

УДК 621.643

**Д.А. Дроздов**, младший научный сотрудник отдела трубопроводного транспорта, аспирант, Федеральное автономное учреждение (ФАОУ) «25 Государственный научно-исследовательский институт (ГосНИИ) химмотологии Минобороны Российской Федерации» (Москва, Россия), e-mail: drozdov\_mail@mail.ru; **А.В. Елькин**, инженер лаборатории метрологии, стандартизации и каталогизации, аспирант ФАОУ «25 ГосНИИ химмотологии Минобороны Российской Федерации» (Москва, Россия), e-mail: cosmoshyrick@gmail.com; **А.В. Елькин**, к.т.н., ведущий научный сотрудник управления технических средств и технологий нефтепродуктообеспечения, доцент ФАОУ «25 ГосНИИ химмотологии Минобороны Российской Федерации» (Москва, Россия), e-mail: elkin1961@mail.ru; **А.Ю. Прошкин**, аспирант ФАОУ «25 ГосНИИ химмотологии Минобороны Российской Федерации» (Москва, Россия), e-mail: cosmoshyrick@gmail.com

## Пути совершенствования соединения «Раструб» сборно-разборных трубопроводов

В статье представлены результаты исследований по совершенствованию конструкции соединения «Раструб» сборно-разборных трубопроводов типа ПМТП и ПМТБ, применяющихся в качестве трубопроводов различного назначения на объектах нефтегазового комплекса для транспортировки нефтепродуктов, нефти и других жидкостей. Результаты проведенного анализа отказов и неисправностей, приводящих к потерям продуктов перекачки, при эксплуатации СРТ с соединением типа «Раструб» показали, что основную долю составляют потери по причине разрывов труб в соединениях. Оценка эффективности применения СРТ по показателям прочности и герметичности выявила необходимость повышения конструктивной надежности раструбных соединений данного типа.

При проведении исследований основных геометрических параметров соединения «Раструб» для СРТ различных номинальных диаметров установлены соотношения размеров конструктивных элементов соединения, характеризующие его способность сопротивляться разрушению в условиях внешнего и внутреннего силового нагружения. В процессе проведенных натурных экспериментов и моделирования процесса работы взаимодействия деталей сборно-разборного соединения при многократных циклических изменениях внутреннего давления выявлено, что наиболее опасным состоянием, вызывающим разрушение, является поворот труб в соединении на предельно возможный угол. Также установлено, что выступ манжеты имеет пониженную нагрузочную способность на смятие, поэтому при нагружении внутренним давлением во время эксплуатации СРТ может произойти разрушение соединения труб. Следовательно, при проектировании раструбных соединений труб требуется выполнение условия недопущения высокой концентрации кромочного давления при значительной силе взаимодействия деталей соединения на поверхностях контакта выступа манжеты со стальным запорным кольцом.

На основании выявленных зависимостей предложена усовершенствованная конструкция сборно-разборного соединения «Раструб», с конфигурацией стального запорного кольца, имеющего плоское сечение, а также увеличенные линейные размеры заходной части манжеты и внутренней плоскости раструба, позволяющие увеличить площадь контакта при глубокой посадке манжеты в раструб, что способствует возрастанию сил трения. Внесение данных конструктивных изменений позволит существенно разгрузить кольцевое запорное устройство от изгиба, обеспечивая его устойчивое равновесие и повышая надежность соединения при обеспечении его улучшенных прочностных характеристик.

**Ключевые слова:** сборно-разборные трубопроводы, раструбное соединение, надежность трубопроводов, прочность соединения, стальное запорное кольцо, потери нефтепродуктов.

.....

**D.A. Drozdov**, Federal Autonomous Enterprise «The 25-th State Research Institute of Himmotology», Ministry of Defense of Russian Federation (Moscow, Russia), junior research associate of the Pipeline transport department, postgraduate student, e-mail: drozdov\_mail@mail.ru; **A.V. Elkin**, Federal Autonomous Enterprise «The 25-th State Research Institute of Himmotology», Ministry of Defense of Russian Federation (Moscow, Russia), an engineer, postgraduate student; **A.V. Elkin**, Federal Autonomous Enterprise «The 25-th State Research Institute of Himmotology», Ministry of Defense of Russian Federation (Moscow, Russia), Philosophy Doctor, lead research associate of the Oil Products Provision Hardware and Technologies Office, Associate Professor, e-mail: elkin1961@mail.ru; **A.Y. Proshkin**, Federal Autonomous Enterprise «The 25-th State Research Institute of Himmotology», Ministry of Defense of Russian Federation (Moscow, Russia), postgraduate student, e-mail: cosmoshyrick@gmail.com

## Approaches to the improvement connection «Rastrub» (bell and spigot joint) of field pipelines

In this article presents results of research on improving the design connection «Rastrub» (bell and spigot joint) field pipelines type of PMTP and PMTB, used as a pipelines different function in the petroleum sector for the transportation of petroleum products, petroleum and other liquids. Based on the results conducted analysis of failures and malfunctions leading to loss of product pumping, during exploitation field pipelines with a connection «Rastrub» (bell and spigot joint), showed that the main share are the losses by reason disruption pipe in the joints. Evaluating the use effectiveness of field pipelines in terms of strength and tightness has identified the need to increase constructive reliability of this type pipe connection.

In conducting research principal geometric parameters of connection «Rastrub» (bell and spigot joint) for field pipelines different nominal diameters defined the size relations of constructive elements connection characterizing its ability to resist fracture under external and internal strength straining. In the process performed experiments and modeling process of interaction work parts bell and spigot joint of field pipelines with repeated cyclical changes internal pressure revealed that the most dangerous condition, causing destruction, is to rotate pipe in the connection to the maximum possible angle. Also it found that the protrusion of spigot possesses low strain carrying capacity to crushing, therefore, when straining the internal pressure during exploitation of field pipelines can be destruction connection pipe. Consequently, when designing bell and spigot joint of pipe required fulfillment of the condition to prevent a high concentration of arris pressure with significant interaction force of parts connections on the contact surfaces protrusion spigot with the steel locking ring. On the basis of received dependences proposed improved design bell and spigot joint with modified steel locking ring and increased linear sizes setting part spigot an inner flatness of the bell, allowing to increase contact area, which contributes to increasing the frictional force. Introduction of these constructive changes will allow to reduce strain from bending on steel locking ring, ensuring its sustainable poise and increasing the reliability of the connection, while ensuring improved strength characteristics.

**Keywords:** field pipelines, bell and spigot joint, pipeline reliability, toughness connection, steel locking ring, losses petroleum products.

Комплекты металлических полевых сборно-разборных трубопроводов (СРТ) предназначены для перекачки светлых нефтепродуктов, нефти и воды [1, 2]. Изначально основным предназначением комплектов СРТ было их использование в интересах Министерства обороны, однако в настоящее время СРТ также применяются в интересах организаций нефтегазового комплекса [3]. Основные технические характеристики комплектов СРТ представлены в таблице 1 [1, 4]. Опыт использования комплектов СРТ в нефтегазовом комплексе показывает, что они обладают широким спектром применения и могут быть использованы для создания в короткие сроки и с минимальными капитальными затратами временных трубопроводов (как отдельных линий, так и целых трубопроводных систем) с целью транспортировки нефтепродуктов, нефти и другого углеводородного сырья на различные расстояния (от десятков до сотен километров) на нефтепромысловых объектах при

освоении нефтяных месторождений и в системах сбора и подготовки нефти, для прокладки отводов от стационарных магистральных трубопроводов, а также в качестве технологических трубопроводов на пунктах сбора, насосных станциях и нефтебазах.

В качестве примера можно привести использование комплектов СРТ при прокладке нефтепроводов в сложных природно-климатических условиях со слабо развитой транспортной инфраструктурой: «Талаканское ГНМ – Витим» (Ленский улус, Республика Якутия), «Мусюршор – Сандивей» (Ненецкий АО), «Ярактинское месторождение – пос. Верхнемарково» (Усть-Кутский р-н, Иркутская обл.), «Дулисьма – Яракта» (Усть-Кутский р-н, Иркутская обл.) [3]. Эффективно применение комплектов СРТ в качестве средств технического прикрытия стационарных магистральных нефтепродуктопроводов и нефтепроводов с целью быстрого восстановления их функционирова-

ния при ликвидации аварий и неисправностей, а также при проведении ремонтно-восстановительных работ на линейной части.

Возможные варианты использования полевых сборно-разборных трубопроводов при техническом прикрытии стационарных трубопроводов:

- сооружение обводных (дублирующих) линий трубопровода;
- дублирование выведенных из строя насосных станций, резервуарных парков и участков стационарных магистральных трубопроводов;
- сооружение перемычек между параллельными линиями трубопровода;
- развертывание полевого склада для хранения и выдачи перекачиваемых продуктов из трубопровода в другие виды транспорта;
- подключение нефтебаз к трубопроводу и подача в него нефтепродуктов;
- подключение к трубопроводу нефтебаз для выдачи нефтепродуктов в другие виды транспорта.

Ссылка для цитирования (for references):

Дроздов Д.А., Елкин А.В., Елкин А.В., Прошкин А.Ю. Пути совершенствования соединения «Раструб» сборно-разборных трубопроводов // Территория «НЕФТЕГАЗ». – 2015. – № 5. – С. 72–78.

Drozdov D.A., Elkin A.V., Elkin A.V., Proshkin A.Y. Puti sovershenstvovaniya soedineniya «Rastrub» sborno-razbornyh truboprovodov [Approaches to the improvement connection «Rastrub» (bell and spigot joint) of field pipelines]. *Territorija «NEFTEGAZ» = Oil and Gas Territory*, 2015, No. 5. P. 72–78.

Таблица 1. Основные технические характеристики комплектов СРТ

Table 1. Main technical characteristics of field pipelines

Показатель Indicator	Тип трубопровода Type of pipeline			
	ПМТ-150 PMT-150	ПМТП-100 PMTP-100	ПМТП-150 PMTP-150	ПМТБ-200 PMTB-200
Длина комплекта, км Length of set, km	150			
Пропускная способность, т/сут. Throughput capacity, t/day	до 2000 up to 2000	до 1200 up to 1200	до 3000 up to 3000	до 7000 up to 7000
Рабочее давление, МПа Operating pressure, MPa	до 2,5 up to 2,5	до 6,0 up to 6,0		
Длина одной трубы, м Length of one pipe, m	6,0			
Масса одной трубы, кг Mass of one pipe, kg	78	36,2	80,9	124
Внутренний диаметр труб, мм Internal diameter of pipes, mm	145,5	97,6	145,6	212
Толщина стенки трубы, мм Pipe wall thickness, mm	3,25	2,2	3,2	3,5
Материал трубы Pipe material	Сталь 10 Steel 10	Сталь 16ГС Steel 16GS		Сталь 08Г2СФ Steel 08G2SF
Тип соединения труб Type of pipe connection	МПТ MPT (coupling joint)	«Раструб» «Rastrub» (bell and spigot joint)		
Угловая подвижность труб в соединении, градус Angular rotation of pipes in connection, degree	3–4	1,5–2		
Способ монтажа трубопровода Pipeline fitting method	Ручной Manual	Машинный с помощью машины МСТ-100, ручной Mechanical with the use of MST-100 machine, manual	Машинный с помощью машины ТУМ-150В, ручной Mechanical with the use of TUM-150V machine, manual	Машинный с помощью машины ТММ-200, ручной Mechanical with the use of TMM-200 machine, manual

Для труб СРТ основным техническим элементом является сборно-разборное соединение. В комплектах СРТ типа ПМТ используется соединение МПТ (муфтовое), в ПМТП и ПМТБ – соединение «Раструб».

Конструкция обоих типов соединений обеспечивает механическую прочность и герметичность трубопровода, компенсацию линейных изменений температуры на  $\pm 50$  °С, монтаж и демонтаж трубопровода вручную, возможность замены отдельных труб на смонтированном участке.

Соединение «Раструб» (рис. 1) обладает лучшими техническими характеристиками, а также позволяет осуществлять процесс сборки трубопровода машинным способом [3, 4].

При анализе потерь нефтепродуктов по техническим причинам при их перекачке по СРТ с соединением типа «Раструб» выявлено, что основную долю (более 90%) составляют потери вследствие

разрывов труб в соединениях [5]. Так, в течение 30 суток величина потерь может составить до 4,5% по отношению к общему количеству перекаченных нефтепродуктов, в том числе по причине разрывов соединений – 4,0–4,2%, при образовании трещин в сварных швах – 0,1–0,2%, от дефектов резиновых уплотнительных колец – 0,02–0,05%. Отказы в работе сборно-разборного соединения приводят к безвозвратным потерям продуктов перекачки, остановкам и перерывам в работе трубопровода, срыву сроков ввода СРТ в эксплуатацию и, как следствие, к большим недопоставкам продуктов перекачки потребителям [6]. Одним из способов определения эффективности применения СРТ является оценка по таким показателям, как прочность и герметичность. Данные показатели определяют основные функции СРТ, и по ним можно делать выводы о его пригодности к работе. Под прочностью

СРТ будем понимать его способность сопротивляться внутренним и внешним нагрузкам без разрушения [7].

Решение задачи повышения конструктивной надежности соединений типа «Раструб» требует обоснования критерия прочности трубопровода с последующей разработкой методик ее оценки для условий статического и динамического нагружения СРТ.

Исследования также показали, что соединение Р-100 (сборно-разборное соединение типа «Раструб» трубопровода номинальным диаметром  $D_N$  100 мм) по сравнению с соединениями Р-150 и Р-200 обладает лучшими прочностными характеристиками и имеет более высокий уровень надежности, что позволяет сделать предположение об имеющихся противоречиях при конструировании соединений [8].

При изучении конструкторской документации основных геометрических параметров соединения «Раструб» (ГОСТ

Таблица 2. Основные размеры соединения «Раструб» (рис. 1) по ГОСТ 20772

Table 2. The main sizes of the «Rastrub» connection (bell and spigot joint) (fig. 1) according to GOST 20772

$D_N$ , мм	$d_{вн}$	$d_1$	$d_2$	$d_3$	$d_4$	$d_5$	$d_6$	$D$	$L$	$L_1$	$L_2$	$L_3$	$L_4$	$L_5$	$L_6$	$L_7$	$L_8$
100	97,6	102	108,1	114	110	113,7	130,8	146	77	56	8	5	29	20	13	7	7
150	145,6	152	160	168	162	166,8	185,8	203	92	67	9	6	38	20	22	8	12
200	212	219	225	239	233	237	255	273	108	81	9	8	50	20	31	9	21

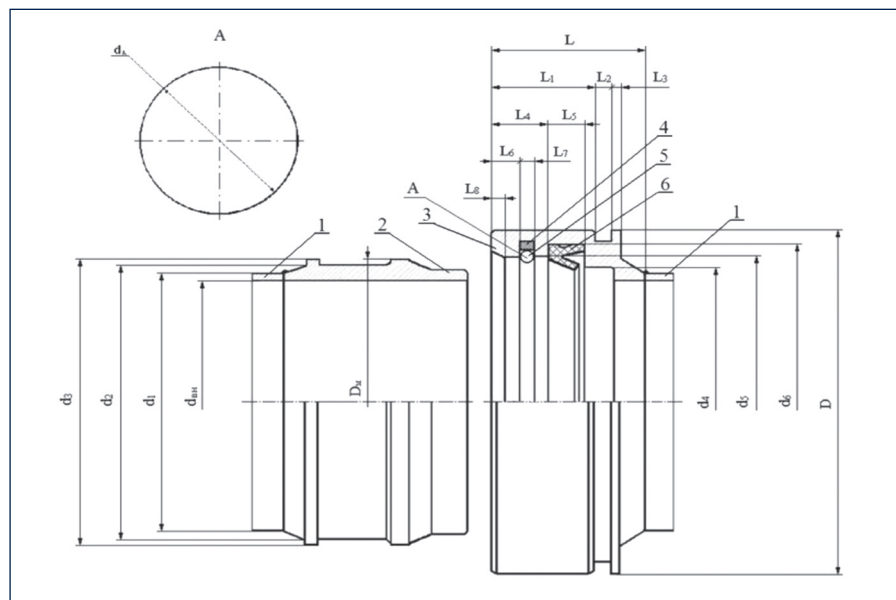


Рис. 1. Конструкция соединения типа «Раструб»: 1 – тело трубы; 2 – манжета; 3 – раструб; 4 – резиновая микропористая подкладка; 5 – стальное запорное кольцо; 6 – резиновое уплотнительное кольцо

Fig. 1. «Rastrub» connection (bell and spigot joint) design: 1 – pipe frame; 2 – spigot; 3 – bell; 4 – rubber microporous lining; 5 – steel locking ring; 6 – rubber sealing ring

20772) различных типоразмеров (табл. 2) авторами установлено соотношение следующих основных размеров конструктивных элементов соединения, характеризующее способность сопротивляться разрушению (обеспечивать прочность соединения) в условиях внешнего и внутреннего силового нагружения [5]:

$$\Omega_1 = d_k / D_m, \quad (1)$$

где  $d_k$  – диаметр сечения стального запорного кольца;

$D_m$  – диаметр кольцевого выступа манжеты соединения (рис. 1, для P-100, P-150 и P-200  $d_k = 6,0; 7,0$  и  $8,0$  мм;  $D_m = 113, 166$  и  $235$  мм соответственно).

В конструкциях соединений P-100, P-150 и P-200 указанное соотношение принимает значения 0,053; 0,042; 0,034 соответственно. Авторами установлено, что различие значений в соотношении

размеров наиболее ярко определяет пониженные прочностные характеристики соединений P-150 и P-200. Данное соотношение (1) было принято в качестве одного из основных критериев прочности СРТ при проведении исследований повышения уровня его надежности.

Корректировка указанного соотношения (1), проведенная методом оптимизации размеров основных конструктивных элементов соединения типа «Раструб» при размерах  $d_k = 8,0$  и  $12,0$  мм, определила новые значения критерия прочности  $\Omega_1 = 0,048$  и  $0,051$  для соединений P-150 и P-200 соответственно.

Полученное соотношение обеспечивает улучшение прочностных характеристик СРТ, оснащенных соединениями P-150 и P-200 (близких к прочностным характеристикам СРТ с соединениями P-100), поэтому целесообразно внести изменения в таблицу основных размеров соединения.

Процесс работы взаимодействия деталей сборно-разборного соединения при многократных циклических изменениях внутреннего давления представляет значительный интерес с точки зрения обеспечения технической надежности СРТ. Анализ различных состояний нагружения соединения «Раструб» показывает, что поворот труб в соединении на предельно возможный угол является наиболее опасным состоянием, вызывающим разрушение [5].

На рисунке 2 показан осевой разрез деталей соединения P-200 с предельным углом поворота манжеты в раструбе, а также силы  $Q_1$  и  $Q_2$ , действующие на запорное кольцо со стороны выступа манжеты и кромки малого кольцевого паза раструба. Векторы этих сил направлены с отклонением на угол трения  $\varphi$  от нормали  $p$  –  $n$  к линии контакта деталей. В результате развития совместных деформаций нагруженных деталей угол наклона вектора  $Q_1$  к нормали будет возрастать и приближаться к величине  $\alpha$ , зависящей от сочетания размеров деталей.

Радиальная составляющая  $Q_r$  равнодействующей сил, неравномерно распределенных по окружности манжеты, смещает ее к оси трубопровода и вы-

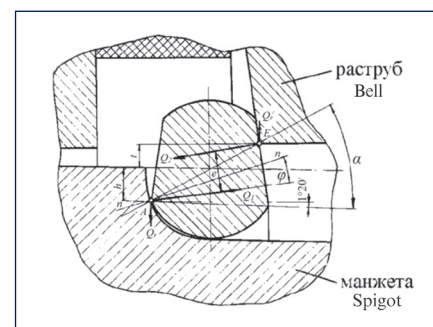


Рис. 2. Схема нагружения деталей соединения P-200 при предельном угле относительного поворота труб в соединении

Fig. 2. The straining scheme of R-200 connection parts at limit angle of relative rotation of pipes in connection



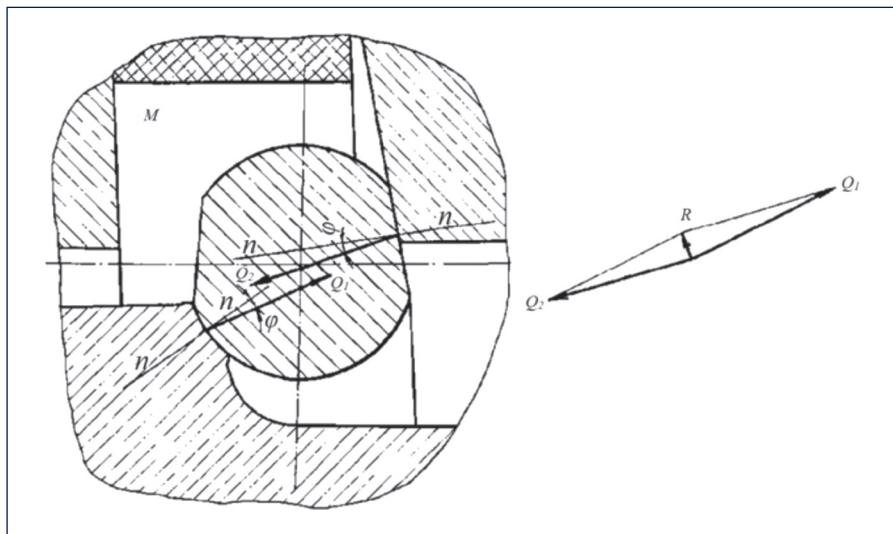


Рис. 3. Положение деталей соединения Р-200 при нагружении внутренним давлением  
 Fig. 3. Position parts of R-200 connection under straining of internal pressure

зывает сжатие манжеты в поперечном направлении, а радиальная составляющая  $Q_r$  вызывает растяжение раструба в поперечном направлении от оси трубопровода. Фрикционное сцепление в точках А и Е обуславливает взаимную зависимость и совместность деформаций всех трех нагруженных деталей – поперечное сжатие манжеты, поперечное растяжение раструба и закручивание запорного кольца. Совместные деформации деталей развиваются с преобладанием и опережением достижения пластического состояния по смятию выступа манжеты при малых размерах  $h$  (на некоторой стадии развития деформации смятия возможно одновременное скальва-

ние угла выступа манжеты, расположенного выше точки А), чем и определяется вид отказа соединения. При этом напряжения смятия  $\sigma_{см}$  достигают предельных (разрушающих) величин. Их расчетные значения выражаются величиной, многократно превышающей предел текучести материала манжеты  $\sigma_T$ . Поэтому неизбежность пластической деформации выступа манжеты при условии  $\sigma_{см} > \sigma_T$  очевидна. Фактически пластическая деформация произойдет задолго до полного нарастания давления, а разрушающая выступ манжеты нагрузка будет значительно меньше. Предложенное авторами представление о дальнейшем развитии пластической деформации выступа

манжеты (на близкой к завершению стадии) показано на рисунке 3.

При этом создаются условия, необходимые и достаточные для разрушения соединения: силы  $Q_1$  и  $Q_2$ , даже отклоненные на небольшой угол трения  $\varphi$ , имеют неуравновешенную равнодействующую силу  $R$ , которая вызывает смещение запорного кольца в полость  $M$ . В секторе первоначального контакта запорное кольцо «закатывается» на наружную цилиндрическую поверхность выступа манжеты. Это вызывает начало процесса разрушения соединения. Одновременно соседние секторы запорного кольца приподнимаются своей внутренней закругленной поверхностью до кромки выступа манжеты, последний разжимает запорное кольцо, отесняя его во все более широком секторе в полость  $M$ . Далее никакие причины не препятствуют завершению процесса разрушения соединения, и внутреннее давление продукта выталкивает манжету из раструба [9].

Процесс разрушения соединения типа «Раструб» при нагружении внутренним давлением рассмотрен при сочетании размеров деталей, обуславливающих пониженную нагрузочную способность выступа манжеты на смятие. При эксплуатации трубопровода обычно это явление ошибочно квалифицируется как результат недосборки соединения, так как разрыв трубопровода в узле соединения труб происходит при незначительном давлении, и существенных остаточных деформаций деталей не наблюдается, кроме едва заметного смятия кромки выступа манжеты в узком секторе контакта [5].

Одной из важнейших мер по обеспечению надежности соединений труб при их проектировании является выполнение условия недопущения высокой концентрации кромочного давления при значительной силе взаимодействия деталей соединения на поверхностях контакта выступа манжеты с запорным кольцом. Его выполнение может быть обеспечено равномерным распределением нагрузки по всей площади контакта запорного кольца с выступом манжеты, то есть при обеспечении устойчивого состояния равновесия запорного кольца на по-

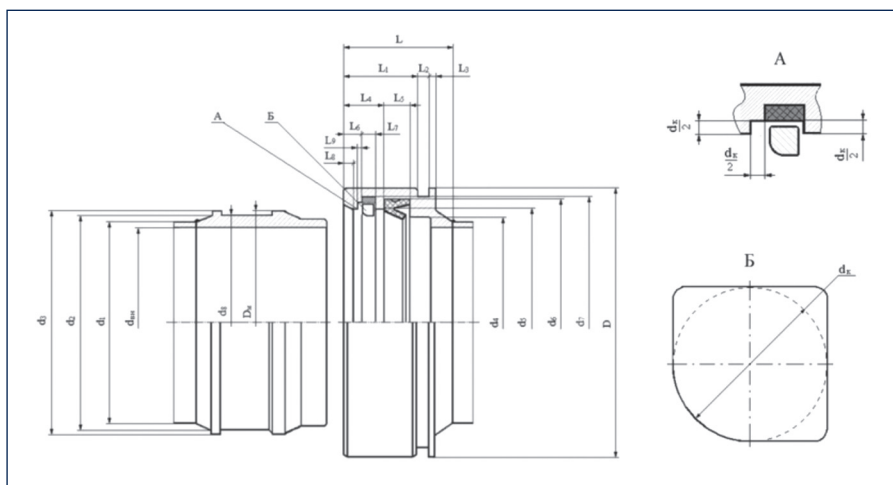


Рис. 4. Конструкция соединения типа «Раструб» с плоским сечением стального запорного кольца  
 Fig. 4. «Rastrub» connection (bell and spigot joint) design with flat section of steel locking ring

сачочной поверхности выступа манжеты. Для разрабатываемых соединений труб это условие должно выполняться при различных режимах нагружения. Поэтому в целях предотвращения «закатывания» запорного кольца на наружную цилиндрическую поверхность выступа манжеты (в полость М) авторами предложена его новая конфигурация с плоским сечением, требующая изменения конструкции соединения (рис. 4). При плоском сечении запорного кольца по обе стороны от узкого сектора его контакта симметрично образуются два местных надежных зацепления выступа манжеты и кольцевого паза раструба через тело запорного кольца.

Силы трения на увеличенных площадях контакта плоского запорного кольца (в отличие от кольца круглого сечения с точечным контактом) заметно возрастают при нагружении соединения изгибающим моментом и активно препятствуют его проскальзыванию в полость М, при этом площадка кольцевого паза раструба (рис. 4, размер  $L_9$ ) останавливает его перемещение в полость М (на рис. 5 – вверх) путем ограничения движения, обеспечивая жесткое защемление манжеты и раструба через запорное кольцо при нагружении [5, 10].

С ростом нагрузочной способности выступа манжеты на смятие картина совместных деформаций деталей соединения изменяется. Величина давления в трубопроводе возрастает, а выступ манжеты выдерживает возросшую при этом нагрузку.

Пропорционально внутреннему давлению жидкости возрастают поперечные радиальные нагрузки  $Q_1$  и  $Q_2$  на манжету и раструб соответственно. Под их воздействием манжета и раструб рабочими поверхностями плотно, без зазора прижимаются друг к другу в точке, расположенной симметрично сектору первоначального нагружения, а запорное кольцо в секторе первоначального контакта стремится максимально раздвинуть манжету и раструб (размеры  $h$  и  $t$  суммируются). При увеличении плеча  $m$  пара сил  $Q_1$  и  $Q_2$  растет пропорционально внутреннему давлению и обеспечивает крутящий момент, приложенный к запорному кольцу в узком секторе первоначального

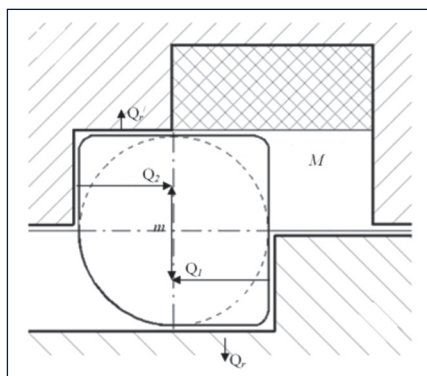


Рис. 5. Положение запорного кольца в соединении при нагружении внутренним давлением

Fig. 5. Position of locking ring in connection under straining of internal pressure

чального контакта. При этом величины нормально направленных сил  $Q_1$  и  $Q_2$  имеют достаточно большие значения. Соответственно от них и силы трения между манжетой и раструбом в месте их взаимного плотного прилегания, симметрично по обе стороны от узкого сектора первоначального контакта, образуют два местных надежных зацепления на плоских рабочих поверхностях выступа манжеты и кольцевого паза раструба через тело запорного кольца. Эти обстоятельства обеспечивают жесткое защемление манжеты с запорным кольцом внутри раструба, и соединение

успешно выдерживает нагружение внутренним давлением.

При дальнейшем анализе вариантов нагружения соединения авторами установлено еще одно соотношение размеров основных конструктивных элементов соединения, характеризующее его способность обеспечивать устойчивое состояние равновесия деталей кольцевого запорного устройства в условиях силового нагружения:

$$\Omega_2 = L_{10}/d_{вн}, \quad (2)$$

где  $L_{10}$  – линейный размер заходной части манжеты (рис. 6);

$d_{вн}$  – внутренний диаметр трубопровода (для соединений Р-100, Р-150 и Р-200 размер  $L_{10} = 21,0; 12,0$  и  $0-5,0$  мм;  $d_{вн} = 97,6; 145,6$  и  $212,0$  мм соответственно).

В конструкциях соединений Р-100, Р-150 и Р-200 указанное соотношение (2) принимает значения 0,215; 0,082 и 0,024 соответственно. Установленные различия в значениях соотношений (2) также определяют пониженные прочностные характеристики соединений Р-150 и Р-200.

Авторами уже отмечалось, что при повороте труб в соединении манжета и раструб рабочими поверхностями плотно, без зазора прижимаются друг к другу.

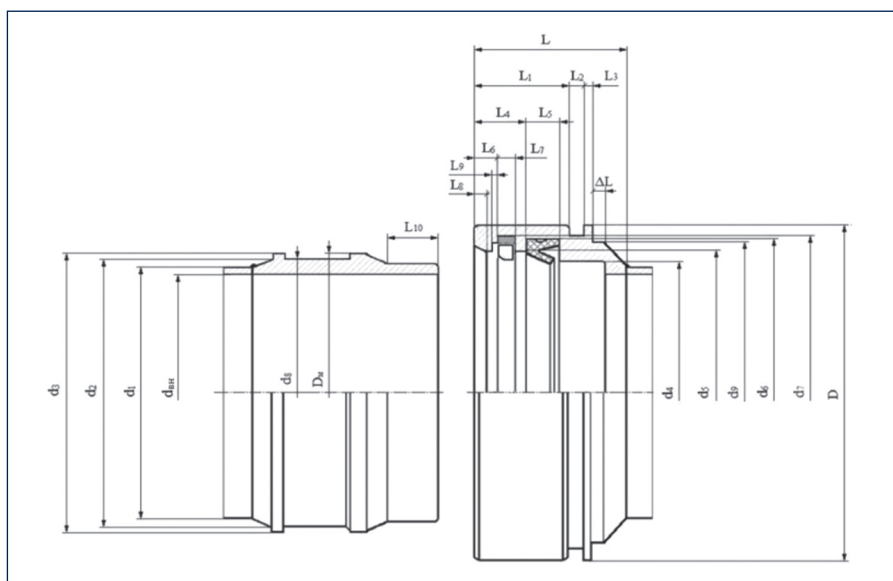


Рис. 6. Соединение «Раструб» с увеличенными размерами ( $L_{10}$ ) сопрягаемых частей манжеты и раструба

Fig. 6. «Rastrub» connection (bell and spigot joint) with increased dimensions ( $L_{10}$ ) of setting parts of spigot and bell

Процессу поперечных деформаций манжеты и раструба способствует резкое увеличение радиальных составляющих нагрузок, пропорционально возрастающих внутреннему давлению жидкости. При этом возникают большие силы трения между манжетой и раструбом в месте их взаимного плотного прилегания. Увеличение площади контакта при глубокой посадке заходной части манжеты (размер  $L_{10}$ ) в раструб способствует возрастанию сил трения и при переносе изгибающей нагрузки, инициируемой поворотом труб в соединении, существенно разгружают кольцевое запорное устройство от изгиба, обеспечивая его устойчивое равновесие и повышая надежность соединения. Проведенная авторами оптимизация значений соотношения (2) позволила

установить его новое значение  $\Omega_2 = 0,102; 0,103$  и  $0,099$  для соединений P-100, P-150 и P-200 соответственно. Также был определен оптимальный диапазон значений величин для размера  $L_{10}$  (для P-100:  $9,66 \leq L_{10} \leq 10,05$  мм; для P-150:  $14,41 \leq L_{10} \leq 15,0$  мм; для P-200:  $21,0 \leq L_{10} \leq 21,84$  мм).

При конструировании новых соединений труб типа «Раструб» с кольцевым запорным устройством значение соотношения (2) может быть принято в качестве второго критерия прочности трубопровода. Следовательно, целесообразно также внесение изменений в таблицу основных параметров соединения с учетом установленных значений соотношения (2), по средним линейным размерам манжеты и раструба  $L_{10} = 10,0; 15,0$  и  $21,0$  мм в P-100; P-150 и P-200, а

также размера  $\Delta L$  с учетом увеличения  $L$  в P-150 и P-200 (рис. 6). Разработанные подходы к определению оптимальной конструкции соединений типа «Раструб», обеспечивающие его улучшенные прочностные характеристики при эксплуатации СРТ, могут найти свое применение при проведении работ по созданию сборно-разборного трубопровода нового поколения, изготавливаемого по новым отечественным технологиям с использованием перспективных полимерных композиционных материалов. Такой тип СРТ успешно может применяться в интегрированных трубопроводных системах обеспечения потребителей нефтепродуктами, в том числе при решении различных задач в нефтегазовом комплексе.

## Литература:

1. Полевые магистральные трубопроводы повышенной производительности. Руководство по эксплуатации (РЭ). – М.: Воениздат, 1982. – 368 с.
2. Коваленко В.Г., Бойко В.В., Курятов Б.В. Сборно-разборные трубопроводы. – М.: Недра, 1972. – 200 с.
3. Шейн К.Г., Середя В.В., Данильченко И.Г. Трубопроводным войскам 50 лет / Под ред. Г.Н. Очеретина. – М.: ООО «Грاليا М», 2005. – 792 с.
4. Данильченко И.Г., Анохин В.В., Лунин В.С. и др. Учебник младшего специалиста трубопроводных войск / Под ред. В.П. Булгакова. – М.: Воениздат, 1987. – 248 с.
5. Середя В.В., Кузнецов А.И., Елькин А.В., Мельников Д.И. Процессы, приводящие к потере прочности соединений полевых магистральных трубопроводов // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 1999. – № 7. – С. 18–20.
6. Елькин А.В., Середя В.В., Кузнецов А.И., Германович П.К. Математическая модель нагружения соединения «Раструб» // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 1999. – № 11. – С. 13–15.
7. Большая Советская Энциклопедия. – М.: Советская энциклопедия, 1974. – Т. 24 (I). – С. 72.
8. Елькин А.В., Середя В.В., Кузнецов А.И., Юденичев В.В. Метод системного анализа при исследовании трубных соединений «Раструб» // Автоматизация и современные технологии. – 1999. – № 10. – С. 34–37.
9. Елькин А.В., Середя В.В., Кузнецов А.И., Юденичев В.В. Анализ структурных изменений при функционировании соединения «Раструб» с позиций трибоники // Автоматизация и современные технологии. – 1999. – № 11. – С. 30–35.
10. Елькин А.В., Середя В.В., Кузнецов А.И., Германович П.К. Нагрузки в соединениях сборно-разборных трубопроводов при изгибах линии // Транспорт и хранение нефтепродуктов. – 1999. – № 11. – С. 24–27.

## References:

1. *Polevye magistral'nye truboprovody povyshennoj proizvoditel'nosti. Rukovodstvo po jekspluatatsii (RJe)* [Field main pipelines of increased capacity. Operation Manual (OP)]. Moscow, Voenizdat Publ., 1982. 368 pp.
2. Kovalenko V.G., Boyko V.V., Kuryatov B.V. *Sbornno-razbornye truboprovody* [Collapsible pipelines]. Moscow, Nedra Publ., 1972. 200 pp.
3. Shein K.G., Sereda V.V., Danilchenko I.G. *Truboprovodnym vojskam 50 let* [The 50th Anniversary of the Pipeline Troops]. Ed. by G.N. Ocheretin. Moscow, Gralia M LLC, 2005. 792 pp.
4. Danilchenko I.G., Anokhin V.V., Lunin V.S. et al. *Uchebnik mladshogo specialista truboprovodnyh vojsk* [Textbook of the pipeline troops associate]. Ed. by V.P. Bulgakov. Moscow, Voenizdat, 1987. 248 pp.
5. Sereda V.V., Kuznetsov A.I., Yelkin A.V., Melnikov D.I. Processes, privodjashhie k potere prochnosti soedinenij polevyh magistral'nyh truboprovodov [Processes resulting in loss of strength at the connections of field main pipelines]. *Himicheskoe i neftegazovoe mashinostroenie = Chemical and oil and gas mechanical engineering*, 1999, No. 7. P. 18–20.
6. Yelkin A.V., Sereda V.V., Kuznetsov A.I., Germanovich P.K. Matematicheskaja model' nagruzenija soedinenija «Rastrub» [Numerically simulated model for the «Flared» connection loading]. *Himicheskoe i neftegazovoe mashinostroenie = Chemical and oil and gas mechanical engineering*, 1999, No. 11. P. 13–15.
7. *Bol'shaja Sovetskaja Jenciklopedija* [Great Soviet Encyclopedia]. Moscow, Soviet Encyclopedia Publ., 1974, Vol. 24 (I). P. 72.
8. Yelkin A.V., Sereda V.V., Kuznetsov A.I., Yudenichev V.V. Metod sistemnogo analiza pri issledovanii trubnyh soedinenij «Rastrub» [System analysis method for the «Rastrub» pipe connections studying]. *Avtomatizacija i sovremennye tehnologii = Automation and State-of-the-Art Technologies*, 1999, No. 10. P. 34–37.
9. Yelkin A.V., Sereda V.V., Kuznetsov A.I., Yudenichev V.V. Analiz strukturnyh izmenenij pri funkcionirovanii soedinenija «Rastrub» s pozicij triboniki [Analysis of structural changes during «Rastrub» connection functioning from tribonics perspective]. *Avtomatizacija i sovremennye tehnologii = Automation and State-of-the-Art Technologies*, 1999, No. 11. P. 30–35.
10. Yelkin A.V., Sereda V.V., Kuznetsov A.I., Germanovich P.K. Nagruzki v soedinenijah sborno-razbornykh truboprovodov pri izgibah linii [Loads in connections of collapsible pipelines at line bends]. *Transport i hranenie nefteproduktov = Oil products transportation and storage*, 1999, No. 11. P. 24–27.