

Проектирование, сооружение и эксплуатация систем трубопроводного транспорта

Designing, construction and operation of pipeline transport system

25.00.19 Строительство и эксплуатация нефтегазопроводов, баз и хранилищ
(технические науки)

УДК 622.692.4

DOI: 10.31660/0445-0108-2022-1-67-80

Определение предельных смещений металлического сборно-разборного трубопровода относительно его начального положения

М. Н. Захаров, Д. С. Мартынов*

*Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана
(национальный исследовательский университет), Москва, Россия*
*martynovds@bmstu.ru

Аннотация. В настоящее время широкое распространение получили специальные нефтяные трубопроводы, выполненные по технологии конусно-раструбного соединения. Однако поведение данных трубопроводов под действием силовых факторов все еще плохо изучено. Кроме того, отсутствуют данные, позволяющие оценить пригодность использования трубопровода после воздействия на него этих силовых факторов. Целью данной работы является определение таких предельных смещений трубопровода относительно его начального положения, при которых данный трубопровод все еще будет считаться пригодным для его дальнейшей эксплуатации. Для этого в работе используются методы по определению эквивалентной модели конусно-раструбного соединения, расчета контактных напряжений. Результатом данной работы являются данные по значению предельных допустимых поперечных смещений трубопровода в зависимости от числа составных его элементов, до наступления которых трубопровод все еще считается пригодным к дальнейшему его использованию. Полученные результаты позволят оценивать работоспособность трубопровода и производить его ремонт или замену.

Ключевые слова: трубопровод, конус, раструб, смещение

Для цитирования: Захаров, М. Н. Определение предельных смещений металлического сборно-разборного трубопровода относительно его начального положения / М. Н. Захаров, Д. С. Мартынов. – DOI 10.31660/0445-0108-2022-1-67-80 // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2022. – № 1. – С. 67–80.

The estimation of the metal collapsible pipeline limit displacements from its zero position

Mikhail N. Zakharov, Dmitry S. Martynov*

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia
*martynovds@bmstu.ru

Abstract. These days special oil pipelines, which are made with the cone-socket connection technology, are widely used. However, it is still not clear how these pipelines react under the influence of forces. Also, there is no data, which could be used to estimate the possibility of pipeline usage after the impact of these forces. The main idea of this article is to find such limit displacements from the pipeline zero position, which would ensure the possibility of the pipeline usage in future. In such case this article uses the methods for finding the equivalent model of the cone-socket connection and estimating the values of contact stresses. The result described in the article provides limit transverse displacements data by the number of the linked joints, which ensure the possibility of the pipeline usage in future, if they are not reached during the operation. The results provided in this article will enable to estimate the oil pipeline performance, repair and replacement.

Keywords: pipeline, cone, flare, displacement

For citation: Zakharov, M. N., & Martynov, D. S. (2022). The estimation of the metal collapsible pipeline limit displacements from its zero position. *Oil and Gas Studies*, (1), pp. 67-80. (In Russian). DOI: 10.31660/0445-0108-2022-1-67-80

Введение

Для оперативной транспортировки нефти и нефтепродуктов широко применяются сборно-разборные металлические трубопроводы, которые могут быть изготовлены и собраны с помощью разнообразных методов [1]. У каждого из методов есть свои преимущества и недостатки. Основным недостатком широко применяемых фланцевых соединений является отсутствие подвижности трубопровода, что затрудняет его прокладку на местности [2]. Используемые трубопроводы с грувлочным соединением составных элементов имеют высокие показатели герметичности и большую подвижность. Однако в качестве недостатка следует отметить сложность монтажа такого трубопровода. При чрезмерной затяжке креплений соединительных элементов трубопровода возможно образование дефектов, а слабая затяжка может привести к потере трубопроводом герметичности, которая будет выявлена только в ходе его испытания [3, 4]. Необходимость тщательного контроля прокладки трубопроводов таких типов увеличивает затраты нефтепромысловых предприятий [5].

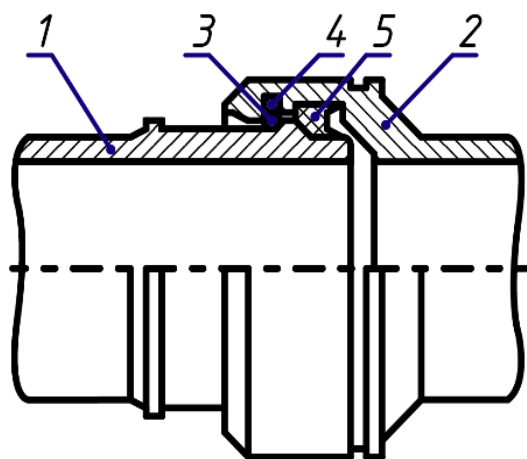


Рис. 1. Схема раструбного соединения

Описанных выше недостатков лишены трубопроводы, изготовленные по модульной технологии, примером которых служат металлические сборно-разборные трубопроводы (МСРТ), по которым можно осуществлять транспортировку воды, нефти и нефтепродуктов, а также других жидких материалов [6]. Конструкции этих трубопроводов обеспечивают высокую герметичность при больших внутренних давлениях, а также высокую скорость и простоту монтажа и демонтажа из-за специального конусно-раструбного соединения, устройство которого изображено на рисунке 1 [7].

Рассматриваемое разъемное соединение включает в себя два основных составных компонента: конусную часть (1) и раструбную часть (2). Каждая из этих частей последовательно фиксируется с несущей частью трубопровода определенной длины. При формировании сопряжения конусная часть устанавливается в раструбную часть, в результате чего запорное кольцо (3), имеющее с одного конца сквозную прорезь, начинает испытывать упругие деформации и раскрываться, упираясь своим телом в микропористое уплотнительное кольцо (4). При достижении конусной частью конечного положения запорное кольцо смыкается, что приводит к образованию надежного и прочного соединения элементов трубопровода между собой. Вместе с тем герметичность сопряжения обеспечивается наличием в кольцевой проточке резинового уплотнения (5). При необходимости разбора конусно-раструбного соединения используется специальный механический ключ. Существует два основных типа конусно-раструбного соединения. Первый тип соединения — механическое конусно-раструбное соединение, получаемое за счет запрессовки конусной части трубопровода в раструбную часть [8–10]. Второй тип — быстроразъемное конусно-раструбное соединение, относящееся к виду МСРТ трубопроводов. Все рассуждения и вычисления в данной работе применимы только к быстроразъемному конусно-раструбному соединению.

Использование МСРТ предполагает быструю сборку трубопровода на местности. При этом состав грунта и рельеф местности могут оказывать существенное влияние на его дальнейшую эксплуатацию. Например, сухая, редко подверженная климатическим изменениям почва имеет гораздо меньшую подвижность, нежели илистая почва. Трубопровод, проложенный по болотистой, нередко заводненной местности, а иногда даже и по береговым линиям и водным поверхностям рек, с большой вероятностью будет испытывать смещения в поперечном направлении (рис. 2) [11]. Также не стоит исключать возможности возникновения различных форс-мажорных ситуаций. Тот же самый трубопровод МСРТ может быть задет, либо смещен на некоторое расстояние сельскохозяйственной техникой (рис. 3). При этом возникновение как природных, так и техногенных происшествий ставит под сомнение дальнейшее использование проложенного на местности трубопровода. Целью данного исследования является определение таких предельных смещений трубопровода МСРТ относительно его начального положения, при которых данный трубопровод все еще будет считаться пригодным для его дальнейшей эксплуатации. В качестве задач этого исследования можно выделить следующие:

- разработка модели поведения конусно-раструбного соединения при изгибе трубопровода;

- составление расчетной схемы метода конечных элементов (МКЭ) для определения эквивалентных напряжений в теле трубы и контактных напряжений между раструбной и конусной частью и запорным кольцом МСРТ;
- выбор критерия работоспособности и определение допускаемых смещений трубопровода.

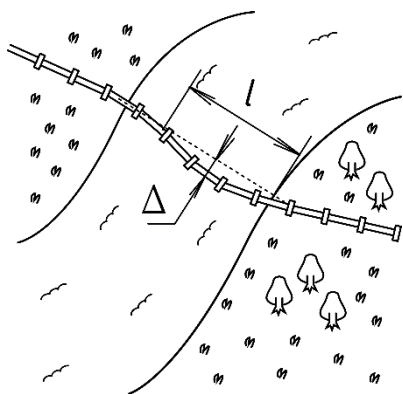


Рис. 2. Смещение трубопровода МСРТ под действием течения реки

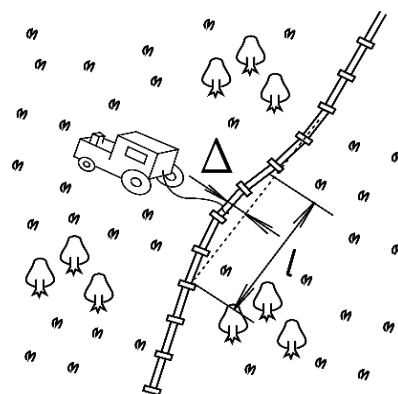


Рис. 3. Смещение трубопровода МСРТ сельскохозяйственной техникой

Объект и методы исследования

Предположим, что конусно-раструбное соединение оказалось подверженным изгибающему моменту M . В таком случае под действием приложенной нагрузки возникает осевой перекос конусной части МСРТ относительно раструбной части. В результате этого между деталями возникает контактное взаимодействие. Схематичное изображение действующих контактных нагрузок, их наиболее вероятное положение и направление представлены на рисунке 4.

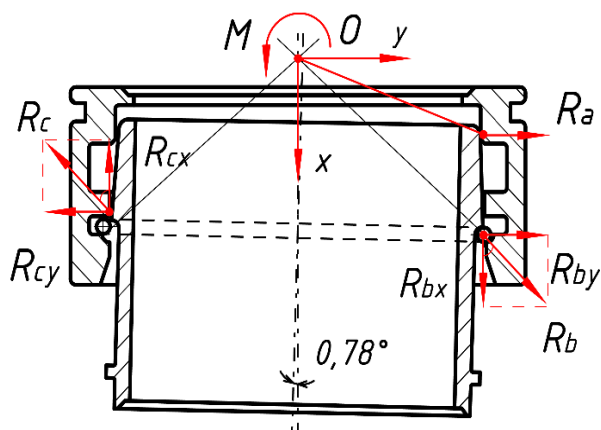


Рис. 4. Контактные нагрузки при перекосе МСРТ

Под действием рассматриваемых силовых факторов возможен внезапный выход из строя составных элементов конусно-раструбного соединения, причем характер возникаемых дефектов может быть различным [12–15]. Для предупреждения таких опасных состояний трубопровода МСРТ требуется тщательное изучение и анализ наиболее вероятных причин выхода его из строя. В качестве основных вариантов потери работоспособности трубопровода МСРТ можно выделить следующие. Во-первых, исследуемое соединение может выйти из строя в результате возникновения недопустимых контактных напряжений. Это приведет к раскрытию запорного кольца и потере соединением герметичности, что недопустимо из-за наличия высокого внутреннего давления рабочей среды. Во-вторых, нельзя исключать возможность излома тела раструбной части конусно-раструбного соединения у основания из-за возникновения недопустимых напряжений в теле трубы. Такой сценарий развития событий приведет к разрушению целостности трубы и всего соединения в целом.

Для определения напряжений воспользуемся методом конечных элементов. Для составления итоговой расчетной схемы МКЭ на первом этапе будем рассматривать конусно-раструбное соединение как единую деталь, то есть объединим в одно целое конусную и раструбную части и запорное кольцо. После этого, нагружая изгибающим моментом рассматриваемое соединение, начнем поэтапно выбрасывать возможные участки контакта с положительными (растягивающими) напряжениями до тех пор, пока не останутся только лишь участки с отрицательными (сжимающими) напряжениями. Такое решение принимается с учетом того, что в реальном конусно-раструбном соединении при нагружении его изгибающим моментом не могут возникать растягивающие напряжения в участках контакта элементов соединения.

В результате последовательного анализа напряжений возможных участков контакта при помощи МКЭ и удаления избыточных участков контакта будет получена эквивалентная модель конусно-раструбного соединения. Данную модель можно будет использовать в качестве итоговой расчетной схемы МКЭ для однозначного определения неизвестных напряжений. Рассматриваемый последовательный набор действий довольно удобно оформить в виде циклического алгоритма, который и будем использовать для разработки эквивалентной модели конусно-раструбного соединения. Общая структура используемого алгоритма, поэтапно определяющего процесс генерации эквивалентной модели конусно-раструбного соединения, показана на рисунке 5.

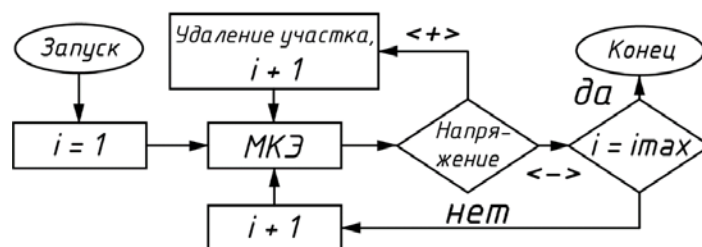


Рис. 5. Алгоритм определения эквивалентной модели

В соответствии с полученной эквивалентной моделью конусно-раструбного соединения в участках контакта элементов соединения возникают только лишь сжимающие напряжения. Данные области представляют собой тонкие кольцевые участки активного взаимодействия конусной и раструбной частей и запорного кольца МСРТ. При этом все указанные элементы соединения вместе с участками контакта являются единой деталью, как это показано на рисунке 6. Наглядное изображение полученных участков контакта с указанием их расположения в конусно-раструбном соединении представлено на рисунках 7 и 8. В этих областях возможно наступление предельного состояния материала, что в конечном счете приведет к потере конусно-раструбным соединением его работоспособности. Как видно из рисунка 7, в слабонагруженном состоянии форма рассматриваемых участков контакта элементов соединения представляет собой лишь небольшие сектора полуколец, а при значительном увеличении нагрузки, как показано на рисунке 8, их форма приобретает вид полных полуколец. Такую же форму, как и на рисунке 8, будут иметь зоны контакта при действии предельного изгибающего момента, численное значение которого необходимо определить. Полученную эквивалентную модель конусно-раструбного соединения будем использовать в качестве итоговой расчетной схемы МКЭ [16].

Стоит отметить, что зона максимальных напряжений в соответствии с проведенным МКЭ исследованием располагается в зоне контакта конусной и раструбной части и запорного кольца МСРТ, как представлено на рисунке 6. Эквивалентные напряжения в этой зоне превышают напряжения, возникающие у основания конусно-раструбного соединения. Это однозначно говорит о том, что первопричиной выхода из строя конусно-раструбного соединения под действием изгибающего момента является возникновение контактных напряжений между деталями МСРТ, а критерием работоспособности служит условие (1)

$$\sigma_K^{\max} < [\sigma_K]. \quad (1)$$

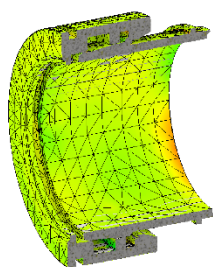


Рис. 6.
Эквивалентная
модель МСРТ

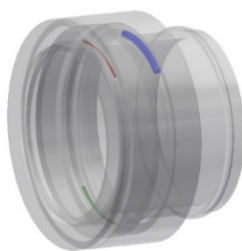


Рис. 7.
Форма зон контакта
при малых значениях
изгибающего момента

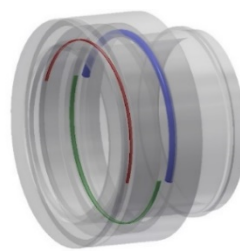


Рис. 8.
Форма зон контакта
после увеличения
изгибающего момента

Определим численные значения напряжений, возникающих в соединении. Для этого воспользуемся пакетом анализа напряжений для эквивалентной модели в программе Autodesk Inventor Professional. После прове-

дения МКЭ исследования в среде программы с использованием итоговой расчетной схемы наибольшие значения напряжений между элементами соединения возникают в его нижней половине. Оставшиеся менее нагруженные участки, по которым также происходит контакт элементов соединения, в дальнейшем учитываться не будут.

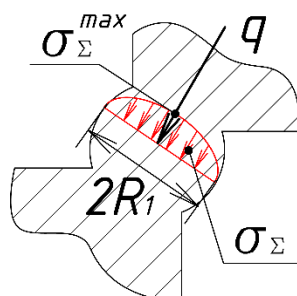


Рис. 9. Эпюра напряжений в перемычке

Перед проведением расчетов рассмотрим геометрические параметры участка контакта раструбной и конусной части и запорного кольца. Примем R_1 — радиус запорного кольца, R_2 — радиус канавки раструбной части МСРТ. Стальной прутки для изготовления запорного кольца получают методом экструзии, поэтому величина размера R_1 точно равна 3,5 мм. Канавку раструбной части МСРТ под установку запорного кольца получают растачиванием. Такая обработка уже ведется с некоторым приближением на получаемый размер в пределах установленного поля допуска. При этом размер канавки обязательно должен быть немного больше радиуса запорного кольца для его правильной установки. Поэтому целесообразно изготавливать его по полю допуска Н9, что соответствует чистовому растачиванию канавки на токарном станке. Таким образом, примем величину размера канавки раструбной части МСРТ под установку запорного кольца R_2 равной 3,526 мм.

На первом этапе определим эпюру напряжений σ_Σ , возникающих в сечении запорного кольца (рис. 9). В общем случае при расчете МКЭ точный вид эпюры определить сложно. Очевидно, что она будет эллиптической. Приблизленно суммарную величину напряжений, представляющих собой распределенную нагрузку q (см. рис. 9) можно определить по формуле (2) [17, 18]

$$q = \frac{4}{3} \sigma_\Sigma^{\max} R_1. \quad (2)$$

Так как на самом деле контактирующие элементы соединения не являются единой деталью, максимум значения q будет возникать в плоскости действия изгибающего момента, нулевые же значения возникают на концах полукольца. Реальная эпюра распределенной нагрузки со стороны оси трубопровода МСРТ изображена на рисунке 10.

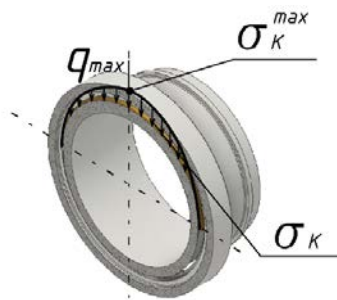


Рис. 10. Фактическая эпюра распределенной нагрузки (осевое представление)

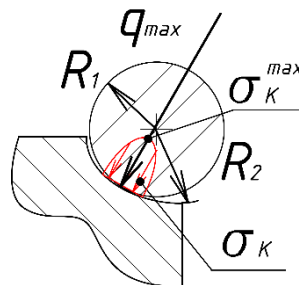


Рис. 11. Фактическая эпюра контактных напряжений

Для расчета контактных напряжений $\sigma_{\text{конт}}^{\text{max}}$ воспользуемся формулой Г. Герца (3), полученной для случая, изображенного на рисунке 11. Кривизной полосы контакта можно пренебречь и принять нагрузку постоянной и равной q_{max} на всей длине [19]. Это допущение пойдет в запас прочности.

$$\sigma_K^{\text{max}} = 0,418 \sqrt{\frac{q E_{\text{пр}}}{R_{\text{пр}}}} ; \quad (3)$$

где

$$E_{\text{пр}} = \frac{2E_1 E_2}{E_1 + E_2} = 2,1 \cdot 10^5 \text{ МПа} ; \quad (4)$$

приведенный модуль упругости; E_1 — модуль упругости запорного кольца; E_2 — модуль упругости трубы;

$$R_{\text{пр}} = \frac{R_1 R_2}{R_2 - R_1} = 475 \text{ мм} , \quad (5)$$

приведенный радиус кривизны контактирующих деталей.

Проводя МКЭ расчет нагруженного конусно-раструбного соединения при различных величинах изгибающего момента, можно определить действующие суммарные напряжения σ_{Σ} , а затем и контактные напряжения по вышеуказанной формуле (2). Полученная зависимость контактных напряжений, возникающих между деталями, от действующего на конусно-раструбное соединение изгибающего момента приведена на рисунке 12.

Полученные данные позволяют найти предельный изгибающий момент, при котором контактные напряжения превысят предел прочности материала конусно-раструбного соединения $M_{\text{пред}} = 10\,500 \text{ Н} \cdot \text{м}$ согласно критерию работоспособности $\sigma_K^{\text{max}} < [\sigma_K]$. Значению предельного момента соответствует предельное смещение трубопровода, которое легко измерить при его обследовании.

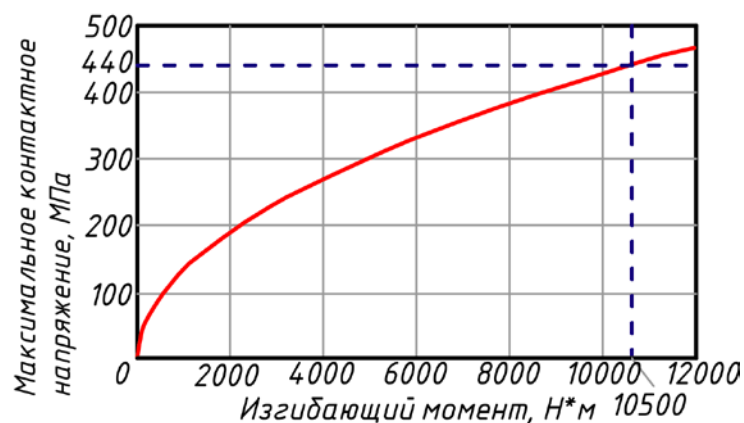


Рис. 12. График зависимости контактных напряжений от изгибающего момента

Определим эти предельные смещения Δ конусно-раструбного соединения под действием изгибающего момента. Данные смещения деталей МСРТ будут состоять из двух компонент: смещения, обусловленного естественной подвижностью конусно-раструбного соединения, — Δ_1 и смещения от изгиба труб МСРТ — Δ_2 . Наглядное изображение рассматриваемых смещений трубопровода МСРТ представлено на рисунке 13. Рассмотрим более подробно каждое из этих поперечных смещений.

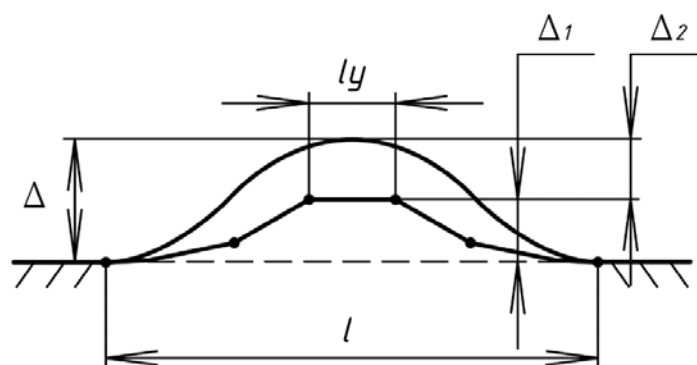


Рис. 13. Составляющие допускаемых смещений МСРТ

На первом этапе определим поперечное смещение Δ_1 , обусловленное естественной подвижностью конусно-раструбного соединения. Один узел обеспечивает максимальный угол взаимного перекося $\gamma = 0,78^\circ$, поэтому суммарное поперечное смещение зависит от количества участков МСРТ. В каждом конкретном случае на длине l смещенной зоны трубопровода всегда можно выделить конкретное нечетное число участков длиной l_y , которые будут подвержены взаимному перекоосу. Для расчета поперечного смещения Δ_2 числа n участков обратимся к рисунку 14.

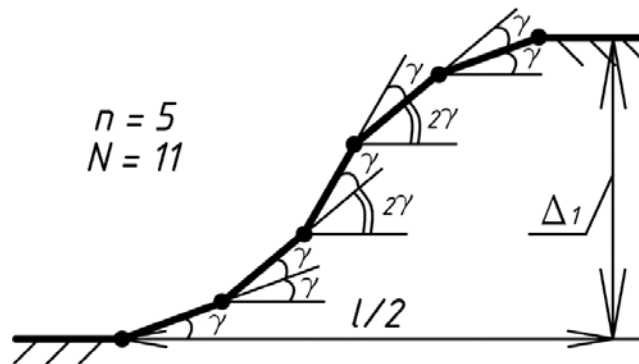


Рис. 14. Поперечное смещение, обусловленное естественной подвижностью конусно-раструбного соединения

При смещении участка МСРТ допускаемый угол взаимного перекося не должен превышать γ . Поэтому при смещении трубопровода смещение каждого последующего участка относительно предыдущего будет составлять γ . В таком случае трубопровод по-прежнему можно будет считать пригодным для дальнейшей эксплуатации. Условимся принять общее число участков, подверженных смещению, равным N . Тогда число участков, испытывающих поперечное смещение, будет равно $2n = N - 1$. В рассматриваемом на рисунке 13 примере показан случай $n = 5$, $N = 11$. Суммируя поперечные смещения отдельных участков, получим формулу для определения поперечного смещения, обусловленного геометрией конусно-раструбного соединения (6)

$$\Delta_1 = 2l_y \cdot \sum_{i=1}^{\frac{n+1}{2}} [\sin(i \cdot \gamma)] - l_y \cdot \sin\left(\frac{n+1}{2} \cdot \gamma\right). \quad (6)$$

Теперь определим поперечное смещение, возникающее в результате изгиба труб МСРТ, — Δ_2 . Изгибающий момент будем создавать при помощи сосредоточенной нагрузки $P_{кр}$, приложенной к центру соединения. Концы трубы зафиксируем при помощи заделок, исключая тем самым их смещения и поворот. Возникающее в результате изгиба труб поперечное смещение Δ_2 может быть вычислено по формуле (7)

$$\Delta_2 = \frac{nP_{кр} l_y^3}{3E_2 \pi D^3 \delta} = \frac{4nM_{пред} l_y^2}{3E_2 \pi D^3 \delta}, \quad (7)$$

где E_2 — модуль упругости трубы; D — наружный диаметр трубы; δ — толщина стенки трубы.

Результаты

Таким образом, оказывается возможным определить предельное поперечное смещение (максимально возможное) конусно-раструбного соединения, до достижения которого оно должно считаться работоспособным,

как сумму поперечного смещения, обусловленного естественной подвижностью конусно-раструбного соединения, — Δ_1 и поперечного смещения от изгиба труб МСРТ — Δ_2 (8).

$$\Delta = \Delta_1 + \Delta_2. \quad (8)$$

Обсуждение

Приведем рекомендации по предельным поперечным смещениям трубопровода МСРТ–150, изготавливаемого по ТУ 4193-001-00564056-2016¹. Данный трубопровод изготавливается стандартной длиной $l_y = 6$ м, наружным диаметром $D = 152$ мм и толщиной стенки $\delta = 3,2$ мм из стали 09Г2С, модуль упругости которой равен $E_2 = 2,1 \cdot 10^5$ МПа. Оценку работоспособности трубопровода на местности следует проводить следующим образом. Вначале рабочая группа, осуществляющая движение вдоль трубопровода, отслеживает его фактическое положение относительно первоначального положения. При обнаружении места начала поперечного смещения трубопровода возле него устанавливают информационный флажок. Далее рабочая группа осуществляет движение дальше до места максимального поперечного смещения трубопровода. С помощью имеющихся измерительных средств измеряется величина фактического поперечного смещения трубопровода. После этого рабочая группа осуществляет движение до тех пор, пока не обнаружит совпадение фактического положения трубопровода с его начальным положением. На данном месте также устанавливают информационный флажок и затем определяют опорную длину l как расстояние между информационными флажками. После этого рабочая группа сверяется с данными таблицы, полученными в соответствии с формулой (8), и принимает решение о пригодности дальнейшей эксплуатации трубопровода.

Предельные поперечные смещения

Измеряемый параметр	Значение					
Опорная длина l , м	18	24	30	36	42	48
Δ_1 , мм	82	143	204	265	327	388
Δ_2 , мм	68	102	136	170	204	238
Предельные поперечные смещения D , мм	150	245	340	435	531	626

Выводы

В ходе данного исследования были получены зависимости, позволяющие определить не только предельно допускаемые нагрузки, действующие на конусно-раструбное соединение, но и предельное отклонение оси трубопровода от его начального положения. Данные результаты позволяют оценивать работоспособность МСРТ и производить его ремонт или замену [20].

¹ 4193-001-00564056-2016. Трубы магистральные сборно-разборные оцинкованные тип ПМТ-100 и ПМТ-150.

Список источников

1. Huitt, W. M. Piping for Process Plants, Part 1 : The Basics / W. M. Huitt. – Direct text // Chemical Engineering. – 2007. – Issue 2. – P. 42–47.
2. Huitt, W. M. Piping for Process Plants, Part 2 : Flanges / W. M. Huitt. – Direct text // Chemical Engineering. – 2007. – Issue 3. – P. 56–61.
3. Huitt, W. M. Piping for Process Plants, Part 4 : Codes and Fabrication / W. M. Huitt. – Direct text // Chemical Engineering. – 2007. – Issue 10. – P. 68–76.
4. Huitt, W. M. Piping for Process Plants, Part 6 : Testing and Verification / W. M. Huitt. – Direct text // Chemical Engineering. – 2008. – Issue 6. – P. 48–54.
5. Макарычев, А. А. Экономическая целесообразность бестраншейной прокладки региональных газопроводов и трубопроводов / А. А. Макарычев. – Текст : непосредственный // Научное обозрение. Серия 1 : Экономика и право. – 2013. – № 3–4. – С. 67–71.
6. Huitt, W. M. Piping for Process Plants, Part 5 : Installation and Cleaning / W. M. Huitt. – Direct text // Chemical Engineering. – 2008. – Issue 4. – P. 48–58.
7. Захаров, М. Н. Методика испытания герметичности сборных соединений трубчатых элементов технологических машин при внешних воздействиях / М. Н. Захаров, Д. С. Мартынов. – Текст : непосредственный // Актуальные проблемы современной науки : состояние, тенденции развития. Сборник материалов III Всероссийской научно-практической конференции. – Том 1, часть 2 / Отв. ред. Т. С. Шмелькова. – Северо-Кавказская государственная академия, Черкесск, 15 ноября 2019 г. – Черкесск : Библиотечно-издательский центр Северо-Кавказской государственной академии, 2019. – С. 67–71.
8. Таранов, Р. А. Расчетное обоснование прочности конусно-раструбных соединений / Р. А. Таранов, А. К. Гумеров. – Текст : непосредственный // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2014. – № 4 (98). – С. 118–122.
9. Таранов, Р. А. Испытания конусно-раструбных соединений труб / Р. А. Таранов, К. М. Гумеров, А. Г. Сираев – Текст : непосредственный // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2014. – № 4 (98). – С. 108–117.
10. Таранов, Р. А. Повышение безопасности нефтепромысловых трубопроводов на основе совершенствования технологии монтажа : специальность 05.26.03 «Пожарная и промышленная безопасность (нефтегазовый комплекс)» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Таранов Роман Александрович. – Уфа, 2015. – 140 с. – Текст : непосредственный.
11. Захаров, М. Н. Методология оценки несущей способности магистральных трубопроводов с локальными дефектами : специальность 01.02.06 «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры» : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Захаров Михаил Николаевич ; Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) им. И. М. Губкина. – Москва, 2002. – 285 с. – Текст : непосредственный.
12. Захаров, М. Н. Прочность сосудов и трубопроводов с дефектами стенок в нефтегазовых производствах : монография / М. Н. Захаров, В. А. Лукьянов. – Москва : Изд-во РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина, 2000. – 216 с. – Текст : непосредственный.
13. Булатова, А. З. Оценка опасности расслоений в металле конструкций на основе диаграммы трещиностойкости / А. З. Булатова, М. Н. Захаров, Е. М. Морозов. – Текст : непосредственный // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2010. – Т. 76, № 3. – С. 41–46.
14. Захаров, М. Н. Оценка прочности труб с выявленными внутритрубной диагностикой дефектами / М. Н. Захаров, В. А. Лукьянов. – Текст : непосредственный // Защита от коррозии и охрана окружающей среды. – 1997. – № 1–2. – С. 9–11.
15. Захаров, М. Н. Прочность магистральных трубопроводов с локальными дефектами / М. Н. Захаров, В. А. Лукьянов. – Текст : непосредственный // Надежность и сертификация оборудования для нефти и газа. – 2000. – № 12. – С. 51–55.
16. Колосов, С. П. Комбинирование метода конечных элементов в расчете нагрузок на участках трубопровода виртуальной модели / С. П. Колосов. – Текст : непосредственный // Управление качеством в нефтегазовом комплексе. – 2012. – № 2. – С. 31–34.
17. Феодосьев, В. И. Соппротивление материалов : учебник / В. И. Феодосьев. – Москва : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1999. – 592 с. – Текст : непосредственный.
18. Соппротивление материалов / Н. А. Костенко, С. В. Балясникова, Ю. Э. Волошановская [и др.]. – Москва : Высшая школа, 2004. – 430 с. – Текст : непосредственный.

19. Решетов, Д. Н. Детали машин : учебник. – 4-е изд., перераб. и доп. / Д. Н. Решетов. – Москва : Машиностроение, 1989. – 496 с. – Текст : непосредственный.
20. Захаров, М. Н. Концепция механизма принятия решений о выборочном ремонте магистральных трубопроводов / М. Н. Захаров. – Текст : непосредственный // Нефть, газ и бизнес. – 2000. – № 4. – С. 23–28.

References

1. Huitt, W. M. (2007). Piping for Process Plants, Part 1: The Basics. Chemical Engineering, (2), pp. 42-47. (In English).
2. Huitt, W. M. (2007). Piping for Process Plants, Part 2: Flanges. Chemical Engineering, (3), pp. 56-61. (In English).
3. Huitt, W. M. (2007). Piping for Process Plants, Part 4: Codes and Fabrication. Chemical Engineering, (10), pp. 68-76. (In English).
4. Huitt, W. M. (2008). Piping for Process Plants, Part 6: Testing and Verification. Chemical Engineering, (6), pp. 48-54. (In English).
5. Makarychev, A. A. (2013). The economic rationale for lining of regional gas pipelines. Scientific review. Series 1: Economics and law, (3-4), pp. 67-71. (In Russian).
6. Huitt, W. M. (2008). Piping for Process Plants, Part 5: Installation and Cleaning. Chemical Engineering, (4), pp. 4-58. (In English).
7. Zakharov, M. N., & Martynov, D. S. (2019). Metodika ispytaniya germetichnosti sbornykh soedineniy trubchatykh elementov tekhnologicheskikh mashin pri vneshnikh vozdeystviyakh. Aktual'nye problemy sovremennoy nauki: sostoyanie, tendentsii razvitiya. Proceedings of the 3rd All-Russian Conference. Tom 1, chast' 2. Cherkessk, November, 15, 2019. North Caucasian State Academy Publ., pp. 67-71. (In Russian).
8. Taranov, R. A., & Gumerov, A. K. (2014). Strength substantiation of cone-socket design of pipeline connections. Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products, (4(98)), pp. 118-122. (In Russian).
9. Taranov, R. A., Gumerov, K. M., & Siraev, A. G. (2014). Test of cone-socket connections of pipes. Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products, (4(98)), pp. 108-117. (In Russian).
10. Taranov, R. A. (2015). Povyshenie bezopasnosti neftepromyslovykh truboprovodov na osnove sovershenstvovaniya tekhnologii montazha. Diss. ... kand. techn. nauk. Ufa, 140 p. (In Russian).
11. Zakharov, M. N. (2002). Metodologiya otsenki nesushchey sposobnosti magistral'nykh truboprovodov s lokal'nymi defektami. Diss. ... dokt. techn. nauk. Moscow, 285 p. (In Russian).
12. Zakharov, M. N. (2000). Prochnost' sosudov i truboprovodov s defektami stenok v neftegazovykh proizvodstvakh. Moscow, Gubkin University Publ., 216 p. (In Russian).
13. Bulatova, A. Z., Zakharov, M. N., & Morozov, E. M. (2010). Assessment of the risk of segregation in metal structures on the basis of crack resistance diagram. Industrial laboratory. Materials diagnostics, 76(3), pp. 41-46. (In Russian).
14. Zakharov, M. N., & Luk'yanov, V. A. (1997). Otsenka prochnosti trub s vyyavlennymi vnutritrubnoy diagnostikoy defektami. Zashchita ot korrozii i okhrana okruzhayushchey sredy, (1-2), pp. 9-11. (In Russian).
15. Zakharov, M. N., & Luk'yanov, V. A. (2000). Prochnost' magistral'nykh truboprovodov s lokal'nymi defektami. Nadezhnost' i sertifikatsiya oborudovaniya dlya nefti i gaza, (12), pp. 51-55. (In Russian).
16. Kolosov, S. P. (2012). Kombinirovaniye metoda konechnykh elementov v raschete nagruzok na uchastkakh truboprovoda virtual'noy modeli. Quality Management in Oil and Gas Industry, (2), pp. 31-34. (In Russian).
17. Feodos'ev, V. I. (1999). Soprotivleniye materialov. Moscow, Bauman Moscow State Technical University Publ., 592 p. (In Russian).
18. Kostenko, N. A., Balyasnikova, S. V., Voloshanovskaya, Yu. E., Gulin, M. A., Rusanova, E. M., Tikhonova, O. N., & Yumatov, V. P. (2004). Moscow, HSE University Publ., 430 p. (In Russian).
19. Reshetov, D. N. (1989). Detali mashin. Moscow, Mashinostroenie Publ., 496 p. (In Russian).

20. Zakharov, M. N. (2000). Kontsepsiya mekhanizma prinyatiya resheniy o vyborochnom remonte magistral'nykh truboprovodov. Neft', gaz i biznes, (4), pp. 23-28. (In Russian).

Информация об авторах

Захаров Михаил Николаевич, доктор технических наук, профессор кафедры РКЗ «Основы конструирования машин», Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет), г. Москва

Мартынов Дмитрий Сергеевич, аспирант, ассистент кафедры РКЗ «Основы конструирования машин», Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет), г. Москва, martynovds@bmstu.ru

Information about the authors

Mikhail N. Zakharov, Doctor of Engineering, Professor at the Department of Fundamentals of Machine Design, Bauman Moscow State Technical University, Moscow

Dmitry S. Martynov, Postgraduate, Assistant at the Department Fundamentals of machine design, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, martynovds@bmstu.ru

Статья поступила в редакцию 06.09.2021; одобрена после рецензирования 25.11.2021; принята к публикации 01.12.2021.

The article was submitted 06.09.2021; approved after reviewing 25.11.2021; accepted for publication 01.12.2021.