

УДК 681.5:658.382

АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ И БЕЗОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ УЧАСТКОВ ТРУБОПРОВОДОВ С КОНИЧЕСКИМ ПЕРЕХОДНИКОМ

Павлова Эухра Хасановна¹,
zpravlova@mail.ru

Азметов Хасан Ахметзиевич¹,
azmetov1939@yandex.ru

Дудников Юрий Владимирович²,
rpn02@rpn.gov.ru

¹ Уфимский государственный нефтяной технический университет,
Россия, 450062, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1.

² Федеральная служба по надзору в сфере природопользования (Росприроднадзора) по Республике Башкортостан,
Россия, 450080, г. Уфа, ул. Менделеева, 148.

Актуальность. Особенности геометрических характеристик конического переходника в системе трубопроводов нефтегазовой отрасли при условии действия внутреннего давления приводят к возникновению достаточно высоких напряжений в сечениях соединения переходника с трубопроводом, в ряде случаев превышающие нормативные значения. Это обуславливает необходимость проведения анализа влияния геометрических характеристик трубопровода и конического переходника, внутреннего давления на уровень напряженно-деформированного состояния сооружения и разработки рекомендаций по обеспечению безопасности эксплуатации трубопроводов с коническим переходником.

Цель исследования: оценка влияния параметров конструкции конического переходника на уровень механических напряжений в трубопроводе и разработка рекомендаций по обеспечению прочности и безопасности участков трубопровода с коническим переходником.

Объект: участок трубопровода с коническим переходником.

Методы: теоретические исследования напряженно-деформированного состояния и безопасности эксплуатации участков трубопровода с коническим переходником в условиях действия внутреннего давления.

Результаты. Выполнена оценка влияния геометрических характеристик труб и конического переходника на уровень напряжений и безопасность эксплуатации трубопровода в условиях действия внутреннего давления. Предложены рекомендации по повышению безопасности участков трубопроводов с коническим переходником.

Выводы. Наличие конических переходников приводит к повышению уровня механических напряжений в стенке трубопровода до 3,3 раза в реальных условиях эксплуатации трубопроводных систем нефтегазовой отрасли. На уровень механических напряжений существенное влияние оказывают отношения толщин стенок трубопровода и конического переходника, угол наклона образующей переходника и давление в полости трубопровода. Повышение запаса прочности и безопасности эксплуатации участков трубопроводов с коническим переходником может быть достигнуто соединением переходника с трубопроводом через прямые вставки, принимая стенки переходника и вставки равными по толщине и обеспечивая при этом запасы прочности трубопровода и переходника на одном уровне.

Ключевые слова:

Трубопровод, конический переходник, напряжения в стенке труб, запас прочности, безопасность.

Введение

Современные трубопроводные системы нефтегазовой отрасли (магистральные нефтепроводы и газопроводы), эксплуатируются в жестком режиме и характеризуются достаточно высоким уровнем механических напряжений [1–4]. Высокие механические напряжения снижают надёжность, безопасность и ресурс сооружения [5–12]. В ряде случаев высокие напряжения становятся причиной повреждения и нарушения герметичности трубопровода с тяжёлыми последствиями для окружающей среды и экономических показателей [13–16]. В конструкциях трубопроводных систем имеются соединения труб разных диаметров, которые выполняются коническим переходником. Длина конических переходников установлена требованиями [17]. При такой установленной длине переходников взаимное влияние напряженно-де-

формированного состояния сечений его соединения с трубопроводом практически отсутствует [18].

О методике исследований

В сечениях соединения трубопровода с коническим переходником под действием внутреннего давления возникают повышенные механические напряжения, что приводит к снижению уровня безопасности.

Анализ напряженно-деформированного состояния сечений соединения переходника с трубопроводом большего и меньшего диаметров проводится каждый отдельно. В коническом переходнике по его длине происходит изменение радиуса. Кроме того, толщины стенок конического переходника и соединяемых через конический переходник труб могут иметь различные значения. Указанные

изменения радиуса и толщин стенок приводят к различным локальным возрастаниям радиуса труб под действием внутреннего давления. На достаточно удалённом расстоянии от сечений соединения переходника с трубопроводом возрастание радиуса ΔR в сечении трубопровода с радиусом R и толщиной стенки δ под действием внутреннего давления p определяется по формуле

$$\Delta R = \frac{pR^2}{\delta E}, \quad (1)$$

где E – модуль упругости металла труб.

Кольцевые напряжения в стенке трубопровода, соответствующие возрастанию радиуса на ΔR , будут равны

$$\sigma_{кц} = \frac{pR}{\delta}. \quad (2)$$

Аналогичные кольцевые напряжения для конического переходника определяются по формуле:

$$\sigma_{кц,к} = \frac{pR}{\delta_k \cos \alpha}, \quad (3)$$

где δ_k – толщина стенки переходника; α – угол наклона образующей переходника.

Кроме того, в сечениях соединения конического переходника с трубопроводом под действием внутреннего давления из-за различных по величине локальных возрастаний радиусов труб и конического переходника происходит местный изгиб стенок труб и конического переходника с возникновением напряжений изгиба в стенке труб $\sigma_{иi}$ и переходника $\sigma_{иk}$ в продольном направлении. Напряжения изгиба в стенке труб $\sigma_{иi}$ вызывают появление кольцевых напряжений $\sigma_{кци}$, определяемых по формуле

$$\sigma_{кци} = -\nu \sigma_{иi}, \quad (4)$$

где ν – коэффициент Пуассона металла труб ($\nu=0,3$ для стали).

Кольцевые напряжения $\sigma_{кц}$ и $\sigma_{кци}$, напряжения изгиба $\sigma_{иi}$ и $\sigma_{иk}$ в сечениях соединения переходника с трубопроводом определяются в зависимости от радиусов труб, соединяемых с коническим переходником, угла наклона переходника, толщин стенок труб и переходника. Для вычисления $\sigma_{кц}$, $\sigma_{кци}$, $\sigma_{иi}$ и $\sigma_{иk}$ воспользуемся расчетными формулами, приведенными в работе [19].

Конические переходники трубопроводов в основном устанавливаются на концевых участках трубопроводов, и поэтому продольные растягивающие напряжения в стенке трубопровода с радиусом R_i , толщиной стенки δ_i от действия внутреннего давления p будут равны

$$\sigma_{прi} = \frac{pR_i}{2\delta_i}. \quad (5)$$

В стенке конического переходника указанные продольные напряжения

$$\sigma_{прki} = \frac{pR_i}{2\delta_k \cos \alpha}. \quad (6)$$

Максимальные суммарные продольные и кольцевые напряжения в стенке труб и переходника в сечениях их соединения вычисляются суммированием составляющих с учётом их знаков (растягивающие со знаком «плюс» и сжимающие со знаком «минус»). Для трубопроводов большего или меньшего диаметров максимальные кольцевые напряжения вычисляются суммированием напряжений $\sigma_{кцi}$ и $\sigma_{кци}$, а наибольшие суммарные продольные напряжения – суммированием напряжений $\sigma_{иi}$, $\sigma_{прi}$. Для конических переходников наибольшие кольцевые напряжения определяются суммированием напряжений $\sigma_{кциk}$, $\sigma_{кциki}$, а наибольшие продольные напряжения – суммированием напряжений $\sigma_{прki}$ и $\sigma_{иki}$. Здесь $\sigma_{кциki}$ определяются по (4), где $\sigma_{иi}$ равно величине $\sigma_{иki}$.

Таким образом, наибольшие суммарные кольцевые $\sigma_{кци}$ и продольные $\sigma_{прci}$ напряжения в трубопроводах большего и меньшего диаметров в сечениях их соединения с коническим переходником с учётом (1), (3), (5) и (6) определяются по формулам:

$$\sigma_{кциci} = \sigma_{кци} \bar{\sigma}_{кциTi}, \quad (7)$$

$$\sigma_{прci} = \sigma_{кци} \bar{\sigma}_{прiTi}. \quad (8)$$

Наибольшие суммарные кольцевые $\sigma_{кци}$ и продольные $\sigma_{прci}$ напряжения в коническом переходнике в сечениях его соединения с трубопроводом определяются по формулам:

$$\sigma_{кциcki} = \sigma_{кци} \bar{\sigma}_{кциcki}, \quad (9)$$

$$\sigma_{прcki} = \sigma_{кци} \bar{\sigma}_{прcki}. \quad (10)$$

В сечениях соединения переходника с трубопроводом стенки труб и переходника подвергаются одновременно воздействию кольцевых и продольных напряжений. Поэтому проверку прочности и безопасности трубопровода следует производить по энергетической теории прочности с определением эквивалентных напряжений. Наибольшие эквивалентные напряжения в стенке труб в сечениях соединения с переходником определяются по формуле

$$\sigma_{эквм \xi i} = \sigma_{кци} \bar{\sigma}_{эквм \xi i}. \quad (11)$$

Здесь

$$\bar{\sigma}_{эквм \xi i} = [\bar{\sigma}_{кци \xi}^2 + \bar{\sigma}_{пр \xi}^2 + \bar{\sigma}_{кци \xi} \bar{\sigma}_{пр \xi}]^{0,5}, \quad (12)$$

индекс « ξ » обозначает «т», когда параметры напряжений относятся к трубопроводу, или «к», когда параметры напряжений относятся к переходнику.

В аналитических выражениях (7)–(12) $\sigma_{кци,i}$ определяется по (2) для соответствующих значений R и δ , $\bar{\sigma}_{кци,с,Тi}$, $\bar{\sigma}_{пр,с,Тi}$, $\bar{\sigma}_{кци,с,ki}$, $\bar{\sigma}_{пр,с,ki}$, $\bar{\sigma}_{экв,м,\xi i}$ и являются безразмерными параметрами напряжений, определяемыми в зависимости от отношений

$\frac{\delta_k}{\delta_i}$, $\frac{R_i}{\delta_i}$ и угла наклона образующей переходника

α . Анализ расчетных формул (7)–(12) показывает, что закономерности изменений наибольших кольцевых, продольных и эквивалентных напряже-

ний в стенке труб и переходника от их геометрических характеристик могут быть установлены на основе исследования вышеуказанных безразмерных параметров напряжений. Такие исследования носят общий характер, независимый от конкретных значений радиусов труб, толщин стенок переходников и труб.

Одним из основных показателей безопасности трубопроводов является уровень запасов прочности. Известными исследованиями установлено, что достижение повышения запасов прочности снижает интенсивность и риск аварии [5, 20]. Закономерности изменений запасов прочности от внутреннего давления, геометрических характеристик труб и переходника, свойств их металла характеризуют закономерности изменений риска аварий от указанных исходных данных. Запас прочности по пределу прочности n_b принимается в интервале 1,7...2,5, а по пределу текучести n_T – в интервале 1,2...2,0.

Таким образом, с использованием безразмерных параметров напряжений для определения запасов прочности имеем:

$$n_{vi} = \frac{\bar{\sigma}_{vi}}{\bar{\sigma}_j}; \quad (13)$$

$$n_{Ti} = \frac{\bar{\sigma}_{Ti}}{\bar{\sigma}_j}, \quad (14)$$

где

$$\bar{\sigma}_{vi} = \frac{\sigma_v \delta_i}{pR_i}; \quad (15)$$

$$\bar{\sigma}_{Ti} = \frac{\sigma_T \delta_i}{pR_i}. \quad (16)$$

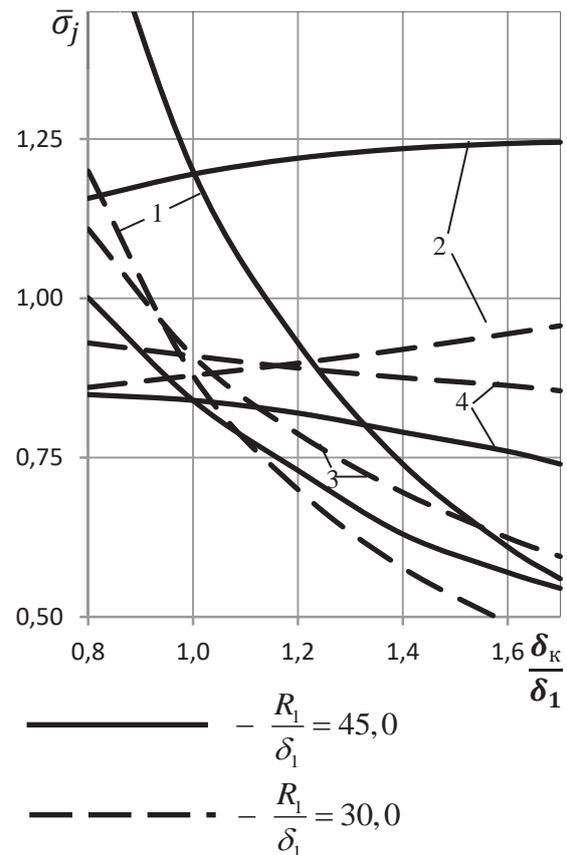
В аналитических выражениях (13)–(16) σ_v – предел прочности и σ_T – предел текучести металла труб; $\bar{\sigma}_j$ обозначает $\bar{\sigma}_{кц,с,г}$, $\bar{\sigma}_{пр,с,г}$ или $\bar{\sigma}_{экв,м,г}$, а n_{vj} , n_{Tj} – запасы прочности по пределу прочности и пределу текучести при соответствующих кольцевых, продольных и эквивалентных напряжениях.

Анализ влияния геометрических характеристик труб и конического переходника на уровень механических напряжений

Проведем анализ напряженного состояния и безопасности трубопроводов с определением наибольших напряжений для некоторых конкретных исходных данных.

На рис. 1 приведены графические зависимости безразмерных параметров напряжений $\bar{\sigma}_{кцсТ1}$, $\bar{\sigma}_{прсТ1}$, $\bar{\sigma}_{кцсК1}$ и $\bar{\sigma}_{прсК1}$ от отношения между толщинами стенок $\frac{\delta_K}{\delta_1}$ при угле наклона конуса 10 град,

$\frac{R_1}{\delta_1} = 30,0$ и $\frac{R_1}{\delta_1} = 45,0$ (R_1 , δ_1 – радиус и толщина стенки трубопровода большего диаметра).



1 – $\bar{\sigma}_{прсТ1}$; 2 – $\bar{\sigma}_{прсК1}$; 3 – $\bar{\sigma}_{кцсТ1}$; 4 – $\bar{\sigma}_{кцсК1}$

Рис. 1. Графические зависимости параметров напряжений от отношения толщин стенок конического переходника и трубопровода

Fig. 1. Graphical dependences of the stress parameters on the ratio of wall thicknesses of the conical adapter and the pipeline

Изменение $\frac{\delta_K}{\delta_1}$ приводит к существенному изменению параметров напряжений. Увеличение отношения $\frac{\delta_K}{\delta_1}$ приводит в целом к снижениям параметров

$\bar{\sigma}_{кцсТ1}$, $\bar{\sigma}_{кцсК1}$ и $\bar{\sigma}_{прсК1}$ и, соответственно, к снижениям напряжений $\sigma_{кцс1}$, $\sigma_{кцсК1}$ и $\sigma_{прсК1}$ при неизменном значении δ_1 . Параметр $\bar{\sigma}_{прсТ1}$ для анализируемых вариантов с увеличением $\frac{\delta_K}{\delta_1}$ несколько

повышается, что вызвано повышением локального изгибающего момента с увеличением разности толщин стенок соединяемых между собой трубопровода и конического переходника.

На рис. 2 даны графические зависимости напряжений $\sigma_{кцсТ1}$, $\sigma_{прсТ1}$, $\sigma_{кцсК1}$ и $\sigma_{прсК1}$ от отношения $\frac{\delta_K}{\delta_1}$ при давлении $p=4,0$ МПа в полости трубопровода с радиусом $R_1=50,4$ см и толщиной стенки $\delta_1=1,1$ см.

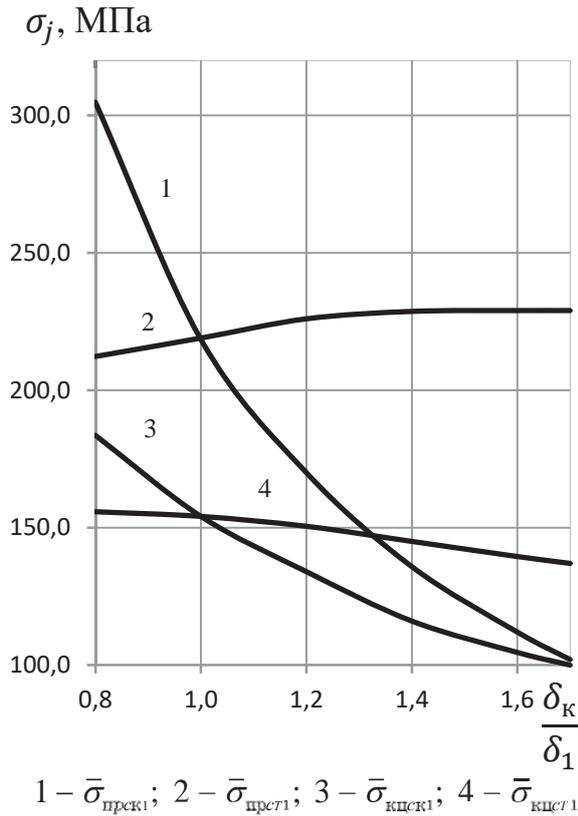


Рис. 2. Графические зависимости напряжений $\sigma_{\text{прск1}}$, $\sigma_{\text{прct1}}$, $\sigma_{\text{кцск1}}$ и $\sigma_{\text{кцct1}}$ от $\frac{\delta_k}{\delta_1}$ при рабочем давлении $p=4,0$ МПа

Fig. 2. Graphical dependences of tensions $\sigma_{\text{прск1}}$, $\sigma_{\text{прct1}}$, $\sigma_{\text{кцск1}}$ and $\sigma_{\text{кцct1}}$ on $\frac{\delta_k}{\delta_1}$ at operating pressure $p=4,0$ МПа

С уменьшением $\frac{\delta_k}{\delta_1}$, как видно из рис. 2, происходит увеличение напряжений $\bar{\sigma}_{\text{кцct1}}$, $\bar{\sigma}_{\text{кцск1}}$, $\bar{\sigma}_{\text{пр.с.к1}}$ и незначительное снижение $\bar{\sigma}_{\text{прct1}}$. Кольцевое напряжение на достаточно протяженном участке без конического переходника для рассматриваемого трубопровода при $p=4,0$ МПа равно 183,5 МПа, а продольное – 91,7 МПа.

На рис. 3 приведены графические зависимости запасов прочности $n_{\text{вТ1}}$ и $n_{\text{тТ1}}$, вычисленные по (13) и (14), от внутреннего давления p для сечения соединения трубопровода (с радиусом $R_1=50,45$ см, толщиной стенки $\delta_1=1,1$ см) и конического переходника при $\frac{\delta_k}{\delta_1}=1,0$ и $\frac{\delta_k}{\delta_1}=1,25$, угле наклона $\alpha=10$ град.

Металл трубы и конического переходника имеет предел прочности $\sigma_b=550,0$ МПа и предел текучести $\sigma_t=450,0$ МПа. При вычислениях запасов прочности параметр $\bar{\sigma}_j$ обозначает $\bar{\sigma}_{\text{эквТ1}}$, который вычислен по (12). При $\frac{\delta_k}{\delta_1}=1,0$ с увеличением вну-

треннего давления от 4,0 до 5,0 МПа запас прочности снижается в 1,25 раза. Вместе с тем увеличение $\frac{\delta_k}{\delta_1}$ от 1,0 до 1,25 для рассматриваемых вариантов на значения запасов прочности существенно не влияет.

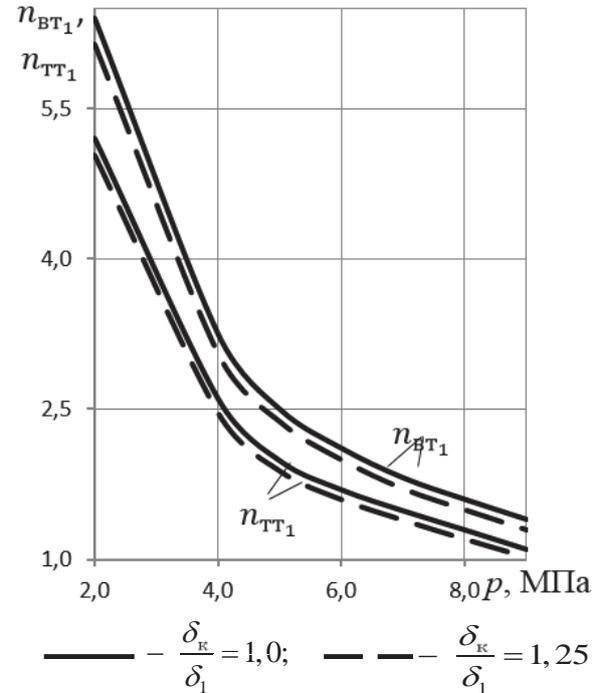


Рис. 3. Графические зависимости запасов прочности конического переходника трубопровода от внутреннего давления

Fig. 3. Graphic dependences of margins of safety of the pipeline conical transition on internal pressure

На рис. 4 приведены графические зависимости безразмерных параметров напряжений $\bar{\sigma}_{\text{кцct1}}$ и $\bar{\sigma}_{\text{прct1}}$ от угла наклона α образующей конического переходника при разных значениях $\frac{\delta_k}{\delta_1}$. Увеличение угла α для анализируемых вариантов приводит к снижению параметра кольцевых напряжений $\bar{\sigma}_{\text{кцct1}}$ и повышению параметра продольных напряжений $\bar{\sigma}_{\text{прct1}}$.

При значениях $\frac{\delta_k}{\delta_1}$, равных 1,25, параметры $\bar{\sigma}_{\text{кцct1}}$ и $\bar{\sigma}_{\text{прct1}}$ больше, чем при $\frac{\delta_k}{\delta_1}=1,0$. Расчеты показали, что в области малых значений угла α влияние изменения величины $\frac{\delta_k}{\delta_1}$ на параметры $\bar{\sigma}_{\text{кцct1}}$ и $\bar{\sigma}_{\text{прct1}}$, уровень напряжённого состояния, запасы прочности и безопасность сооружения более существенны.

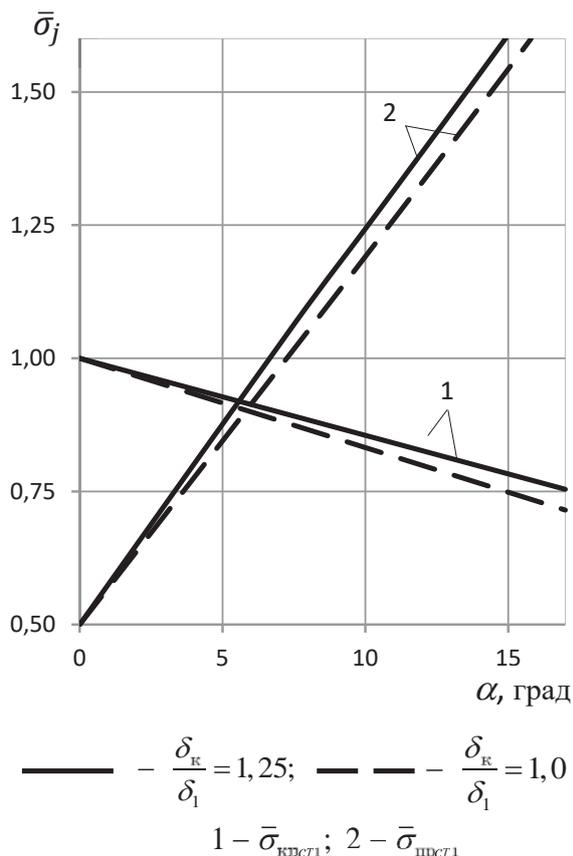


Рис. 4. Графические зависимости $\bar{\sigma}_{кст1}$, $\bar{\sigma}_{прст1}$ от угла наклона образующей переходника

Fig. 4. Graphical dependences of $\bar{\sigma}_{kst1}$, $\bar{\sigma}_{prst1}$ on the adapter inclination angle

Сопоставление и обсуждение результатов исследований

Проведем анализ полученных результатов исследований. Сопоставление результатов исследований показывает, что на участке с коническим переходником для анализируемых вариантов по сравнению с участком с постоянным радиусом продольные напряжения повышаются до 3,3 раза. Кольцевые напряжения равны или меньше на участке с коническим переходником по сравнению с участком с постоянным радиусом поперечному сечению трубы, т. е. с участком, где отсутствует переходник. Увеличение внутреннего давления значительно снижает запас прочности и безопасность трубопровода. Проведена оценка влияния конических переходников на ресурс трубопроводной системы, оцениваемого числом пусков-остановок работы трубопровода до разрушения его участ-

ка с коническим переходником, по формулам Мэнсона, приведенным в работе [21]. Наличие конических переходников повышает уровень напряжений, снижает ресурс и безопасность трубопроводной системы в целом. При этом значения внутреннего давления p , отношения $\frac{\delta_k}{\delta_1}$, угла α и их изменения существенно влияют на ресурс. Так, например, при $R_1=50,45$ см, толщине стенки $\delta_1=1,1$ см, $\alpha=10$ град, $\sigma_s=550,0$ МПа, $p=5,0$ МПа изменение $\frac{\delta_k}{\delta_1}$ от 1,0 до 1,25 снижает ресурс в 1,3 раза. Для указанных исходных данных повышение рабочего давления p от 5,0 до 6,0 МПа при $\frac{\delta_k}{\delta_1}=1,0$ снижает ресурс до 3,9 раза. При уменьшении угла α от 10 до 7,5 град ($p=4,0$ МПа, $\frac{\delta_k}{\delta_1}=1,25$) происходит повышение числа циклов до разрушения, т. е. ресурса, до 2,0 раза.

В целом анализ показывает, что с целью повышения прочности и уровня безопасности участков трубопровода с коническим переходником следует предусмотреть соединение переходника с трубопроводом через прямые вставки, а стенки переходника и вставок принять равными по толщине, обеспечивая при этом на одном уровне запасы прочности трубопровода и переходника.

Заключение

Выполнен анализ напряженно-деформированного состояния и безопасности эксплуатации участков трубопроводов с коническим переходником. Проведена оценка влияния геометрических характеристик труб и конического переходника, механических свойств их металла и значений внутреннего давления на уровень напряжений и безопасность эксплуатации трубопроводов. Установлено, что наличие переходника существенно повышает уровень напряжений в трубопроводе и снижает безопасность сооружения.

Даны рекомендации по повышению прочности и безопасности эксплуатации участков трубопроводов с коническим переходником, заключающиеся в том, что соединение переходника с трубопроводом следует осуществлять через прямую вставку толщиной стенки, равной толщине стенки переходника, с целью обеспечения равных запасов прочности трубопровода и переходника.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Азметов Х.А., Павлова З.Х. Определение продольных усилий в подземном действующем трубопроводе в условиях его продольно-поперечного изгиба // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефте- и нефтепродуктов. – 2014. – Вып. 1 (95). – С. 30–36.
2. Мазур И.И., Иванцов О.М. Безопасность трубопроводных систем. – М.: НК «Елима», 2004. – 104 с.
3. Павлова З.Х. Исследование напряженно-деформированного состояния труб магистральных нефтепроводов в условиях изменений технологического режима перекачки // Нефтегазовое дело. – 2014. – № 1. – Т. 12. – С. 91–96.
4. Исследование напряженного состояния сварных тройниковых соединений действующих нефтепродуктопроводов / В.В. Ерофеев, Р.Г. Шарафиев, Р.А. Гильманшин, А.А. Альмухаметов, И.Р. Сагадеев, Р.Р. Макулов, И.З. Тимергалиев // Строительство и эксплуатация нефтегазопроводов, баз и хранилищ. – 2017. – № 2. – С. 91–103.
5. Махутов Н.А., Пермяков В.Н. Ресурс безопасной эксплуатации сосудов и трубопроводов. – Новосибирск: Изд-во «Наука», 2005. – 516 с.
6. True W. Pipeline safety progress noted at API pipeline conference // Oil & Gas Journal. – 2002. – V. 100. – № 18. – P. 38–40.
7. Unpiggable oil and gas pipeline condition forecasting models / M.S.A. El-Abbasy, A.B. Senouci, T.A. Zayed, L.A. Parvizesedghy, F.A. Mirahadi // Journal of Performance of Constructed Facilities. – 1 February 2016. – V. 30. – Iss. 1. – P. 130–135.
8. Pettitt G.A., Pennicott P.B. Use of bowties for pipeline safety management // 11th International Pipeline Conference: Proc. of the Biennial International Pipeline Conference. IPC. – Calgary, Canada, 2016. – V. 2. – P. 81–89.
9. Development and implementation of a risk based prioritization methodology for maop reconfirmation of gas transmission facilities / W.A. Sloterdijk, M.A. Hommes, R.A. Coster, T.B. Rovella, S.C. Herbison // 11th International Pipeline Conference: Proc. of the Biennial International Pipeline Conference. IPC. – Calgary, Canada, 2016. – V. 1. – P. 244–253.
10. Weichel M. Use of field-owned risk registers as a means of improving employee awareness of risk and operational safety // 10th International Pipeline Conference, IPC 2014: Proc. of the Biennial International Pipeline Conference, IPC. – Calgary, Canada, 2014. – V. 3. – P. 231–236.
11. Saleem O., Kovach S. Facility risk profile: a methodology of putting various risk assessment information to work // The Journey Continues: SPE International Conference on Health, Safety and Environment 2014. – Long Beach, CA; United State, 2014. – V. 2. – P. 703–706.
12. Гумеров К.М., Ракова Л.Н., Сильвестров С.А. Изменение механических свойств сварных элементов магистральных трубопроводов при длительной эксплуатации // Современные проблемы сварочного производства: сб. науч. тр. / под ред. М.А. Иванова, И.А. Ильина. – Челябинск: ИЦЮУрГУ, 2016. – С. 83–90.
13. Обеспечение безопасной эксплуатации магистральных нефте- и нефтепродуктопроводов оптимальным размещением линейной запорной арматуры / А.Г. Гумеров, Х.А. Азметов, Н.В. Григорьева, З.Х. Павлова // Безопасность жизнедеятельности. – 2008. – № 3. – С. 44–46.
14. Probabilistic performance assessment of fiber optic leak detection systems / A.A. Aljaroudi, F.A. Khan, A.B. Akinturk, M.A. Haddara // Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering. – April 01, 2016. – V. 138. – Iss. 2. – P. 21–27.
15. Wang R.A., Tong S.B. Research on damage assessment of corroded oil and gas pipelines based on fracture mechanics // 5th International Conference on Electrical Engineering and Automatic Control, CEEAC 2008. – Mexico City, Mexico, 2016. – V. 367. – P. 751–758.
16. Shaik M.R. Pipeline integrity assessment-methodology // ASME 2015 India International Oil and Gas Pipeline Conference, IOGPC 2015. – New Delhi, India, 2015. – V. 1. – P. 35–43.
17. СП 36.13330.2012. Магистральные трубопроводы. – М.: Госстрой, 2013. – 99 с.
18. Федосеев В.И. Сопротивление материалов. – М.: Наука, 1970. – 544 с.
19. Бородавкин П.П., Синюков А.М. Прочность магистральных трубопроводов. – М.: Недра, 1984. – 245 с.
20. Дефектность труб нефтепроводов и методы их ремонта / А.Г. Гумеров, К.М. Ямалеев, Р.С. Гумеров, Х.А. Азметов. – М.: Недра, 1998. – 252 с.
21. Биргер И.А., Мавлютов Р.Р. Сопротивление материалов. – М.: Недра, 1986. – 560 с.

Поступила 30.03.2018 г.

Информация об авторах

Павлова З.Х., доктор технических наук, профессор кафедры электротехники и электрооборудования предприятий Уфимского государственного нефтяного технического университета.

Азметов Х.А., доктор технических наук, профессор кафедры сооружения и ремонта газонефтепроводов и газонетехранилищ Уфимского государственного нефтяного технического университета.

Дудников Ю.В., доктор технических наук, руководитель управления Федеральной службы по надзору в сфере природопользования (Росприроднадзора) по Республике Башкортостан.

UDC 681.5:658.382

ANALYSIS OF STRESS-STRAIN STATE AND SAFE EXPLOITATION OF PIPELINE SECTION WITH A CONIC ADAPTER

Zukhra Kh. Pavlova¹,

zpavlova@mail.ru

Khasan A. Azmetov¹,

azmetov1939@yandex.ru

Yuriy V. Dudnikov²,

rpn02@rpn.gov.ru

¹ Ufa State Petroleum Technological University,
1, Kosmonavtov street, Ufa, 450062, Russia.

² Department of Federal Service for Supervision of the Use of Natural Resources in the Republic of Bashkortostan,
148, Mendeleev street, Ufa, 450080, Russia.

The relevance. The features of conical adapter geometric characteristics in oil and gas industry pipeline system under the condition of internal pressure action lead to the appearance of sufficiently high stresses in the sections of connection of an adapter with a pipeline, in some cases exceeding the normative values. This makes it necessary to analyze the influence of the geometric characteristics of the pipeline and the conical adapter, the internal pressure on the level of strained-deformed state of the structure, and develop a proposal for recommendations on ensuring the safety of operation of pipelines with a conical adapter.

The main aim of the research is the evaluation of the effect of the conical adapter design parameters on the level of mechanical stresses in the pipeline and the development of recommendations for ensuring the strength and safety of pipeline sections with a conical adapter.

Object of the research is the section of the pipeline with a conical adapter.

Methods of the research are the theoretical studies of the stress-strain state and exploitation safety of pipeline sections with a conical adapter under conditions of internal pressure.

Results. The authors have evaluated the effect of the geometric characteristics of the pipes and the conical adapter on the stress level and the exploitation safety of the pipeline under the effect of internal pressure and proposed the recommendations for improving the safety of sections of pipelines with a conical adapter.

Conclusions. The presence of conical adapters results in increasing level of pipeline wall mechanical stresses up to 3,3 times in the real operating conditions of oil and gas pipeline systems industry. The level of mechanical stresses is significantly influenced by the ratio of the thickness of the walls of the pipeline and the conical adapter, generatrix adapter inclination angle and the pipeline cavity pressure. Increasing the safety margin and safety of operation of pipeline sections with a tapered adapter can be achieved by connecting the adapter with the pipeline through straight inserts, taking the walls of the adapter and inserts equal in thickness, while ensuring the strength of the pipeline and the adapter at the same level.

Key words:

Pipeline, conical adapter, stress in a wall of pipes, margin of safety, safety.

REFERENCES

1. Azmetov Kh.A., Pavlova Z.Kh. Longitudinal force in underground pipelines under the longitudinal and transverse bending during operation. *Problems of gathering, treatment and transportation of oil and oil products*, 2014, Iss. 1 (95), pp. 30–36. In Rus.
2. Mazur I.I., Ivantsov O.M. *Bezopasnostruboprovodnykhsistem* [Safety of pipeline systems]. Moscow, Elima Publ., 2004. 104 p.
3. Pavlova Z.Kh. Study of the stress-strain state of trunk oil pipelines in conditions of changes in the technological pumping regime. *Oil and gas business*, 2014. no. 1, pp. 91–96. In Rus.
4. Erofeev V.V., Sharafiev R.G., Gilmanshin R.A., Almuhametov A.A., Sagadeev I.R., Makulov R.R., Timergaliev I.Z. Investigation of the stressed state of welded tee connections of existing oil product pipelines. *Construction and operation of oil and gas pipelines, bases and storage facilities*, 2017, no. 2, pp. 91–103. In Rus.
5. Mahutov N.A., Permyakov V.N. *Resurs bezopasnoyekspluatatsii-sosudovitruboprovodov* [The resource of safe operation of vessels and pipelines]. Novosibirsk, Nauka Publ., 2005. 516 p.
6. True W. Pipeline safety progress noted at API pipeline conference. *Oil & Gas Journal*, 2002, vol. 100, no. 18, pp. 38–40.
7. El-Abbasy M.S.A., Senouci A.B., Zayed T.A., Parvizsedghy L.A., Mirahadi F.A. Unpiggable oil and gas pipeline condition forecasting models. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 1 February 2016, vol. 30, Iss.1, pp. 130–135.
8. Pettitt G.A., Pennicott P.B. Use of bowties for pipeline safety management. *11th International Pipeline Conference: Proc. of the Biennial International Pipeline Conference, IPC*. Calgary, Canada, 2016. Vol. 2, pp. 81–89.
9. Sloterdijk W.A., Hommes M.A., Coster R.A., Rovella T.B., Herbison S.C. Development and implementation of a risk based prioritization methodology for maop reconfirmation of gas transmission facilities. *11th International Pipeline Conference: Proc. of the Biennial International Pipeline Conference, IPC*. Calgary, Canada, 2016. Vol. 1, pp. 244–253.
10. Weichel M. Use of field-owned risk registers as a means of improving employee awareness of risk and operational safety. *10th International Pipeline Conference, IPC 2014: Proc. of the Biennial International Pipeline Conference, IPC*. Calgary, Canada, 2014. Vol. 3, pp. 231–236.
11. Saleem O., Kovach S. Facility risk profile: a methodology of putting various risk assessment information to work. *The Journey*

- Continues. SPE International Conference on Health, Safety and Environment 2014*. Long Beach, CA, United State, 2014. Vol. 2, pp. 703–706.
12. Gumerov K.M., Rakova L.N., Silvestrov S.A. Izmenenie mekhanicheskikh svoystv svarnykh elementov magistralnykh truboprovodov pri dlitelnoy ekspluatatsii [Change in mechanical features of welding elements in pipelines at long-term operation]. *Sovremennye problemy svarochnogo proizvodstva* [Current welding problems]. Eds. M.A. Ivanov, I.A. Ilyin. Chelyabinsk, SUSUPubl. Center, 2016. pp. 83–90.
 13. Gumerov A.G., Azmetov H.A., Grigoreva N.V., Pavlova Z.H. Maintenance of safe operation of the main oil and oil product pipelines by the optimal placement of the linear stop valves. *Safety of vital activity*, 2008, no. 3. pp. 44–46. In Rus.
 14. Aljaroudi A.A., Khan F.A., Akinturk A.B., Haddara M.A. Probabilistic performance assessment of fiber optic leak detection systems. *Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, April 01, 2016, vol. 138, Iss. 2, pp. 21–27.
 15. Wang R.A., Tong S.B. Research on damage assessment of corroded oil and gas pipelines based on fracture mechanics. *5th International Conference on Electrical Engineering and Automatic Control, CEEAC 2008*. Mexico City, Mexico, 2016. Vol. 367, pp. 751–758.
 16. Shaik M.R. Pipeline integrity assessment methodology. *ASME 2015 India International Oil and Gas Pipeline Conference, IOGPC 2015*. New Delhi, India, 2015. Vol. 1, pp. 35–43.
 17. SP 36.13330.2012. *Magistralnye truboprovody* [Trunk pipelines]. Moscow, Gosstroj, 2013. 99 p.
 18. Feodosev V.I. *Soprotivlenie materialov* [Strength of materials]. Moscow, Nauka Publ., 1970. 544 p.
 19. Borodavkin P.P., Sinyukov A.M. *Prochnost magistralnykh truboprovodov* [Strength of main pipelines]. Moscow, Nedra Publ., 1984. 245 p.
 20. Gumerov A.G., Yamaleev K.M., Gumerov R.S., Azmetov Kh.A. *Defektnost trub nefteprovodov i metody ikh remonta* [Defectiveness of oil pipelines and methods of their repair]. Moscow, Nedra Publ., 1998. 252 p.
 21. Birger I.A., Mavlyutov R.R. *Soprotivlenie materialov* [Resistance of materials]. Moscow, Nedra Publ., 1986. 560 p.

Received: 30 March 2018.

Information about the authors

Zukhra Kh. Pavlova, Dr. Sc., professor, Ufa State Petroleum Technological University.

Khasan A. Azmetov, Dr. Sc., professor, Ufa State Petroleum Technological University.

Yuriy V. Dudnikov, Dr. Sc., Department of Federal Service for Supervision of the Use of Natural Resources in the Republic of Bashkortostan.