

В. К. Погодин, И. М. Рудых

# ПРИНЦИПЫ ВЫБОРА ПЕРСПЕКТИВНОЙ КОНСТРУКЦИИ РАЗЪЕМНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТРУБОПРОВОДНОЙ АРМАТУРЫ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

При создании трубопроводной арматуры высокого давления для конкретных условий эксплуатации всегда стоит вопрос выбора оптимальной и надежной конструкции разъемных соединений (РС) [1]. Выбор перспективной конструкции из огромного их многообразия, сравнение их между собой наиболее обоснованно могут быть выполнены только при наличии классификации РС, которая включала бы основные признаки существующих конструкций, широко используемых в практике.

Известные классификации [2, 3, 4] не позволяют в полной мере проанализировать и представить конструкцию РС и уплотнительного узла, так как включают признаки, характеризующие лишь неко-

торые уплотнительные и крепежные элементы. Разработка новых конструкций РС, удовлетворяющих современным требованиям, привела к необходимости включения в классификацию признаков, позволяющих описать и представить, кроме существующих, другие возможные варианты конструкций, включая уплотнительные и другие элементы.

При разработке классификаций РС трубопроводной арматуры за основу принята разработанная ранее классификация РС сосудов и аппаратов высокого давления [1].

Предлагаемая классификация представлена в таблице 1, которая включает 10 групп признаков, определяющих в РС принципы создания герме-

Таблица 1. Классификационные признаки РС трубопроводной арматуры

Группа	Основные признаки	Вспомогательные признаки
Принципы создания герметичности	1. Способ обеспечения герметичности	1. Контактным давлением на уплотнительных поверхностях. 2. Сварка. 3. Пайка. 4. Склеивание.
	2. Метод сохранения герметичности в рабочих условиях	1. Принудительное. 2. Радиальным самоуплотнением. 3. Осевым самоуплотнением. 4. Комбинированным самоуплотнением.
	3. Виды предварительного нагружения уплотнительных элементов и крепежных деталей	1. Механическое. 2. Гидравлическое (пневматическое). 3. Термическое. 4. Механическое и гидравлическое.
Механизм работы	4. Уровень деформирования уплотнительных элементов	1. Упругий. 2. Упруго-пластический. 3. Пластический.
	5. Сопряжение уплотнительных поверхностей	1. По полосе постоянной ширины. 2. По полосе переменной величины.
	6. Предохранение уплотнительных поверхностей от перегрузки	1. Имеется. 2. Отсутствует.
	7. Смещение уплотнительных поверхностей под нагрузкой	1. При сборке и разборке. 2. При давлении. 3. При температуре. 4. При давлении и температуре. 5. Отсутствует. 6. На всех стадиях работы.
Конструктивное оформление	8. Тип сопряжения	1. Плоскость-плоскость. 2. Плоскость-тор. 3. Плоскость-острая кромка. 4. Цилиндр-цилиндр. 5. Цилиндр-тор. 6. Острая кромка-цилиндр. 7. Острая кромка-тор. 8. Острая кромка-сфера. 9. Острая кромка-конус. 10. Конус-конус. 11. Конус-сфера. 12. Конус-тор. 13. Тор-сфера. 14. Сфера-плоскость.
	9. Состав уплотнительного соединения	1. Беспрокладочные. 2. С уплотнительным кольцом. 3. С мягкой прокладкой. 4. С уплотнительным кольцом и мягкой прокладкой. 5. С уплотнительным кольцом и мягким покрытием. 6. Мембранное. 7. Беспрокладочное с мягким покрытием.
	10. Тип крепежных деталей	1. Шпилечный. 2. Резьбовой. 3. Муфтовый. 4. Байонетный. 5. Бугельный.

тичности, механизм работы, конструктивное оформление.

Кроме перечисленных в таблице 1 признаков при анализе конструкции уплотнительных узлов могут быть рассмотрены дополнительные признаки, которые характеризуют применяемые при эксплуатации разъемных соединений вспомогательные устройства, например, для ограничений усилий затяжки и уменьшения относительных смещений уплотнительных поверхностей относительно друг друга. К дополнительным признакам можно отнести давление, температуру и среду.

Любая конструкция РС с помощью предлагаемой классификации может быть представлена как сочетание входящих в нее признаков. Предлагаемая классификация позволяет облегчить выбор РС не только из числа широко используемых в практике вариантов, но и создать новые варианты, которые не укладываются в рамки существующих ранее классификаций.

Выбор конструкций уплотнительного узла для конкретных условий эксплуатации может быть выполнен на основе анализа признаков классификаций и отбора перспективных из них.

Предлагаемая классификация позволяет охарактеризовать конструкцию уплотнительного узла по сочетанию десяти чисел, в котором порядковый номер характеризует порядковый номер группы признаков. Число, соответствующее определенной группе признаков, показывает место признака в этой группе. Новые свойства предлагаемой классификации делают возможным анализ признаков и выбор перспективных из них при помощи вычислительной техники.

С помощью предлагаемой классификации можно определить наиболее перспективные признаки для конструкции РС трубопроводной арматуры, работающего в условиях циклического изменения давления и температуры при необходимости их частой разборки. Для этого проведен анализ применимости каждого из признаков классификации к указанным условиям эксплуатации.

По итогам такого анализа видно, что использование в качестве уплотнения сварки и пайки рационально только в случае длительной работы соединения без разборки, так как при каждой разборке необходимо выполнить трудоемкие операции по разрезке и восстановлению сварного, паяного или клееного шва. Естественно, что эти операции неприемлемы при необходимости периодических переборок РС. Для заданных условий эксплуатации герметичность лучше обеспечивать созданием контактных давлений на уплотнительных поверхностях.

Для сохранения герметичности в рабочих условиях использование принудительного уплотнения потребует больших усилий затяжки [2, 3]. Кроме того, разъемное соединение с таким уплотнительным узлом чувствительно к колебаниям температуры. Для решения поставленной задачи рационально использование уплотнительных соединений, в которых для сохранения герметичности может быть применен принцип самоуплотнения.

Для указанных условий эксплуатации должны предъявляться высокие требования к равномерности нагружения крепежных деталей и уплотнительных поверхностей. Использование механического способа нагружения уплотнительных поверхностей

для обеспечения указанных требований к качеству предварительного нагружения уплотнительных устройств, с применением механизации для сборки, потребуются увеличение размеров РС и его металлоемкости. Применение гидравлического (пневматического) способа нагружения при выполнении нагружающих устройств заодно целое с трубопроводной арматурой рационально лишь для быстропротекающих технологических процессов без воздействия температуры и малой выдержки под давлением. При воздействии температуры на РС, работающие под давлением, гидравлические нагружающие устройства необходимо выполнять отдельно от арматуры и устанавливать их на арматуру только на период сборки и разборки РС. Способ нагружения путем нагрева (охлаждения) уплотнительного кольца или других деталей РС неприемлем из-за значительной его инерционности и циклических воздействий температуры при эксплуатации. Наиболее перспективным для заданных условий эксплуатации представляется использование сочетания гидравлического и механического способов нагружения уплотнительных поверхностей [2].

Уровень деформирования уплотнительных элементов должен быть упругим или упруго-пластическим, т. к. это позволяет использовать их многократно. Переменная ширина контакта хорошо обеспечивает герметичность при относительно малом предварительном усилии затяжки. В процессе нагружения РС давлением рабочей среды ширина контакта в уплотнительном узле увеличивается и повышается надежность его герметизации при действии давления и температуры. Такой тип контактирования может быть рекомендован в качестве перспективного.

В процессе затяжки или быстрого повышения температуры могут возникнуть перегрузки уплотнительных поверхностей соединения. Элементы, предохраняющие эти поверхности от перегрузки, должны быть использованы в качестве перспективных признаков. Под нагрузкой в РС происходят относительные смещения уплотнительных поверхностей, возникают следы скольжения, налипания и опасность разгерметизации [7]. Особенно это характерно для РС, работающих в условиях циклических нагрузок давлением и температурой. Поэтому уменьшение или устранение проскальзываний уплотнительных поверхностей для рассматриваемых условий эксплуатации, возникающих под действием давления, температуры или их совместного действия, а также при сборке и разборке нужно рассматривать как важный фактор повышения работоспособности РС и рекомендовать этот признак как перспективный.

При выборе типа сопряжения необходимо учитывать сложность изготовления и конкретные условия эксплуатации. При этом тип сопряжения должен содержать перспективные признаки, обеспечивающие в уплотнительном узле небольшую величину контакта, и требовать минимальные усилия затяжки.

Уплотнительное соединение может выполняться беспрокладочным, с уплотнительным кольцом, а также с мягкими дополнительными механическими и немеханическими прокладками или мягким электrolитическим покрытием. Беспрокладочные плоские и конические соединения являются простыми и рациональными с точки зрения герметичности, т. к. имеют один уплотнительный стык. Но такие присущие ему особенности, как трудность ремонта,

создание больших распорных усилий в РС, повышенные требования к чистоте изготовления уплотнительных поверхностей, делает неприемлемым его использование для рассматриваемых условий. Использование уплотнительных колец из более мягких материалов, чем материал крышки и корпуса, является предпочтительным. Уплотнительные кольца с более высокими механическими свойствами, но с дополнительными мягкими прокладками, улучшают герметичность соединения и предохраняют уплотнительные поверхности от повреждений. Однако, пластическое деформирование мягкой прокладки ограничивает их повторное применение и использование при циклических нагружениях давлением и температурой. Положительно зарекомендовали себя уплотнительные кольца с электролитическими покрытиями, используемые в качестве защиты от коррозии с целью улучшения герметичности соединения. Из рассмотренного состава уплотнительного соединения наиболее целесообразным, в условиях циклического изменения давления и температуры, следует считать использование самоуплотняющихся колец с электролитическим покрытием мягким металлом [8].

Элементы перспективности заключены во вспомогательных устройствах, позволяющих изменить систему предварительной затяжки и предохранить уплотнительное кольцо от перегрузки и, что важно, от проскальзываний и смещений уплотнительных поверхностей относительно друг друга в условиях циклической работы.

Из рассмотренных признаков классификации в качестве перспективных признаков для РС, эксплуатирующегося в условиях циклического изменения давления и температуры, выбраны следующие: обеспечение предварительной герметичности контактными давлениями на уплотнительных поверхностях; сохранение герметичности в рабочих условиях за счет принципа самоуплотнения; многократность использования кольца обеспечивается за счет упругой работы его элементов; сочетание механического и гидравлического способов нагружения уплотнительных поверхностей; надежность герметизации путем осуществления переменной величины контакта; использование самоуплотняющихся колец с электролитическим покрытием мягким металлом; ускорение сборки-разборки соединения и повышение надежности за счет использования вспомогательных устройств, обеспечивающих равномерное нагружение, предохранение от перегрузки, проскальзывания и смещения уплотнительных поверхностей.

Проанализируем работу известных конструкций уплотнительных узлов в РС, эксплуатируемых в рассматриваемых условиях и характеризующихся признаками, указанными в таблице 2.

Общими признаками этих конструкций является то, что в них предварительная герметичность обеспечивается контактными давлениями, а сохранение герметичности в рабочих условиях осуществляется за счет самоуплотнения.

В РС с волнообразным кольцом, рисунок 1а, использован принцип радиального самоуплотнения [2, 3]. Предварительная герметизация создается за счет установки кольца с натягом или предварительным охлаждением. В рабочем состоянии крепежные детали нагружены лишь усилием осевого давления среды.



При демонтаже и монтаже волнообразного кольца без охлаждения и циклической работы РС на уплотнительных поверхностях остаются следы скольжения и налипания. В результате этого, кольцо после разборки РС подлежит замене на новое, а уплотнительные поверхности корпуса и крышки требуют их восстановления. Указанные недостатки могут быть частично устранены за счет тщательного выбора материалов контактирующих уплотнительных деталей, а также за счет изменения конструкции уплотнительного узла [10].

Известна конструкция уплотнительного узла с использованием спирально-навитой прокладки, рисунок 1б, выполняемой из гофрированной металлической ленты с наполнителем и ограничительного кольца, помещаемых между фланцами [5]. Прокладка сжимается на заданную величину до размеров ограничительного кольца, при этом осуществляется закрытие стыка, а остальная часть нагрузки от крепежных элементов воспринимается ограничительным кольцом. Недостатки, присущие конструкции: отсутствие активного способа их радиального сжатия; повышенное трение на уплотнительных поверхностях в процессе затяжки крепежных деталей РС; сравнительно большие радиальные габариты.

Рассматривая работу уплотнительных узлов с волновым кольцом при циклических нагрузках, необходимо отметить, что на уплотнительных поверхностях остаются следы скольжения.

Рассмотрим конструкцию уплотнительного узла с кольцом СКОУ, имеющим осевой упор, рисунок 1в. Уплотнительное кольцо состоит из центрально расположенного упора 1, выполняющего одновременно роль ребра жесткости с отходящими от него в проти-

**Таблица 2. Наличие определяющих перспективных признаков в РС с различными уплотнительными кольцами**

Тип уплотнительного кольца	Многократность использования	Предохранение от перегрузки	Отсутствие смещения при работе	Переменная ширина контакта
Волновое	-	+	-	+
Прокладка спирально-навитая с ограничительным кольцом	-	+	+	-
СКОУ	+	+	+	+

в противоположные стороны упругими губками 2 с коническими уплотнительными поверхностями (Рис. 2). При стягивании соединения упругие губки уплотнительного кольца деформируются к оси соединения за счет разности углов наклона (от 1 до 2°) с сопрягаемыми уплотнительными коническими поверхностями соединяемых элементов 3 и 4, обеспечивая необходимое контактное давление на уплотняемых поверхностях соединения. Радиальный упор 1 ограничивает осевые перемещения сопрягаемых элементов 3 и 4 и предохраняет уплотнительные губки 2 от чрезмерных перегрузок при затяжке крепежных элементов 5, а также позволяет уплотнительным губкам функционировать независимо друг от друга. Вследствие того, что губки работают упруго, при демонтаже соединения кромки возвращаются в свое исходное положение, что дает возможность неоднократно использовать уплотнительное кольцо [1].

Визуальные осмотры и профилографические исследования уплотнительных поверхностей после работы РС показывают, что основной причиной роста утечки являются пластические деформации, износ уплотнительных поверхностей, которые выражаются в значительной трансформации микропрофиля в продольном и поперечном направлениях. Эти явления особенно проявляются в период затяжки и циклических колебаний температуры в деталях РС. Значительное повышение работоспособности конических соединений дает сокращение пути проскальзывания контактирующих элементов относительно друг друга [7], которое может достигаться за счет увеличения силы затяжки. Однако, увеличивать это усилие можно до определенного предела, после чего будут иметь место значительные деформации уплотнительных колец. В конструкции, представленной на рисунке 1в, исключаются образования пластических деформаций при затяжке и износ уплотнительных поверхностей при циклических нагружениях в случае посадки крышки и фланца на упор и нагружении шпилек усилием затяжки, равным по величине усилиям, возникающим под действием давления.

Опыт работы соединения с кольцом этого типа при нестационарном температурном режиме и внутреннем обогреве показывает, что при быстром повышении температуры среды шпильки нагреваются медленнее, чем фланец и крышка, вследствие чего возникают дополнительные усилия на кольцо. Опорные поверхности упора и торцевые поверхности фланцев принимают на себя возрастающую осевую нагрузку. На состояние уплотнительных поверхностей повышение нагрузки сказывается незначительно.

Анализ работы конструкций уплотнительных узлов дал возможность отметить элементы перспективности и результаты свести в таблицу 2. Наличие соответствующих положительных признаков (+) свидетельствует о перспективности и работоспособности рассматриваемого узла.

На основании проведенного анализа конструкция РС с самоуплотняющимся кольцом с осевым упором может быть выбрана в качестве перспективной, в том числе для использования в условиях циклического нагружения давлением и температурой.

На основании выбора перспективных признаков и анализа работы известных конструкций можно схематично представить конструкцию уплотнительного кольца: основной детали разъемного соединения,

которая в условиях циклического изменения давления и температуры должна обладать следующими определяющими, перспективными признаками:

- принципом самоуплотнения;
- предохранением уплотнительных поверхностей при затяжке и в рабочих условиях от перегрузки;
- упругой работой элементов кольца с целью многократного его использования;
- отсутствием смещения в условиях циклически меняющихся нагрузок;
- переменной шириной контакта.

Этими признаками обладает самоуплотняющееся кольцо с осевым упором (СКОУ).

Анализ применимости типов крепежных деталей для РС трубопроводной арматуры показывает целесообразность использования в них бугельных соединений [1]. Применение обычных фланцевых соединений со шпильчатыми крепежными деталями нецелесообразно при частых изменениях температуры в условиях, когда затруднен их монтаж из-за невозможности размещения средств затяжки крепежных деталей и обеспечения требуемой безопасности.

На основании использования предлагаемой классификации и анализа существующих конструкций для условий циклического нагружения давлением и температурой определена перспективная конструкция РС с уплотнительным кольцом СКОУ в сочетании с бугельным соединением, представленная на рисунке 2.

Предлагаемые принципы выбора перспективной конструкции РС целесообразно использовать при

Рисунок 2. Бугельное соединение с уплотнительным кольцом СКОУ



- 1 - ребро жесткости,
- 2 - уплотнительные губки,
- 3, 4 - соединяемые элементы,
- 5 - крепежные элементы

выборе других специальных конструкций и должны включать:

- усовершенствование предлагаемой классификации с целью полного учета различных сторон работы и конструирования РС;
- анализ классификации с целью выбора перспективных признаков конструкции;
- анализ существующих конструкций уплотнительных узлов, включающих максимальное число определяющих перспективных признаков, и выбор оптимальной конструкции для конкретных условий эксплуатации;
- разработка конструкции РС для конкретных условий эксплуатации.

В настоящее время в ОАО «ИркутскНИИХиммаш» с использованием этих принципов разработан ряд новых конструкций бугельных соединений, которые успешно внедряются на промышленных предприятиях.

#### Список литературы

1. Погодин В.К. Разъемные соединения и герметизация в оборудовании высокого давления / Под ред. А.М. Кузнецова. Иркутск: Издание ОГУП «Иркутская областная типография № 1». – 2001. – 406с.: илл.
2. Продан В.Д. Техника герметизации разъемных неподвижных соединений. / М. Машиностроение, – 1991, – 160 с.
3. Румянцев О.В. Оборудование цехов синтеза высокого давления в азотной промышленности. – М.: Химия, 1970.
4. Гуревич Д.Ф. Расчет и конструирование трубопроводной арматуры. /М.: Машиностроение, - 1969, 880с.
5. Максимов В.А., Дектярев Е.В. Спирально-

навитые многослойные прокладки./УП Международная конференция по уплотнениям. Венгрия, Будапешт, 1982.

6. Погодин В.К., Решетник Н.С., Погодина А.А., Заикина Е.В., Ильин Е.Т., Уланов Г.А. Создание нормативной базы на сборку, техническое обслуживание и ремонт разъемных соединений с уплотнительными прокладками из терморасширенного графита./Безопасность труда в промышленности, 2005, № 2.

7. Погодин В.К., Древин А.К., Шумкова С.И., Лившиц О.П. Влияние повторных нагружений на работоспособность уплотнительных соединений./ Сборник «Повышения эксплуатационных свойств деталей машин технологическими методами», Иркутск, 1978.

8. Лившиц В.И., Погодин В.К., Домашнев А.Д. Газовые испытания на герметичность при высоких давлениях дельта-обтюраторов из различных материалов./«Химическое и нефтяное машиностроение», 1974, №4.