

# Оценка прочности температурно-деформируемых участков трубопроводов с учетом случайной природы предела текучести материала труб

DOI 10.24411/2076-6785-2019-10019

С.А. Шоцкий  
Sshotssky@mail.ru

ПАО «ГЕОТЭК Сейсморазведка», Москва, Россия

**В работе представлены результаты расчета напряжений в стенке подземного трубопровода, пригруженного одиночными грузами в углах поворота на выпуклых участках трассы. С учетом случайной природы предела текучести трубных сталей  $\sigma_T$ , выборки фактических значений которого получены для материала труб разных производителей, выполнена оценка прочности криволинейных участков магистрального трубопровода (далее — МТ). Обоснована необходимость индивидуального подбора веса одиночного пригруза 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).

Оценка прочности криволинейных участков МТ в вероятностном аспекте выполнена на основе обработки случайных величин с помощью методов теории вероятности и непараметрической статистики.

## Ключевые слова

магистральный трубопровод, линейная часть, криволинейный участок, пригруз, прочностной расчет, вероятностные расчеты, случайная величина, предел текучести трубной стали

Ключевой задачей на этапах проектирования, эксплуатации и ремонта МТ является оценка прочности линейных участков. Решение данной задачи предполагает определение приведенных в отраслевых нормативных документах значений критериев прочности и последующее сравнение их с предельно допустимыми значениями, что позволяет оценить прочность любого участка МТ в соответствии с его конструктивными особенностями. Данный подход к оценке прочности МТ основан на детерминированных методах расчета, которые предполагают, что входящие в расчетные зависимости величины являются постоянными и не подвержены случайным изменениям в процессе эксплуатации трубопровода. Такие допущения приводят к тому, что результаты расчета показателей прочности и критериев, применяемых для их оценки, могут оказаться недостоверными, в результате чего прочность участков трубопровода не будет обеспечена.

Учесть случайную природу исходных данных и повысить достоверность результатов расчета прочности участков МТ позволяют вероятностные методы. Применение в качестве исходных значений в детерминированных расчетных моделях величин, определенных с заданной вероятностью на основе их фактических законов распределения, позволяет существенно повысить достоверность результатов расчета прочности линейных участков МТ. При этом реализация такого подхода позволяет оценивать прочность на основе известных и широко апробированных отраслевых методик.

## Теоретическая часть

Вследствие воздействия эксплуатационных нагрузок на криволинейных участках МТ, построенных способом подземной прокладки, возникают напряжения и перемещения, для снижения которых выполняют пригрузку трубопровода.

Для расчета в соответствии с требованиями нормативного документа [1] максимальных суммарных продольных напряжений  $\sigma_{np}^H$ , возникающих в трубопроводе от избыточного внутреннего давления и положительного температурного перепада, в работах [2, 3] получена следующая зависимость:

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

где  $\mu$  — коэффициент Пуассона;  $p$  — избыточное внутреннее давление;  $D_n$  — наружный диаметр трубы;  $\delta$  — толщина стенки трубы;  $N$  — продольное усилие на изогнутом участке трубопровода;  $M$  — 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 [2, 3].

Прочность участка и отсутствие на нем недопустимых пластических деформаций считаются обеспеченными, если выполнено условие [1]:

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

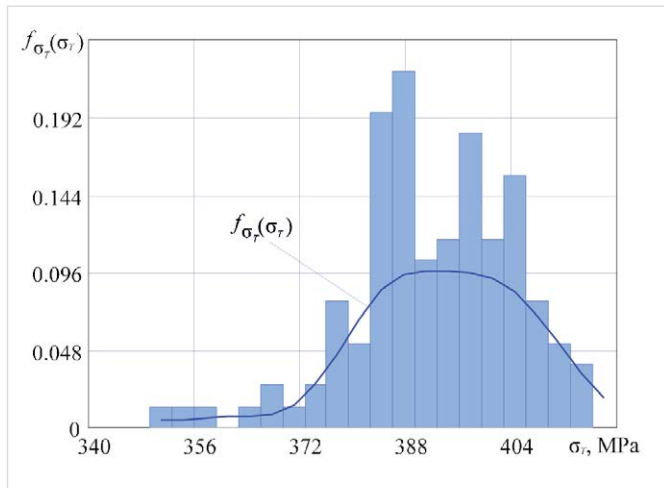
где  $\sigma_{np}^H$  — максимальные суммарные продольные напряжения в МТ [2, 3];  $\psi_3$  — коэффициент, учитывающий двухосное напряженное состояние металла труб, ( $\psi_3 = \psi_3(\sigma_{кп}, R_2^H, k_n, m)$ );  $\sigma_{кп}$  — кольцевые напряжения от нормативного (рабочего) давления;  $m$  — коэффициент условий работы трубопровода;  $k_n$  — коэффициент надежности по назначению трубопровода;  $R_2^H$  — минимальное значение предела текучести материала трубы.

Параметры, входящие в зависимости (1) и (2), при расчете прочности участков трубопровода принимаются как величины постоянные. Однако результаты исследований, представленные в работах [4, 5, 6], свидетельствуют, что случайная природа таких исходных величин, как избыточное внутреннее давление  $p$  и температура  $T^0$ , оказывает существенное влияние на результаты оценки прочности криволинейных участков подземного МТ и требует индивидуального подхода к выбору схемы пригрузки и типа применяемого груза для каждого криволинейного температурно-деформируемого участка.

При этом анализ данных, представленных в работах [7, 8, 9, 10, 14], позволяет сделать вывод, что прочностные характеристики материала труб также являются величинами случайными и имеют различные закономерности распределения в зависимости от производителя трубной продукции, даты выпуска и срока эксплуатации трубопровода. Однако данный факт не учитывается в существующих методиках расчета прочности линейных участков на основании зависимостей (1) и (2), при реализации которых принимается нормативное значение предела текучести материала трубы из справочной литературы.

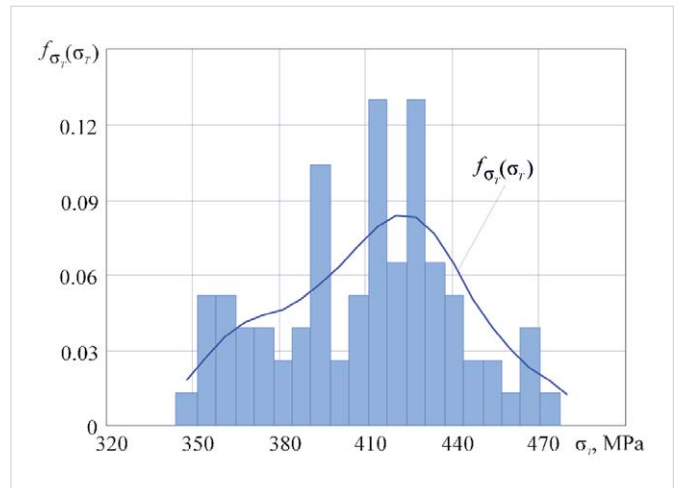
Обратимся к работе [10], в которой приведены результаты экспериментальных исследований предела текучести  $\sigma_T$  материала труб, изготовленных из стали 17Г1С на разных заводах — Харцызском ТЗ и Челябинском ТПЗ в соответствии с ТУ 14-3-109-73. Выборки значений предела текучести  $\sigma_{Ti}$ ,  $i = \overline{1, m}$  полученные в результате испытания образцов, изготовленных из материала труб каждого производителя, представлены в виде гистограмм на рисунках 1 и 2.

Анализ представленных на рисунках 1 и 2 данных позволяет сделать вывод, что закономерности изменения и пределы рассеивания



$f_{\sigma_T}(\sigma_T)$  – функция плотности вероятности

Рис. 1 – Гистограмма частот распределения предела текучести  $\sigma_T$  материала трубы, изготовленной на Харцызском ТЗ  
Fig. 1 – Histograms of the distribution frequencies of yield strength  $\sigma_T$  for pipe steels manufactured by Harcizsk Pipe Plant



$f_{\sigma_T}(\sigma_T)$  – функция плотности вероятности

Рис. 2 – Гистограмма частот распределения предела текучести  $\sigma_T$  материала трубы, изготовленной на Челябинском ТПЗ  
Fig. 2 – Histograms of the distribution frequencies of yield strength  $\sigma_T$  for pipe steels manufactured by Chelyabinsk Pipe Rolling Plant

значений  $\sigma_T$  имеют существенные отличия в зависимости от производителя даже при условии, что трубная продукция изготовлена из одинаковой стали в соответствии с требованиями одного ТУ 14-3-109-73. Предварительный анализ гистограмм, представленных на рисунках 1 и 2, свидетельствует, что отнести выборки значений предела текучести к нормальному закону распределения при статистической обработке экспериментальных данных некорректно. В связи с этим обработка результатов экспериментальных исследований может быть выполнена на основе методов непараметрической статистики, которые изначально полагают, что вид распределения случайной величины или неизвестен, или может быть определен лишь приблизительно [11].

Реализация данных методов предполагает для оценки неизвестной функции плотности распределения предела текучести  $f_{\sigma_T}(\sigma_T)$  на основе выборки экспериментальных значений  $\sigma_{Ti}$ ,  $i=\overline{1, m}$ , представить эту функцию 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

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

а  $h_{\sigma_T}$  – параметр размытости, задача вычисления оптимального значения которого сводится к определению максимума информационного функционала:

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

Решение данной задачи позволяет определить все параметры, входящие в

выражение (3), и восстановить искомую функцию  $f_{\sigma_T}(\sigma_T)$ .

Для известной функции плотности вероятности  $f_{\sigma_T}(\sigma_T)$  значения квантилей предела текучести  $\sigma_T^{\alpha}$  материала труб при требуемом уровне значимости  $\alpha$  рассчитываются в результате решения уравнения [12, 13]:

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

Полученные значения квантилей  $\sigma_T^{\alpha}$ , применяемые в качестве исходных данных для зависимостей (1) и (2), позволяют учесть случайную природу предела текучести стали 17Г1С при выполнении прочностного расчета МТ на основе детерминированных моделей и, как следствие, повысить достоверность получаемых результатов.

#### Пример расчета

Для реализации изложенного подхода рассмотрим пример прочностного расчета криволинейного участка подземного трубопровода со следующими исходными данными: наружный диаметр трубопровода  $D_n = 720$  мм, толщина стенки  $\delta = 10$  мм, угол поворота  $\varphi$  в вертикальной плоскости на выпуклом рельефе местности ( $2\varphi = 12^\circ$ ). Угол поворота конструктивно выполнен круто-изогнутым отводом. Трубопровод проложен в песчаном грунте на глубине 80 см от верхней образующей трубы и пригружен одиночными грузами. При выполнении расчетов примем значение избыточного внутреннего давления в трубопроводе  $p = 5,19$  МПа [4]. Отметим, что исходные данные в настоящем

примере аналогичны тем, что были приняты в примере расчета, рассмотренном в работе [4], кроме предела текучести материала трубы. Отличие заключается в том, что в расчетах, результаты которых приведены в работе [4], предел прочности материала трубы был принят величиной постоянной, значение которого в соответствии с нормативной документацией составляет  $\sigma_T = 400,0$  МПа. В настоящей работе при оценке прочности аналогичного криволинейного участка МТ предел прочности  $\sigma_T$  рассматривается как случайная величина, законы распределения которой отличаются (рис. 1 и 2). Таким образом, возникает возможность сравнить результаты расчета, полученные на основе одинаковых моделей, но различных по природе исходных данных.

Для оценки прочности криволинейного участка МТ выполним расчет квантильных значений предела текучести  $\sigma_T^{\alpha}$  для материала труб разных производителей. Для этого обработаем методами непараметрической статистики представленные на рисунках 1 и 2 в виде гистограмм выборки экспериментальных значений  $\sigma_{Ti}$ ,  $i=\overline{1, 116}$  для труб производства Харцызского ТЗ и  $\sigma_{Ti}$ ,  $i=\overline{1, 77}$  для труб, выпущенных на Челябинском ТПЗ. Отметим, что рассматриваемые выборки содержат различное количество полученных в результате экспериментов значений  $\sigma_T$ . Однако в отличие от задач определения показателей надежности данный факт при расчете прочности участков МТ на основе детерминированных моделей, где в качестве исходных данных применяются квантильные оценки случайных величин, значения не имеет. В результате решения задачи (4) определим параметры зависимости

Уровень значимости $\alpha$	Значение предела текучести $\sigma_T^{\alpha}$ , 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

Таб. 1 – Значения квантилей предела текучести  $\sigma_T^{\alpha}$  стали 17Г1С для трубной продукции разных производителей  
Tab. 1 – The values quantiles of the yield strength of 17G1S steel for different manufacturers pipe products

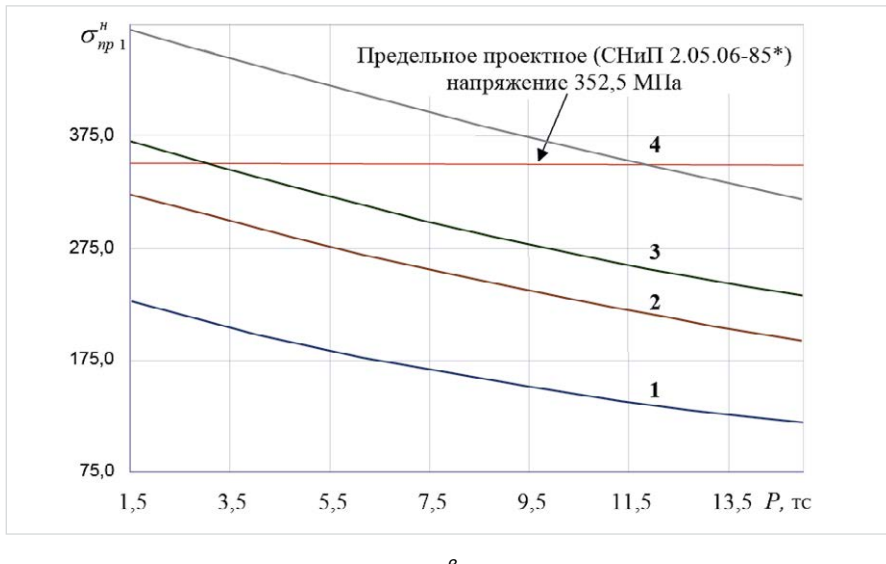
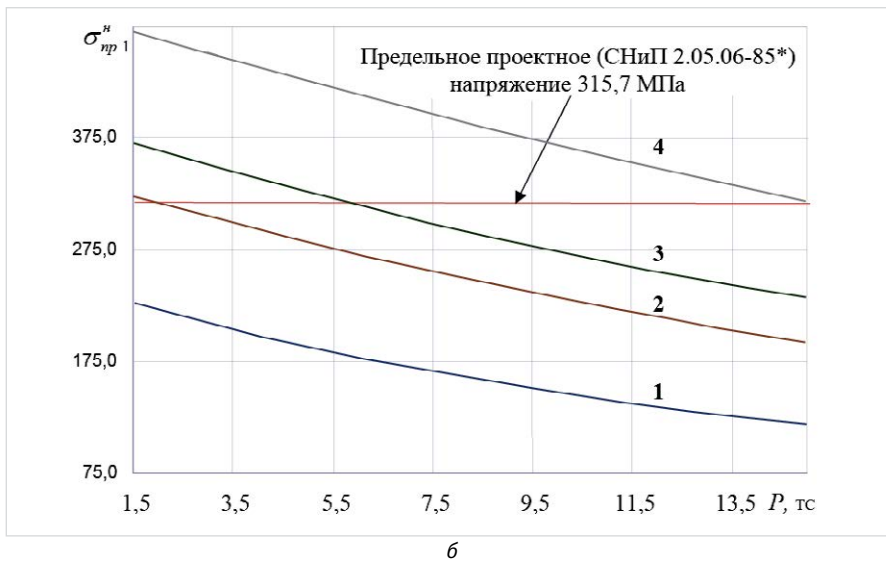
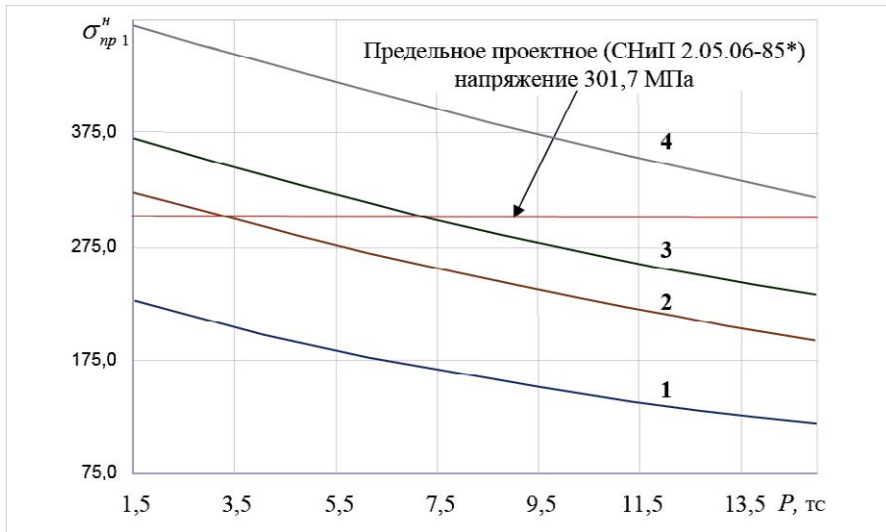


Рис. 3 — Зависимость максимальных суммарных продольных напряжений от веса одиночного груза  $P_0$  при различных температурных перепадах  $\Delta t$  и внутреннем давлении  $p^{0,01}=5,19$  МПа

а) — предельные напряжения определены на основании справочного значения предела текучести  $\sigma_T$ ; б) — предельные напряжения для материала труб, произведенных на Харцызском ТЗ из стали 17Г1С; в) — предельные напряжения для материала труб, произведенных на Челябинском ТПЗ из стали 17Г1С

Fig. 3 — The dependence of the maximum sum of the longitudinal stresses from the weight of a single load  $P_0$  at various temperature differences  $\Delta t$  and internal pressure  $p^{0,01}=5,19$  MPa  
 а) — ultimate stresses are determined based on reference yield stress value  $\sigma_T$ ; б) ultimate stresses for pipe's material from steel 17Г1С (analog of steel St52-3G) manufactured by Harcizsk Pipe Plant; с) — ultimate stresses for pipe's material from steel 17Г1С (analog of steel St52-3G) manufactured by Chelyabinsk Pipe Rolling Plant

(3) и получим искомые функции плотности распределения вероятности  $f_{\sigma_T}(\sigma_T)$  предела текучести материала труб разных производителей, которые представлены на рисунках 1 и 2. Знание данных функций позволяет рассчитать на основании уравнения (5) квантильные значения предела текучести  $\sigma_T^\alpha$ . Результаты такого расчета при разном уровне значимости  $\alpha$  приведены в таб. 1.

Для последующего анализа выполнения условия прочности (2) температурно-деформируемого криволинейного участка МТ, построенного из труб, изготовленных из одинакового материала, примем следующие значения предела текучести:

—  $\sigma_T^{0,01} = 418,4$  МПа для материала трубы производства Харцызского ТЗ;

—  $\sigma_T^{0,01} = 467,3$  МПа для материала трубы производства Челябинского ТПЗ;

—  $\sigma_T = 400,0$  МПа для материала трубы на основе данных, приведенных в нормативно-справочной литературе.

Тогда в соответствии с требованиями СНиП [1] для выполнения условия (2) при значении предела текучести  $\sigma_T=418,4$  МПа величина максимальных суммарных продольных напряжений в стенке трубопровода должна быть менее 315,7 МПа, т.е.  $|\sigma_{np}^H| \leq 315,7$  МПа, при значении  $\sigma_T=467,3$  МПа менее 352,5 МПа, т.е.  $|\sigma_{np}^H| \leq 352,5$  МПа и для значения предела текучести  $\sigma_T=400,0$  МПа не должна превышать 301,7 МПа, т.е.  $|\sigma_{np}^H| \leq 301,7$  МПа.

Графические иллюстрации к результатам расчета на основе зависимостей (1)–(2) максимальных суммарных продольных напряжений в стенке подземного трубопровода при значении избыточного внутреннего давления  $p=5,19$  МПа приведены на рисунке 3. Зависимость 1 на рис. 3 соответствуют температурному перепаду  $\Delta t=25$  °С, а зависимости 2, 3 и 4 — температурным перепадам  $\Delta t=35$  °С;  $\Delta t=40$  °С и  $\Delta t=50$  °С соответственно.

Проанализируем полученные результаты. При температурном перепаде  $\Delta t=25$  °С условие прочности (2), следуя зависимостям 1 на рисунках 3а, 3б и 3в выполняется для любых значений предела прочности  $\sigma_T$ . В данном случае пригрузки трубопровода не требуется.

При температурном перепаде  $\Delta t=35$  °С в случае оценки прочности на основе значений  $\sigma_T$ , принятых для материала трубы из нормативно-справочной литературы, для выполнения условия (2) требуется установка на вершине угла поворота одиночного груза весом  $P_0 \approx 3$  тс (зависимость 2 на рисунке 3а). Если значение предела прочности соответствует материалу трубы, которая изготовлена на Харцызском ТЗ, то выполнение условия прочности на данном участке 2 требует установки пригруза меньшим весом  $P_0 \approx 2$  тс (зависимость 2 на рисунке 3б). Если рассматривать вариант, что этот же участок МТ построен из трубы производства Челябинского ТПЗ, значение предела прочности которой составляет  $\sigma_T=467,3$  МПа, то пригрузка трубопровода не требуется (зависимость 2 на рисунке 3в).

При температурном перепаде  $\Delta t=40$  °С для предотвращения недопустимых пластических деформаций заданного криволинейного участка МТ требуется установка пригрузов во всех рассматриваемых вариантах. При этом для обеспечения прочности трубопровода, предел текучести материала которого принят на основании нормативно-справочной

литературы, требуется установка на вершине угла поворота груза весом  $P_0 \approx 7,5$  тс (зависимость 3 на рисунке 3а). Для варианта, если участок построен из трубы производства Харцизского ТЗ, требуется установка груза весом  $P_0 \approx 5,5$  тс (зависимость 3 на рисунке 3б).

Индивидуальные закономерности распределения и пределы рассеивания предела текучести материала даже однотипных труб, выпущенных различными производителями, являются причиной отличий в результатах оценки прочности температурно-деформируемых криволинейных участков магистральных трубопроводов. Данный факт требует совершенствования существующих и разработки новых методик прочностного расчета, позволяющих учитывать специфику случайной природы механических характеристик материала труб.

#### Итоги

Индивидуальные закономерности распределения и границы рассеивания предела текучести материала даже однотипных труб, выпущенных различными производителями, являются причиной существенных отличий в результатах оценки прочности температурно-деформируемых криволинейных участков магистральных трубопроводов. Данный факт требует совершенствования существующих и разработки новых методик прочностного расчета, позволяющих учитывать специфику случайной природы механических характеристик материала труб.

#### Выводы

1. Рассмотренный подход к оценке прочности МТ позволяет выполнить расчет напряжений пригруженных участков подземных трубопроводов и обосновать выбор веса одиночного груза с учетом случайной природы предела текучести  $\sigma_T$  материала труб, применявшихся для строительства рассматриваемого криволинейного участка.
2. Вследствие случайной природы предела

текучести  $\sigma_T$  выбор веса пригрузов, обеспечивающих выполнение условия прочности криволинейных участков МТ, должен производиться с учетом индивидуальных для каждого вида трубной продукции пределов рассеивания и законов распределения значений  $\sigma_T$ .

3. Накопленная информация о механических характеристиках материала труб и пределах их изменения на этапах производства и эксплуатации для каждого линейного участка позволяет на основе рассмотренного подхода уточнить вес или изменить схему расположения пригрузов на этапе реконструкции или ремонта линейной части.

#### Литература

1. СНиП 2.05.06-85\* Магистральные трубопроводы. М.: ФГУП ЦПП, 2005. 60 с.
2. 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.
3. Шоцкий С.А. Анализ напряженно-деформированного состояния подземных трубопроводов. Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. 2009. №3. С. 65–68.
4. Голофаст С.Л., Шоцкий С.А. Вероятностный подход к оценке прочности температурно-деформируемых участков подземных трубопроводов // Экспозиция Нефть Газ. 2018. №5. С. 51–55.
5. Шоцкий С.А., Голофаст С.Л. Оценка прочности пригруженных сплошным покрытием криволинейных участков подземных трубопроводов // Безопасность труда в промышленности. 2018. № 10. С. 22–29.
6. Филатов А.А., Голофаст С.Л. Проблемы оценки прочностной надежности газопроводов // Газовая промышленность. 2015. №7. С. 45–48.
7. Сызранцев В.Н., Голофаст С.Л., Лысяный К.К., Невелев Я.П. Исследование

механических характеристик трубных сталей 17ГС, 17Г1С, 14ХГС после длительной эксплуатации нефтепроводов // Нефтяное хозяйство. 2008. №3. С. 98–100.

8. 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.
9. Голофаст С.Л. Оценка влияния механических свойств трубной стали 17Г1С различных производителей на прочностную надежность магистральных трубопроводов // Экспозиция Нефть Газ. 2018. №7. С. 20–25.
10. Голофаст С.Л. Влияние статистического разброса предела текучести трубной стали 17Г1С на прочностную надежность магистральных газопроводов // Безопасность труда в промышленности. 2019. №2. С.42–47.
11. Сызранцев В.Н., Новоселов В.В., Созонов П.Н., Голофаст С.Л. Оценка безопасности и прочностной надежности магистральных трубопроводов методами непараметрической статистики. Новосибирск: Наука, 2013. 178 с.
12. Сызранцев В.Н., Филатов А.А. Голофаст С.Л. Расчет квантильных оценок коэффициента запаса прочности трубопроводов // Наука и техника в газовой промышленности. 2014. №4. С. 76–83.
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.
14. Голофаст С.Л. Проблемы оценки надежности линейной части магистральных трубопроводов // Безопасность труда в промышленности. 2018. №4. С. 36–40.

## 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

#### Author

Sergey A. 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 single 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 single 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). Evaluation of the strength of curvilinear sections of main pipelines in the probabilistic aspect is performed on the basis of processing random variables using methods of probability theory and nonparametric statistics.

#### Keywords

main pipeline, line section, curved section, pipeline weight, strength calculation, probability calculations, random variable, probability density, yield limit of pipe steel

#### Results

The individual laws of distribution and the limits of dispersion of the yield strength of a material of even pipes of the same type, produced by various manufacturers, cause significant differences in the results of the evaluation of the strength of temperature-deformable curved sections of main pipelines. This fact requires the improvement of existing and the development of new methods of

strength analysis, allowing to take into account the specific nature of the random nature of the mechanical characteristics of the pipe material.

### Conclusions

1. The considered approach to estimating the strength of main pipelines allows to calculate the stresses of the loaded sections of underground pipelines and justify the choice of the weight of a single weight, taking into account the random nature of the yield strength  $\sigma_T$  of the pipe material used for the construction of the curved section under consideration.
2. Due to the random nature of the yield

strength  $\sigma_T$ , the weight of pipeline weights that meet the strength condition of the curved sections of the main pipeline must be selected taking into account the dispersion limits that are individual for each type of tubular product and the laws of the distribution of  $\sigma_T$  values.

3. The accumulated information on the mechanical characteristics of the pipe material and the limits of their changes at the stages of production and operation for each linear section allows us to specify the weight or change the layout of weights at the stage of reconstruction or repair of the linear part on the basis of the considered approach.

### References

1. SNiP 2.05.06-85\*. *Magistral'nyye truboprovody* [Trunk pipelines]. Moscow: FGUP TsPP, 2005, 60 p.
2. Shotskiy S.A., Malyushin N.A. *Napryazheniya i peremeshcheniya prigruzhennogo podzemnogo truboprovoda na uglokh 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.
3. 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 3, pp. 65–68.
4. Golofast S.L., Shotskiy S.A. *Veroyatnostnyy podkhod k otsenke prochnosti temperaturno-deformiruemyykh uchastkov podzemnykh truboprovodov* [Probabilistic approach to the evaluation of the strength of temperature-deformable sections of underground pipelines] // Exposition Oil Gas, 2018, issue 5, pp. 51–55.
5. Shotskiy S.A., Golofast S.L. *Otsenka prochnosti prigruzhennykh sploshnym pokrytiem krivolinyeynykh uchastkov podzemnykh truboprovodov* [Strength Evaluation of the Underground Pipelines Curved Sections Loaded with Complete Coating] // Occupational Safety in Industry, 2018, issue 10, pp. 22–29.
6. 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.
7. 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] // Oil industry, 2008, issue 3, pp. 98–100.
8. Filatov A.A., Novoselov V.V. *Vliyanie prochnostnykh svoystv materiala truby 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.
9. Golofast S.L. *Otsenka vliyaniya mekhanicheskikh svoystv trubnoy stali 17G1S razlichnykh proizvoditeley na prochnostnyuyu nadezhnost' magistral'nykh truboprovodov* [Assessment of the effect of the mechanical properties of 17G1S pipe steel of various manufacturers on the strength reliability of the main pipelines] // Exposition Oil Gas, 2018, issue 7, pp. 20–25.
10. Golofast S.L. *Vliyanie statisticheskogo razbrosa predela tekuchesti trubnoy stali 17G1S na prochnostnyuyu nadezhnost' magistral'nykh gazoprovodov* [Effect of statistical straggling of the yield strength of 17G1S pipe steel grade on strength reliability of the main gas pipelines] // Occupational Safety in Industry. 2019, issue 2, pp. 42–47.
11. Syzrantsev V.N., Novoselov V.V., Sozonov P.N., Golofast S.L. *Otsenka bezopasnosti i prochnostnoy nadezhnosti magistral'nykh truboprovodov metodami neparametricheskoy statistiki* [Assessment of safety and strength reliability of the trunk pipelines using the nonparametric statistics methods]. Novosibirsk: Nauka, 2013, 178 p.
12. Syzrantsev V.N., Filatov A.A., Golofast S.L. *Raschet kvantil'nykh otsenok koeffitsienta zapasa prochnosti truboprovodov* [Calculation of the quantile values of pipelines factor of safety]. Science and Technology in the Gas Industry, 2014, issue 4, pp. 76–83.
13. 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.
14. 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.

## Изготавливаем и доставляем в любую точку России:



- Водонапорные башни системы «Рожновско-го» от 15 до 160 м<sup>3</sup> по типовым проектам
- Резервуары вертикальные стальные РВС для воды, масло и нефтепродуктов от 50 до 5000 м<sup>3</sup>
- Резервуары горизонтальные стальные РГС, РГСН, РГСП от 3 до 200 м<sup>3</sup>
- Емкости дренажные ЕП, ЕПП для воды, бензина, масло, ГСМ от 3 до 2000 м<sup>3</sup>
- Резервуары для автозаправочных станций АЗС одностенные и двустенные от 5 до 150 м<sup>3</sup>
- Резервуары для трансформаторного масла (маслосборники)
- Баки аккумуляторы для горячей воды БАГВ горизонтальные и вертикальные от 5 до 5000 м<sup>3</sup>
- Силосы для цемента сыпучих материалов от 20 до 3000 тонн
- Бункеры распределительные для зерна и сыпучих продуктов от 20 до 3000 тонн
- Емкости из нержавеющей стали горизонтальные и вертикальные от 5 до 2000 м<sup>3</sup>
- Емкости вывозные на автомашинах (огнеопасно) из нержавеющей и обычной стали
- Металлоконструкции любой сложности по Вашим эскизам и чертежам
- Строительство металлоконструкции ангары, склады, навесы, крытый ток, фермы.
- Дымовые трубы для котельных, дымоходы, отводы большого диаметра
- Контейнера, урны, бункера для ТБО, малые архитектурные формы «МАФ»
- Также наша организация занимается ремонтом резервуаров вертикальных стальных РВС
- Детские игровые площадки, комплексы и оборудование

На каждое изделие выдается: сертификат соответствия, сертификаты на металл, паспорт, гарантия.

8 (928) 602-75-42, 8 (938) 135-80-80  
8 (8636) 27-93-00

zmk-rezervuary@yandex.ru  
Ростовская область, г. Шахты,  
ул. Ионова 122 офис N2