. As a consequence, an objective necessity to improve methods of strength evaluation of trunk pipelines' endurance arises. Such methods should adjust for the random nature of mechanical data of pipe material used as design premise depending from standard norms of the operator company.

Conclusions

1. The proposed method allows evaluating the strength of curved section at the loaded underground pipeline section. The research also enables to justify the choice of pipeline solid weight parameters taking

into account the random nature of the yield limit σ_T of the pipe material used during the construction phase of the curved section, and considering its structural features.

2. The random patterns and the dispersion limits of the yield σ_T of the pipe material make it necessary to justify the pipeline solid weight parameters for each section at the trunk pipelines.

3. In order to improve the reliability of the results dealing with the strength assessment of curved sections designed and maintained during the construction phase with angle, it is essential to form a database with factual patterns and the dispersion limits of the yield with mechanical data of pipe material produced by different manufacturers, it also requires pipes with various operational lifetime.

4. The results of the strength assessment of curved sections at the trunk pipelines based on factual value of mechanical data with pipe metal allow indicating parameters of pipeline weight and modifying, if necessary, the constructive scheme of the curved section during the reconstruction phase or repairing of a linear part.

References

- Shotskiy S.A., Malyushin N.A. *Napryazheniya i peremeshcheniya prigruzhennogo podzemnogo truboprovoda na uglakh povorota v vertikal'noy ploskosti* [Stresses and movements of the weighted-down underground pipeline at the line bend angles in the vertical plane]. Higher Educational Institutions News. Neft' i gaz, 2009, issue 2, pp. 83–85.
- Shotskiy S.A. *Analiz napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya podzemnykh truboprovodov* [The analysis of the underground pipelines mode of deformation]. Higher Educational Institutions News. Neft' i gaz, 2009, issue 2, pp. 65–68.
- SNiP 2.05.06-85*. Trunk pipelines. Moscow: FGUP TsPP, 2005, 60 p.
- Shotskiy S.A., Golofast S.L. Strength Evaluation of the Underground Pipelines Curved Sections Loaded with Complete Coating. Occupational Safety in Industry, 2018, issue 10, pp. 22–29.
- Filatov A.A., Golofast S.L. *Problemy otsenki prochnostnoy nadezhnosti gazoprovodov* [Problems of assessment of gas pipelines strength reliability]. Gas Industry, 2015, issue 7, pp. 45–48.
- Syzrantsev V.N., Golofast S.L. *Veroyatnostnaya otsenka koeffitsienta zapasa prochnosti truboprovoda* [Probabilistic estimate of the pipeline safety factor]. Pipeline Transport: Theory and Practice, 2012, issue 2, pp. 27–29.
- Filatov A.A., George M.S. *Vliyanie usloviy ekspluatatsii gazoprovoda na pokazateli ego prochnostnoy nadezhnosti* [Effect of the operating conditions of the gas pipeline on the indices of its strength reliability]. Science and Technology in the Gas Industry, 2013, issue 2, pp. 75–82.
- Golofast S.L. *Problemy otsenki nadezhnosti lineynoy chasti magistral'nykh truboprovodov* [Problems of Reliability Assessment for Linear Part of Trunk Pipelines]. Occupational Safety in Industry, 2018, issue 4, pp. 36–40.
- Filatov A.A., Novoselov V.V. *Vliyanie prochnostnykh svoystv materiala trub na veroyatnostnye kharakteristiki koeffitsienta zapasa prochnosti v usloviyakh ekspluatatsii gazoprovoda* [Effect of the strength properties of the pipe material on the probabilistic characteristics of the strength factor in the operating conditions of gas pipeline]. News of higher educational institutions. Oil and gas, 2014, issue 4, pp. 80–85.
- Golofast S.L. *Vliyanie fakticheskikh zakonomernostey raspredeleniya mekhanicheskikh kharakteristik trubnoy stali 17G1S na koeffitsient zapasa prochnosti magistral'nykh gazoprovodov* [Effect of the actual regularities of distribution of the yield strength for steel 17G1S on safety factor of the main gas pipeline sections]. Exposition Oil Gas, 2019, issue 3, pp. 58–64.
- Shotskiy S.A. *Otsenka prochnosti temperaturno-deformiruemyykh uchastkov truboprovodov s uchetom sluchaynoy prirody predela tekuchesti materiala trub* [The evaluation of the strength of temperature-deformable sections of pipelines taking into account the random nature of the yield strength of the pipe material]. Exposition Oil Gas, 2019, issue 2, pp. 75–79.
- Syzrantsev V.N., Golofast S.L., Lysyanyy K.K., Nevelev Ya.P. *Issledovanie mekhanicheskikh kharakteristik trubnykh staley 17GS, 17G1S, 14KhGS posle dlitel'noy ekspluatatsii nefteprovodov* [Study of the mechanical characteristics of pipe steels 17GS, 17G1S, 14HGS after oil pipelines long-term operation]. Neftyanoe khozyaystvo, 2008, issue 3, pp. 98–100.
- Golofast S.L. *Otsenka prochnostnoy nadezhnosti magistral'nykh truboprovodov na osnove kvantil'nykh znacheniy koeffitsienta zapasa prochnosti* [Assessment of the Strength Reliability of the Trunk Pipelines based on the Quantile Values of Safety Factor]. Occupational Safety in Industry, 2018, issue 7, pp. 22–28.