УДК 621.643

Оценка влияния механических свойств трубной стали 17Г1С различных производителей на прочностную надежность магистральных трубопроводов

С.Л. Голофаст
д.т.н., профессор
trasser@inbox.ru

ООО «Газпром проектирование», Санкт-Петербург, Россия

В работе приведены результаты исследований механических свойств материала труб, изготовленных из стали 17Г1С различными производителями трубной продукции, и выполнена оценка влияния этих свойств на прочностную надежность магистральных трубопроводов. Обработка результатов исследований механических характеристик трубных сталей и расчет вероятности безотказной работы линейных участков магистрального трубопровода по критерию прочности выполнены на основе математического аппарата непараметрической статистики с учетом фактических законов распределения исследуемых случайных величин.

Материалы и методы
Обработка результатов экспериментальных исследований прочностных характеристик трубных сталей и оценка прочностной надежности линейных участков МТ выполнена на основе методов непараметрической статистики.

Ключевые слова
Магистральный трубопровод, линейный участок, механические характеристики трубных сталей, предел прочности, предел текучести, прочностная надежность, вероятность безотказной работы, непараметрическая статистика

Введение

Оценка технического состояния линейной части магистральных трубопроводов (далее — МТ) на этапе эксплуатации производится на основе параметров технического состояния, к которым относятся механические характеристики трубных сталей. Данные параметры имеют случайную природу, их фактические значения и законы распределения варьируются в зависимости от завода-изготовителя, даты выпуска и нормативной документации, согласно которой произведена трубная продукция. Продолжительность и условия эксплуатации МТ также приводят к изменению закономерностей и предельных значений данных параметров. Перечисленные факторы оказывают существенное влияние на точность расчетов прочностной надежности и риска эксплуатации МТ. При этом существующая нормативная документация, регламентирующая расчет показателей надежности, базируется на подходе, основанном на принятии нормального закона распределения для механических характеристик трубных сталей. Однако методы классической математической статистики, применяемые при обработке результатов испытаний прочностных характеристик трубных сталей, не всегда позволяют корректно учесть специфику фактических законов распределения этих параметров. Более того, в ряде случаев не представляется возможным отнести выборку значений какого-либо из параметров технического состояния ни к одному из известных в теории классической математической статистики законов.

Теоретическая часть

При расчете показателей надежности магистральных газопроводов (МГ) в соответствии с существующей нормативной документацией принимаются нормальные законы распределения для внешней нагрузки и прочностных характеристик материала труб [1, 2, 3, 4]. Однако результаты многочисленных исследований свидетельствуют [5, 6, 7, 8], что принятие нормального закона для действующей на трубопровод внешней нагрузки, к которой относятся избыточное внутреннее давление p и температурный перепад ΔT, является в большинстве случаев исключением. Естественно, что закономерности изменения возникающих в трубопроводе напряжений σ, которые зависят от законов распределения величин p и T, также не соответствуют нормальному закону. В связи с этим в рамках непараметрической статистики разработаны и апробированы методы, позволяющие вне зависимости от сложности фактических законов распределения данных случайных величин восстанавливать их функции плотности вероятности $f_p(p)$, $f_T(T)$ и $f_\sigma(\sigma)$, которые необходимы для решения задач расчета показателей надежности. Наибольшее распространение в настоящее время получил метод, в котором для оценки функции плотности распределения вероятности случайной величины применяется эмпирическая функция Розенблатта-Парзена (Rosenblatt, 1956; Parzen, 1962). На базе данного метода разработаны адаптивные оценки плотности вероятности. Для выбора вида ядерной функции, позволяющей наиболее точно восстановить искомую зависимость, применяется информационный функционал качества:

$$J = \int \ln[k(t)] f(t) dt = \int \ln[k(t)] dF(t), \quad (1)$$

где $F(T)$, $f(T)$ — функция и плотность распределения случайной величины t;

$k(t)$ — плотность распределения, оцениваемая по выборке случайной величины t_i, $i=1N$; $g_k(t)$, $k=1,n$ ядерные функции: $k(t)=f_{kN}(t,h_N, g_k(t))$, где h_N — параметр «размытости» [11, 12].

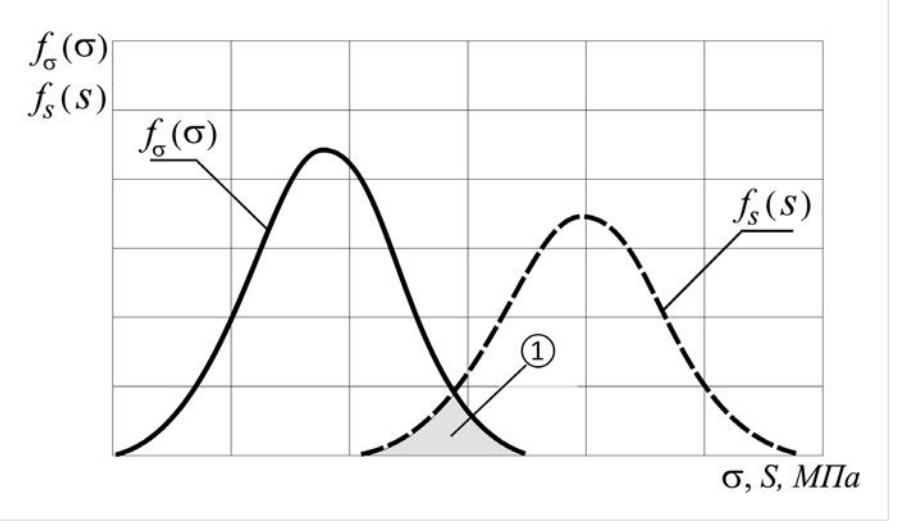


Рис. 1 — Графическая иллюстрация к определению вероятности отказа
Fig. 1 — Graphic illustration of the failures probability

Вероятность отказа, позволяющая количественно оценить прочностную надежность и риск эксплуатации МТ, рассчитывается путем вычисления интеграла [3, 4, 5, 6, 7, 8, 11]:

$$Q = \frac{1}{F_S \cdot F_\sigma} \int_0^\infty f_\sigma(\sigma) \cdot \left[\int_0^\infty f_S(s) ds \right] d\sigma, \quad (2)$$

где $F_S = \int_0^\infty f_S(s) ds$; $F_\sigma = \int_0^\infty f_\sigma(\sigma) d\sigma$, $f_\sigma(\sigma)$ — функция плотности вероятности возникающих в стенке МТ напряжений, $f_s(s)$ — функция плотности вероятности предельных напряжений, в качестве которых в зависимости от норм расчета принимается предел прочности $\sigma_в$, предел текучести σ_T или предел выносливости σ_{-1}.

Для графической иллюстрация решения задачи (2) на рисунке 1 приведены совмещенные графики функций $f_\sigma(\sigma)$ и $f_s(s)$. Область перекрытия этих функций ① соответствует некоторой вероятности отказа Q, которая рассчитывается согласно выражению (2).

При этом, несмотря на накопленный опыт применения в практике расчетов прочностной надежности фактических закономерностей изменения внешней нагрузки и возникающих в трубопроводе напряжений σ, для описания предельных напряжений s до сих пор используется «удобный» нормальный закон, расчет статистических характеристик которого не вызывает затруднений, или реже закон Грамма-Шарлье [1, 3, 4, 5, 6, 9, 13].

Основой для принятия вида закона предельных напряжений является статистическая обработка выборок значений механических характеристик материала труб, полученных в результате испытаний образцов из трубных сталей. Пример результатов исследований закономерностей изменения предела текучести σ_T и предела прочности $\sigma_в$ для сталей 17ГС, 17Г1С и 14ХГС приведен в работах [13, 14]. Недостатком полученных результатов [14] является предположение о нормальной плотности и тождественности дисперсий экспериментальных данных, выборки которых имели небольшой объем. Принятые допущения явились следствием ограничений, возникающих при обработке результатов испытаний методами классической математической статистики, и недостаточного количества фактических исходных экспериментальных данных.

Отмеченная проблема свидетельствует о необходимости дополнительных исследований фактических законов распределения механических характеристик трубных сталей для повышения достоверности результатов расчета прочностной надежности МТ.

Экспериментальная часть

В продолжение работ по изучению закономерностей изменения механических свойств материала труб [14] выполнены экспериментальные исследования для стали 17Г1С на образцах, изготовленных из труб производства Харцизского ТЗ и Челябинского ТПЗ согласно ТУ 14-3-109-73. Первую группу образцов вырезали из основного металла трубы диаметром Dy = 700 мм и толщиной стенки δ = 8,2 мм, произведенной на Харцизском ТЗ, а вторую — из трубы диаметром Dy = 1200 мм и δ = 14,5 мм производства Челябинского ТПЗ. В процессе испытаний образцов фиксировались относительное удлинение δ и сужение ψ, предел текучести σ_T и предел прочност и $\sigma_в$, материала трубы. Выборки значений предела текучести σ_{Tj} $j=\overline{1, m}$ для материала труб разных производителей представлены в виде гистограмм на рисунках 2 и 3, а предела прочности $\sigma_{вi}$ $i=\overline{1, n}$ — на рисунках 4 и 5.

Из анализа информации, приведенной на рисунках 2 – 5 следует, что выборки величин σ_T и $\sigma_в$ являются цензурированными ($\sigma_{T\min} = \min_j\{\sigma_{T_j}\}$; $\sigma_{T\max} = \max_j\{\sigma_{T_j}\}$ и $\sigma_{в\min} = \min_i\{\sigma_{вi}\}$; $\sigma_{в\max} = \max_i\{\sigma_{вi}\}$), поэтому распределения данных величин будут усеченными. Данный факт оказывает существенное влияние на результаты расчета вероятности отказа Q по уравнению (2) вследствие изменения пределов интегрирования и характеристик закона, принятого для выборок значений σ_T и $\sigma_в$ [7, 8]. Гистограммы частот распределения исследуемых величин свидетельствуют, что принятие какого-либо из параметрических законов при описании выборки результатов испытаний образцов, не корректно. Вследствие этого обработка совокупностей экспериментальных значений σ_T и $\sigma_в$ выполнена на основе

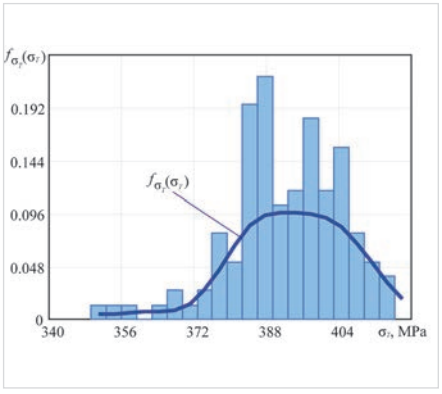


Рис. 2 — Гистограмма частот распределения и функция плотности вероятности предела текучести σ_T материала трубы, изготовленной на Харцизском ТЗ

Fig. 2 — Histogram of distribution frequencies and density function of the probability of yield strength (σ_T) of the material of pipe manufactured at Khartsizsk Tube Plant

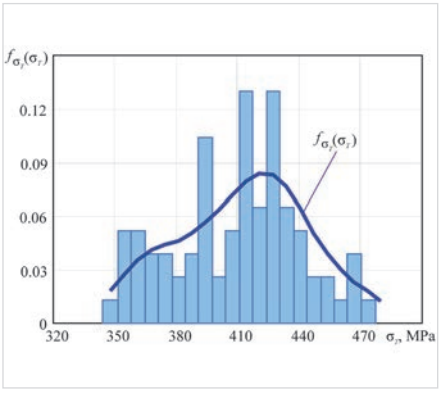


Рис. 3 — Гистограмма частот распределения и функция плотности вероятности предела текучести σ_T материала трубы, изготовленной на Челябинском ТПЗ

Fig. 3 — Histogram of distribution frequencies and density function of the probability of yield strength (σ_T) of the material of pipe manufactured at Chelyabinsk Pipe Rolling Plant

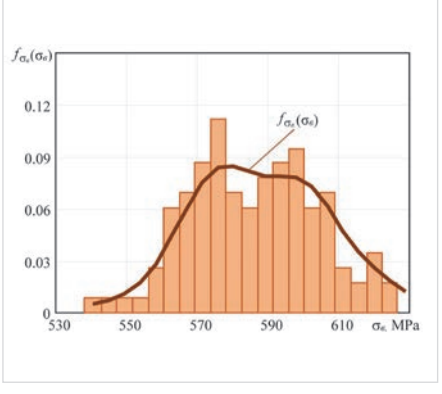


Рис. 4 — Гистограмма частот распределения и функция плотности вероятности предела прочности $\sigma_в$ материала трубы, изготовленной на Харцизском ТЗ

Fig. 4 — Histogram of distribution frequencies and density function of the probability of tensile strength ($\sigma_в$) of the material of pipe manufactured at Khartsizsk Tube Plant

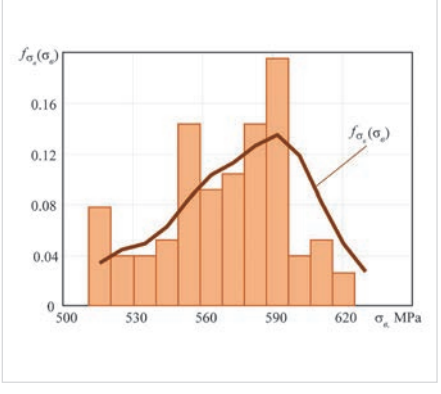


Рис. 5 — Гистограмма частот распределения и функция плотности вероятности предела прочности $\sigma_в$ материала трубы, изготовленной на Челябинском ТПЗ

Fig. 5 — Histogram of distribution frequencies and density function of the probability of tensile strength ($\sigma_в$) of the material of pipe manufactured at Chelyabinsk Pipe Rolling Plant

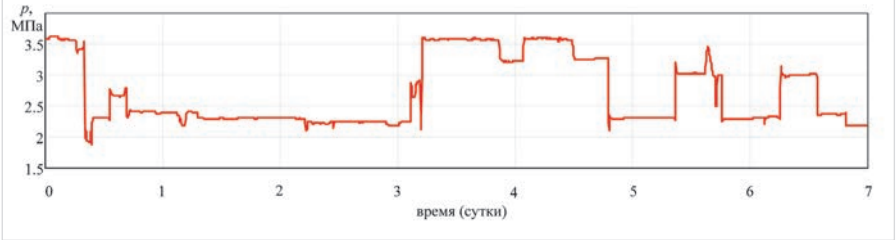


Рис. 6 — График изменения избыточного внутреннего давления p на линейном участке после НПС «Ачинская»

Fig. 6 — Graph of changes in the excess internal pressure p in the linear section after the pump station «Achinskaya»

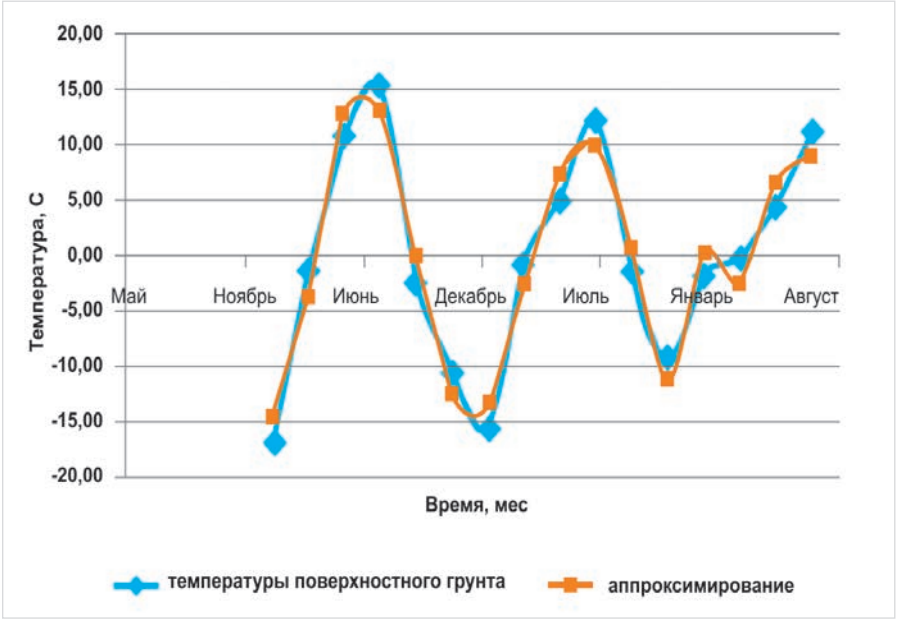
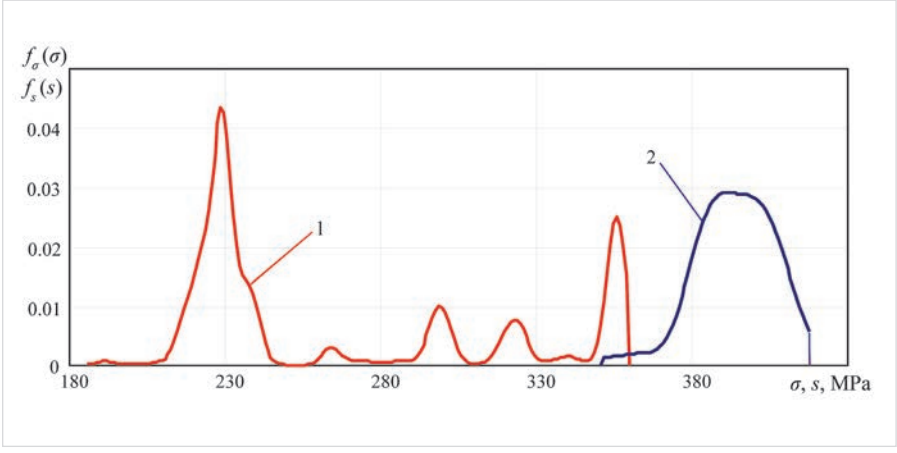
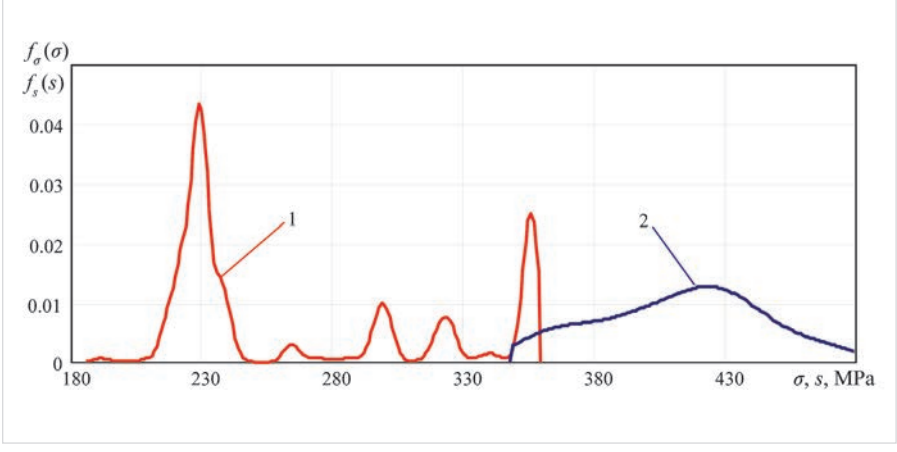


Рис. 7 — Изменения температуры грунта на одном из линейных участков магистрального нефтепровода
Fig. 7 — Changes in soil temperature at one of the linear sections of the main oil pipeline



а)



б)

Рис. 9 — Графическая иллюстрация к расчету вероятности отказа
а) линейный участок построен из трубы производства Харцизского ТЗ
Вероятность отказа Q = 2,6 × 10⁻⁴
б) линейный участок построен из трубы производства Челябинского ТПЗ
Вероятность отказа Q = 7,6 × 10⁻⁴
Fig. 9 — Graphic illustration of the calculation of the of failures probability
a)linear section built from pipe manufactured at Khartsizsk Tube Plant
Failures probability Q = 2,6 × 10⁻⁴
б) linear section built from pipe manufactured at Chelyabinsk Pipe Rolling Plant
Failures probability Q = 7,6 × 10⁻⁴

методов непараметрической статистики [5, 11, 12]. В результате реализации адаптивных методов оценки плотности вероятности по выборкам значений σ_{Tj} $j=\overline{1, m}$, и $\sigma_{вi}$ $i=\overline{1, n}$, для материала трубы, изготовленной различными производителями, восстановлены функции плотности $f_{\sigma_T}(\sigma_T)$ и $f_{\sigma_в}(\sigma_в)$ предела текучести σ_T и предела прочности $\sigma_в$, которые представлены на рисунках 2-5. В зависимости от норм расчета, данные функции могут быть выбраны в качестве функции $f_s(s)$ предельных напряжений s для расчете вероятности отказа Q при вычисления интеграла (2).

Пример расчета

Оценку прочностной надежности рассмотрим на примере расчета вероятности отказа для одного из линейных участков магистрального нефтепровода (МН). Расчет выполним для двух вариантов. В первом варианте примем, что при строительстве участка применялась труба, произведенная из стали 17Г1С на Харцизском ТЗ, а во втором — на Челябинском ТПЗ в соответствии с требованиями одного ТУ 14-3-109-73. В качестве предельных напряжений s при определении вероятности отказа Q принят предел текучести σ_T [1]. Функции плотности распределения $f_{\sigma_T}(\sigma_T)$ для материала труб каждого из производителей представлены на рисунках 2 и 3.

Необходимым условием для оценки прочностной надежности линейного участка магистрального трубопровода является наличие функции плотности вероятности $f_\sigma(\sigma)$ напряжений σ, возникающих в стенке МН вследствие температурного перепада ΔT и внутреннего давления p. При этом величины ΔT и p являются случайными и имеют свои закономерности изменения и пределы рассеивания на различных линейных участках МТ [5, 6, 7, 8, 9]. Пример графика изменения внутреннего давления p для рассматриваемого в примере линейного участка приведен на рисунке 6.

Из анализа информации, представленной на рисунке 6, следует, что величина p имеет специфическую закономерность и ограниченные в диапазоне от 1.8 до 3,7 МПа пределы изменения. Вследствие этого выборка значений избыточного внутреннего давления p_i $i=\overline{1, n}$ тоже является цензурированной, что необходимо учитывать при расчете численного значения вероятности отказа Q [7, 8].

Аналогичная ситуация имеет место с температурным перепадом ΔT. Пример графика сезонного изменения температуры грунта,

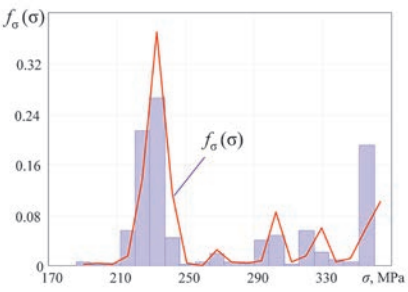


Рис. 8 — Функция плотности вероятности напряжений σ, возникающих в стенке трубы на одном из линейных участков магистрального нефтепровода
Fig. 8 — The probability density function of stresses σ arising in the pipe wall on one of the linear sections of the main oil pipeline

измеренной одной из термокос на трассе МН [15], приведен на рисунке 7. Из данных, приведенных на рисунке, следует, что температура грунта имеет сезонные колебания абсолютных значений и ограниченные пределы их изменения.

Методика и примеры решения задачи восстановления функции плотности вероятности $f_\sigma(\sigma)$ напряжений σ по известным [1, 2] функциональным зависимостям $\sigma = \sigma(p, \Delta T, D, \delta)$, подробно рассмотрены в работах [4, 5, 6, 7, 9]. Для принятого в примере линейного участка МН, соединяющего Западную Сибирь с Восточными регионами России, функция плотности вероятности $f_\sigma(\sigma)$ напряжений σ, полученная на основании данных, представленных на рисунках 6 и 7, приведена на рисунке 8.

Таким образом, полученные функции плотности вероятности $f_\sigma(\sigma)$ возникающих в стенке МН и предельных для материала трубы $f_s(S)$ напряжений позволяют в результате решения интегрального уравнения (2) вычислить значения вероятности отказа Q для принятых в примере вариантов расчета.

Графическая иллюстрация к определению вероятности отказа на линейном участке для варианта расчета при условии, что участок построен из трубы производства Харцизского ТЗ, представлена на рисунке 9а, а для варианта, когда при строительстве участка применялась труба производства Челябинского ТПЗ — на рисунке 9б.

На представленных рисунках цифрой 1 обозначена функция плотности вероятности напряжений σ, возникающих в стенке трубы под действием внешней нагрузки, а цифрой 2 – функция плотности вероятности предельных напряжений S, в качестве которых в рассматриваемых примерах принят предел текучести σ_T материала трубы, изготовленной из стали 17Г1С различными производителями.

На следующем этапе выполним расчет вероятности отказа Q для этого же линейного участка на основе существующей нормативной документации, предполагающей принятие нормального закона при описании выборок экспериментальных значений предела текучести σ_{Tj} материала трубы.

Графическая иллюстрация к расчету вероятности отказа линейного участка для данных условий представлена на рисунках 10а и 10б.

В завершение рассматриваемого примера выполним расчеты величины Q при условии, что для описания выборки экспериментальных значений предела текучести σ_{Tj} материала трубы, произведенной на Харцизском ТЗ и Челябинском ТПЗ, принят не усеченный нормальный закон. Т.е. при решении уравнения (2) пределы интегрирования изменяются в диапазоне от $-\infty$ до $+\infty$, что соответствует нормам расчета, принятым в существующей нормативной документации.

Результаты расчета и графическая иллюстрация к ним для данных условий представлена на рисунках 11а и 11б.

Сводные данные результатов расчета по двум, принятым в примере вариантам при всех рассмотренных выше условиях, приведены в таб. 1.

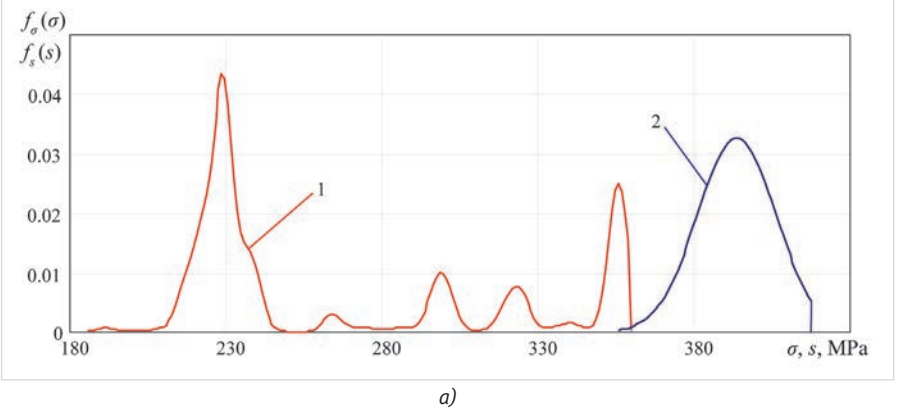
Анализ представленной на рисунках 2–5 информации свидетельствует о существенных различиях в закономерностях изменения прочностных характеристик материала труб, изготовленных различными производителями. Вследствие этого при одинаковой внешней нагрузке и идентичных геометрических параметрах трубы, принятых в примере расчета, вероятность отказа для варианта, когда участок построен из трубы производства Харцизского ТЗ, составляет $Q = 2{,}6 \times 10^{-4}$, что в ~ 2,5 раза меньше величины $Q = 7{,}6 \times 10^{-4}$ для варианта с трубой производства Челябинского ТПЗ. (п. 1.1 и п. 2.1 таб. 1).

Для первого варианта расчета при условии, что выборка предельных напряжений s материала трубы производства Харцизского ТЗ отнесена к нормальному, но усеченному закону, вероятность отказа составляет $Q = 2{,}9 \times 10^{-5}$. При тех-же условиях для выборки предела текучести материала трубы, изготовленной на Челябинском ТПЗ, значение $Q = 4{,}4 \times 10^{-4}$, т.е. выше на порядок, чем при первом варианте расчета (п. 1.2 и п. 2.2 таб. 1). Таким образом, отнесение выборки предела текучести σ_T к нормальному закону приводит к заниженным значениям вероятности отказа Q вне зависимости от производителя труб. При этом результаты расчета вероятности отказа для участка из трубы производства Челябинского ТПЗ при расчете величины Q на основе фактического и нормального закона отличаются в ~ 1,7 раза (п. 2.1 и п. 2.2 таб. 1), а для участка из трубы Харцизского ТЗ (п. 1.1 и п. 1.2 таб. 1) – практически на порядок (~ 10 раз).

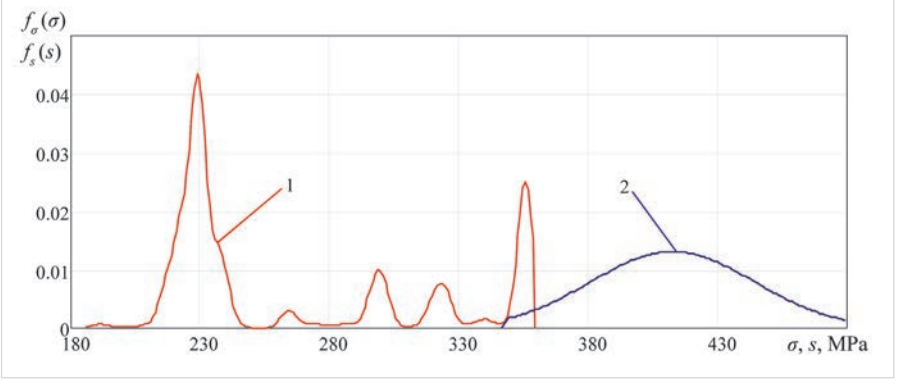
Расчет вероятности отказа Q на основании не усеченного нормального распределения [1] при описании выборки предельных напряжений s, приводит к возникновению системных ошибок [7, 8] и увеличению в ~10 раз значения вероятности отказа по отношению к результату, полученному при условии применения усеченного нормального распределения для описания выборки предельных напряжений. Данный результат получен в обоих вариантах расчета и не зависит от производителя труб. При этом расчетное значение вероятности отказа Q для линейного участка из труб производства Харцизского ТЗ более чем на порядок ниже, чем для линейного участка из труб Челябинского ТПЗ (п. 1.3 и п. 2.3 таб. 1).

Итоги

В результате экспериментальных исследований образцов, вырезанных из труб, изготовленных из стали 17Г1С различными производителями, установлено, что пределы рассеивания и закономерности изменения прочностных характеристик материала труб имеют значительные отличия. Выполненные на основе экспериментальных данных расчеты свидетельствуют, что случайная природа и индивидуальные законы и распределения прочностных характеристик для каждой марки трубных сталей оказывают существенное влияние на точность оценки прочностной



а)



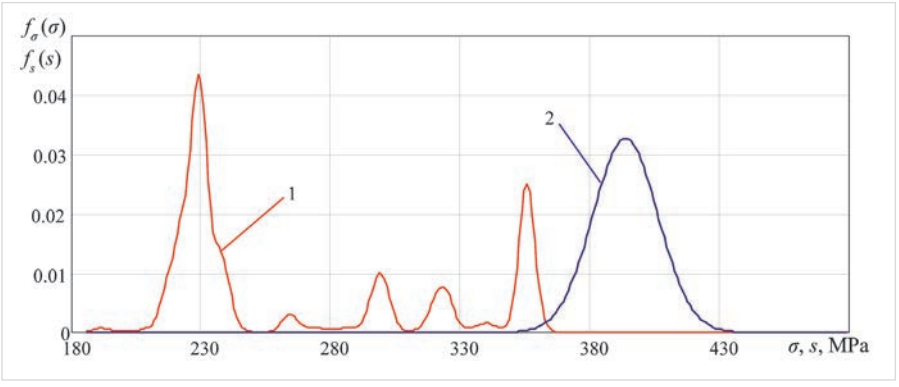
б)

Рис. 10 — Графическая иллюстрация к расчету вероятности отказа (выборка предельных напряжений отнесена к нормальному закону)
а) линейный участок построен из трубы производства Харцизского ТЗ
Вероятность отказа Q = 2,9 × 10⁻⁵
б) линейный участок построен из трубы производства Челябинского ТПЗ
Вероятность отказа Q = 4,4 × 10⁻⁴
Fig. 10 — Graphic illustration of the calculation of the of failures probability (limiting stress sampling is related to normal law)
a) linear section built from pipe manufactured at Khartsizsk Tube Plant
Failures probability Q = 2,9 × 10⁻⁵
б) linear section built from pipe manufactured at Chelyabinsk Pipe Rolling Plant
Failures probability Q = 4,4 × 10⁻⁴

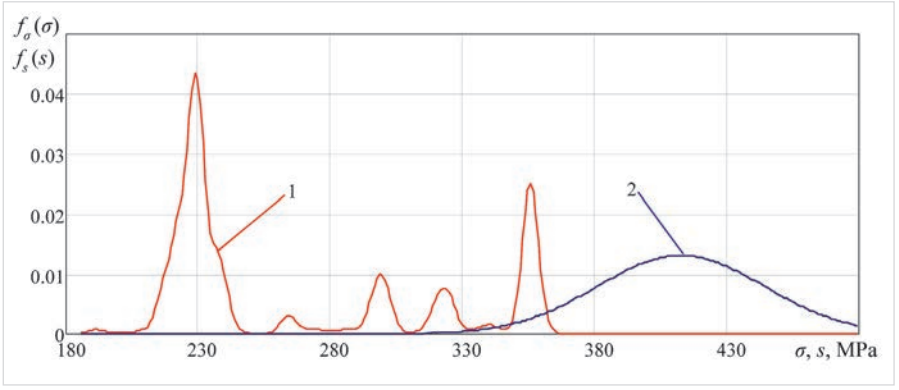
надежности линейных участков магистральных трубопроводов.

Выводы

Оценка прочностной надежности и риска безопасной эксплуатации МТ должна проводиться индивидуального для каждого линейного участка на основе подхода, который учитывает фактические закономерности и пределы изменения прочностных характеристик трубных сталей и параметров внешней нагрузки. Для повышения достоверности результатов оценки прочностной надежности линейных участков МТ необходимо формирование базы данных, содержащей статистическую информацию о прочностных показателях материала труб с учетом таких факторов, как дата выпуска, производитель, технические условия или стандарты на трубную продукцию, продолжительность и условия эксплуатации.



а)



б)

Рис. 11 — Графическая иллюстрация к расчету вероятности отказа для (выборка предельных напряжений отнесена к не усеченному нормальному закону)
а) линейный участок построен из трубы производства Харцизского ТЗ
Вероятность отказа Q = 3,2 × 10^{-4}
б) линейный участок построен из трубы производства Челябинского ТПЗ
Вероятность отказа Q = 6,3 × 10^{-3}
Fig. 11 — Graphic illustration of the calculation of the of failures probability (limiting stress sampling is related to the non-truncated normal law)
a) linear section built from pipe manufactured at Khartsizsk Tube Plant
Failures probability Q = 3,2 × 10^{-4}
б) linear section built from pipe manufactured at Chelyabinsk Pipe Rolling Plant
Failures probability Q = 6,3 × 10^{-3}

№ п/п	Варианты и условия расчета			Значение вероятности отказа
1	Харцизский ТЗ	1.1	Выборка предельных напряжений s описана фактическим законом	Q = 2,6 × 10^{-4}
		1.2	Выборка предельных напряжений s описана нормальным законом	Q = 2,9 × 10^{-5}
		1.3	Выборка предельных напряжений s описана нормальным не усеченным законом	Q = 3,2 × 10^{-4}
2	Челябинский ТПЗ	2.1	Выборка предельных напряжений s описана фактическим законом	Q = 7,6 × 10^{-4}
		2.2	Выборка предельных напряжений s описана нормальным законом	Q = 4,4 × 10^{-4}
		2.3	Выборка предельных напряжений s описана нормальным не усеченным законом	Q = 6,3 × 10^{-3}

Таб. 1 — Результаты расчета вероятности отказа Q
Tab. 1 — Results of calculation of failures probability

Литература

1. СТО Газпром 2-2.3-184-2007. Методика по расчету и обоснованию коэффициента запаса прочности и устойчивости магистральных газопроводов на стадии эксплуатации и технического обслуживания. Введен с 14.05.2008.
2. Харионовский В.В. Надежность и ресурс конструкций газопроводов. М.: Недра, 2000. 485 с.
3. Барышев С.Н. Вероятностное прогнозирование ресурса нефтегазового оборудования при эксплуатации в сероводородосодержащих средах. М. 2009. 371 с.
4. O'Connor P.D.T., Kleyner A. Practical Reliability Engineering. 5th Ed. John Wiley & Sons, Ltd. 2012. 485 p.
5. Сызранцев В.Н., Новоселов В.В., Созонов П.М., Голофаст С.Л. Оценка безопасности и прочностной надежности магистральных трубопроводов методами непараметрической статистики. Новосибирск: Наука, 2013. 172 с.
6. 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.
7. Филатов А.А., Голофаст С.Л. Проблемы оценки прочностной надежности газопроводов // Газовая промышленность. 2015. №7. С. 45–48.
8. Голофаст С.Л. Проблемы оценки надежности линейной части магистральных трубопроводов // Безопасность труда в промышленности. 2018. №4. С. 36–40.
9. Сызранцев В.Н., Голофаст С.Л. Вероятностная оценка коэффициента запаса прочности трубопровода // Трубопроводный транспорт: теория и практика. 2012. №2. С. 27–29.
10. Bernd Bertsche, Gisbert Lechner. Zuverlässigkeit im Fahrzeug-und Maschinenbau. Springer Berlin Heidelberg, 2004. 495 p.
11. Hollander M., Wolfe D.A., Chicken E. Nonparametric Statistical Methods, John Wiley & Sons, 2014. 844 p.
12. Сызранцев В.Н., Невелев Я.П., Голофаст С. Л. Адаптивные методы восстановления функции плотности распределения вероятности // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2006. №12. С. 3–11.
13. Бирилло И.Н., Яковлев А.Я., Теплинский Ю.А., Быков И.Ю., Воронин. В.Н. Оценка прочностного ресурса газопроводных труб с коррозионными повреждениями. М.: ЦентрЛитНефтеГаз. 2008. 168 с.
14. Сызранцев В.Н., Лысяный К.К., Невелев Я.П., Голофаст С.Л. Исследование механических характеристик трубных сталей 17ГС, 17Г1С, 14ХГС после длительной эксплуатации нефтепроводов // Нефтяное хозяйство. 2008. №3. С. 98–100.
15. Голофаст С.Л. Владова А.Ю., Лободенко И.Ю. Проектирование, разработка и сопровождение информационной системы геотехнического мониторинга магистрального трубопровода // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. 2016 №2. С. 80–87.

UDC 621.643

Assessment of the influence of mechanical properties of 17G1S pipe steel of various manufacturers on the strength reliability of main pipelines

Author:
Sergey L. Golofast — Sc.D., professor; trasser@inbox.ru

"Gazprom-Project" LLC, Saint-Petersburg, Russian Federation

Abstract
The paper presents the results of studies of the mechanical properties of the material of pipes made of 17G1S steel by various manufacturers of tubular products, and an assessment of the influence of these properties on the strength reliability of main pipelines. Results processing of studies for mechanical characteristics of pipe steels and the calculation of the probability of failure-free operation of main pipeline linear sections according to the strength criterion are based on the mathematical apparatus of non-parametric statistics, taking into account the actual distribution laws of the random variables under study.

Materials and methods
Processing of the results of experimental studies of the strength characteristics of pipe steels and the evaluation of the strength reliability of main pipelines linear sections was carried out on the basis of non-parametric statistics methods.

Keywords
Main pipeline, line section, mechanical properties of pipe steels, tensile strength, yield strength, strength reliability, probability of failure-free operation, nonparametric statistics

Results
As a result of experimental studies of samples cut from pipes made of 17G1S steel by various manufacturers, it was found that the limits of dispersion and patterns of change in the pipes material strength characteristics have significant differences. Calculations performed on the basis of experimental data indicate that the random nature and individual laws and distributions of strength characteristics for each grade of pipe steels have a significant influence on the accuracy of estimating the strength reliability of main pipelines linear sections.

Conclusions
Assessment of strength reliability and risk of safe operation of trunk pipelines should be carried out individually for each linear section on the basis of an approach that takes into account actual patterns and limits of changes in the strength characteristics of pipe steels and external load parameters.
To increase the reliability of the results of assessing the strength reliability of linear sections of trunk pipelines, it is necessary to create a database containing statistical information on the strength characteristics of the pipe material, taking into account such factors as the release date, manufacturer, specifications or standards for tubular products, duration and operating conditions.

References

1. STO Gazprom 2-2.3-184-2007. Methods for calculating and justifying the safety factor and stability of the trunk gas pipelines at the stage of operation and maintenance.
2. Kharionovskiy V.V. N*adezhnost' i resurs konstruktsiy gazoprovodov* [Reliability and service life of gas pipeline constructions]. Moscow: Nedra, 2000. 466 p.
3. Baryshev S.N. V*eroyatnostnoe prognozirovanie resursa neftegazovogo oborudovaniya pri ekspluatatsii v serovodorodosoderzhashchikh sredakh* [Probabilistic forecasting of the resource of oil and gas equipment during operation in hydrogen sulfide-containing environments]. Moscow, 2009. 371 p.
4. O'Connor P.D.T., Kleyner A. Practical Reliability Engineering. 5th Ed. John Wiley & Sons, Ltd. 2012. 485 p.
5. Syzrantsev V.N., Novoselov V.V., Sozonov P.M., Golofast S.L. O*tsenka bezopasnosti i prochnostnoy nadezhnosti magistral'nykh truboprovodov metodami neparametricheskoy statistiki* [Assessment of safety and strength reliability of the trunk pipelines using nonparametric statistics]. Novosibirsk: Nauka, 2013. 172 p.
6. Filatov A.A., George M.S. V*liyanie 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 & Technology in the Gas Industry, 2013, issue 2, pp. 75–82.
7. Filatov A.A., Golofast S.L. P*roblemy otsenki prochnostnoy nadezhnosti gazoprovodov* [Problems of assessment of gas pipelines strength reliability]. Gas Industry, 2015, issue 7, pp. 45–48.
8. Golofast S.L. P*roblemy otsenki nadezhnosti lineynoy chasti magistral'nykh truboprovodov* [Problems of reliability assessment for linear part of trunk pipelines]. Occupational Safety in Industry, 2018, № 4, pp. 36–40.
9. Syzrantsev V.N., Golofast S.L. V*eroyatnostnaya otsenka koeffitsienta zapasa prochnosti truboprovoda* [Probabilistic assessment of pipelines factor of safety]. Pipeline Transport: Theory and Practice, 2012, issue 2, pp. 27–29.
10. Bernd Bertsche, Gisbert Lechner. Zuverlässigkeit im Fahrzeug-und Maschinenbau. Springer Berlin Heidelberg, 2004. 495 p.
11. Hollander M., Wolfe D.A., Chicken E. Nonparametric Statistical Methods, John Wiley & Sons, 2014. 844 p.
12. Syzrantsev V.N., Nevelev Ya.P., Golofast S.L. A*daptivnye metody vosstanovleniya funktsii plotnosti raspredeleniya veroyatnosti* [Adaptive methods for recovering the function of density distribution probability]. Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building, 2006, issue 12, pp. 3–11.
13. Birillo I.N., Yakovlev A.Ya., Teplinskiy Yu.A., Bykov I.Yu., Voronin. V.N. O*tsenka prochnostnogo resursa gazoprovodnykh trub s korrozionnymi povrezhdeniyami* [Assessment of the strength resource of gas pipes with corrosion damage]. Moscow: TsentrLitNefteGaz, 2008. 168 p.
14. Syzrantsev V.N., Lysyanyy K.K., Nevelev Ya.P., Golofast S.L. I*ssledovanie mekhanicheskikh kharakteristik trubnykh staley 17GS, 17G1S, 14KHGS posle dlitel'noy ekspluatatsii nefteprovodov* [Calculation of endurance limit characteristics of 17GS, 17G1S, 14KHGS piping steels on the base of the strengths tests]. Oil Indastry, 2008, issue3. pp. 98–100.
15. Golofast S.L. Vladova A.Yu., Lobodenko I.Yu. *Proektirovanie, razrabotka i soprovozhdenie informatsionnoy sistemy geotekhnicheskogo monitoringa magistral'nogo truboprovoda* [Projection, development and maintenance of information system for geo-technical monitoring of transfer pipeline]. Science & Technologies: Oil and Oil Products Pipeline Transportation, 2016, issue 2, pp. 80–87.