

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К РАЗРАБОТКЕ НОВЫХ ТИПОВ ТРУБОПРОВОДНОЙ АРМАТУРЫ И РАЗЪЕМНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ДЛЯ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ



ИркутскНИИхиммаш

Трутаев Станислав Юрьевич, к.т.н., зам. ген. директора по исследованиям и разработкам, АО «ИркутскНИИхиммаш»

Разработка новых типов трубопроводной арматуры и разъемных соединений для нефтегазовой отрасли является **сложной научно-технической задачей**, требующей от конструктора не только выдающихся инженерных навыков, но и наличия в его распоряжении развитой научно-исследовательской, технологической и инженерной инфраструктуры. В первую очередь это касается разработки изделий, **ориентированных на применение в тяжелых и экстремальных условиях эксплуатации**, таких как высокие давления, температуры, динамические нагрузки и т. д.

Неверный учет отмеченных факторов, действующих на изделие во время эксплуатации, может существенно сокращать его жизненный цикл и становиться причиной появления аварийных ситуаций и инцидентов на производстве. Так, анализ аварийности на отечественных предприятиях нефтегазовой отрасли показывает, что подавляющее их количество происходит по причине **разгерметизации разъемных соединений оборудования** [1-4]. При этом в качестве основных причин разгерметизации отмечаются неправильно выбранные на стадии проектирования материальное и конструктивное исполнения разъемных соединений, **не обеспечивающие надежную и длительную эксплуатацию при фактически действующих повреждающих факторах**.

Учитывая сложившуюся ситуацию, АО «ИркутскНИИхиммаш» на постоянной основе проводит работы по разработке и внедрению новых перспективных конструкций трубопроводной арматуры и разъемных соединений, а также совершенствованию методов их расчета и оптимизации [5-7]. В Институте имеется обширная научно-исследовательская и испытательная база, а также опытно-промышленное производство, что создает оптимальные условия для развития в указанном направлении.

Для **оптимального проектирования трубопроводной арматуры и разъемных соединений** специалистами Института разработано **собственное специализированное программное обеспечение**, базирующееся на применении метода конечных элементов [8, 9]. Отмеченное программное обеспечение **позволяет осуществлять:**

- **параметрическую оптимизацию** геометрии деталей технологического оборудования, включая трубопроводную арматуру и разъемные соединения.
- **прочностной анализ** технологического оборудования;

- **уточненный расчет** спектров собственных колебаний оборудования с учетом действия статических нагрузок;
- **динамический анализ** оборудования при действии вибрационных, сейсмических и др. видов динамических нагрузок;
- **расчетно-экспериментальную оценку** напряженно-деформированного состояния оборудования по результатам натурных исследований.

В основе разработанного программного обеспечения лежит авторская библиотека объемных конечных элементов со смешанной степенью интерполяции как геометрии, так и перемещений, а также возможностью сочетания в одном конечном элементе как субпараметрического, так и изопараметрического подходов. Это позволяет получать требуемые **оптимальные решения в кратчайшие сроки при сохранении приемлемой точности расчетов** (рис. 1).

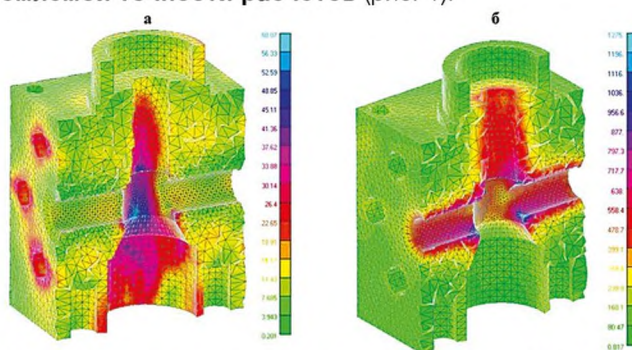


Рис. 1. Пример визуального отображения напряженно-деформированного состояния корпуса клапана высокого давления: а – при затяжке шпилек; б – при гидрориспытаниях

Библиотека (табл. 1) представлена пятью объемными конечными элементами, а именно гексаэдром с числом узлов **от 8 до 32**, элементом гибридной формы с числом узлов **от 7 до 29**, призмой с числом узлов **от 6 до 24**, пирамидой с четырехугольным основанием с числом узлов **от 5 до 21** и тетраэдром с числом узлов **от 4 до 16**.

Одной из перспективных разработок Института стали так называемые бугельные разъемные соединения, являющиеся более совершенными и технологичными аналогами классических фланцевых разъемных соединений. **Данное направление успешно развивается в Институте с 2002 г. под научным руковод-**

КЭ	Число вершин	Число ребер	Число граней	Максимальное число узлов
Тетраэдр	4	6	4	16
Пятиугольная пирамида	5	8	4	21
Треугольная призма	6	9	5	24
Гибрид	7	11	6	29
Гексаэдр	8	12	6	32

Табл. 1. Характеристики объемных конечных элементов

ством д.т.н. Погодина В.К. В последние десятилетия разработано и внедрено в промышленность порядка **10 новых конструкций бугельных соединений** [10-14], а также методик по их расчету и конструированию, в т. ч. принятых на национальном уровне [15, 16].

Бугельные разъемные соединения являются разновидностью муфтовых разъемных соединений [1, 3]. Бугельные разъемные соединения могут применяться для герметизации трубопроводов, сосудов, аппаратов опасных производственных объектов, в т. ч. работающих при высоких давлениях и температурах. По сравнению с фланцевыми разъемными соединениями **бугельные разъемные соединения обладают целым рядом преимуществ**, ключевым из которых является в разы **меньшая металлоемкость**. Так, по данным [1], металлоемкость БРС для трубопровода диаметром **50 мм** при давлении рабочей среды **35 МПа** приблизительно **в 7 раз меньше** стандартного фланцевого соединения. На рисунке 2 изображен пример, визуально подчеркивающий преимущества бугельных соединений перед фланцевыми. Указанные соединения изготовлены в АО «ИркутскНИИхиммаш» для сопряжения частей трубопроводов **DN 50, PN 320**.



Рис. 2. Бугельное и фланцевое соединения для труб DN 50, PN 320:
1 – фланцевое соединение;
2 – бугельное соединение

Помимо очевидных преимуществ в металлоемкости бугельные разъемные соединения прекрасно демонстрируют себя в условиях **повышенных вибраций**, свойственных, например, трубопроводным обвязкам насосно-компрессорного оборудования [17].

Для оценки показателей надежности бугельных соединений при работе в отечественных условиях в Институте под руководством к.т.н. Трутаева С.Ю. проводился специальный комплекс расчетных и натурных исследований (рис. 3). Исследования были направлены на **определение условий работоспособности бугельных разъемных соединений** по критерию сохранения оптимальной формы эпюры контактного давления при эксплуатации в условиях действия вибрационных нагрузок. В частности, было установлено, что **работоспособность бугельных разъемных соединений сохраняется** при относительном динамическом перемещении между самим бугелем и примыкающим к нему участком трубопровода **до 100 мкм**. Несмотря на кажущуюся малость данного показателя, в реальных условиях эксплуатации этот параметр практически не достижим. Так, например, для бугельного разъемного соединения, размещенного в середине пятиметрового пролета трубопровода **DN 120**, отмеченные относительные перемещения **в 100 мкм** могут быть достигнуты при амплитуде вынужденных колебаний трубопровода **более 10 мм** в стреле прогиба, что в десятки раз превышает допустимый уровень вибрации [18].

На сегодняшний день Институтом выпускается целый спектр бугельных разъемных соединений по ТУ 3647 – 067 – 00220227 – 2016 [19] для различных сфер применения со следующими техническими характеристиками (табл. 2).

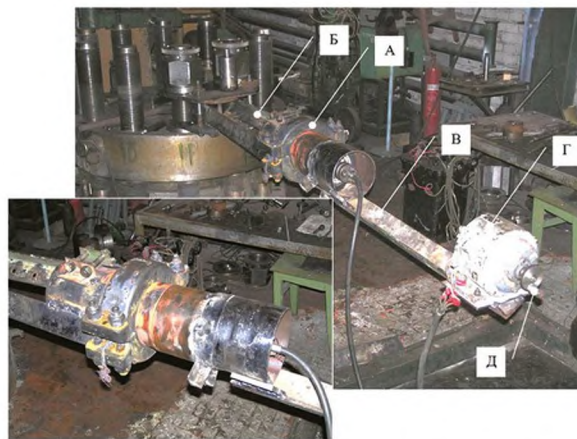


Рис. 3. Вибрационные испытания бугельного соединения DN 120 PN 320 на стенде высокого давления АО «ИркутскНИИхиммаш»: а – бугельное соединение; б – консольная балка; в – кронштейн; г – электродвигатель; д – эксцентрик

Наименование параметра	Значение
Диаметр номинальный	до 800 мм
Давление условное	до 250 МПа
Температура рабочая	-70 °С ... +510 °С
Температура окружающей среды	-60 °С ... +50 °С
Среда	нефть, нефтепродукты, природный газ и др.

Табл. 2. Технические характеристики бугельных разъемных соединений

В зависимости от требуемых параметров эксплуатации в бугельных разъемных соединениях **могут быть использованы различные типы уплотнительных поверхностей** для использования совместно с металлическими или неметаллическими уплотнительными кольцами (рис. 4). Так, например, на высокие давления и температуры применяется бугельное разъемное соединение с уплотнением типа **СКОУ по ГОСТ Р 55429** [15].

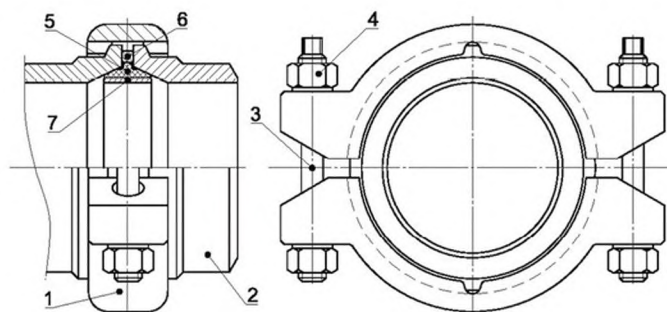


Рис. 4. Общий вид бугельного разъемного соединения:
1 – бугель; 2 – ниппель; 3 – шпилька; 4 – гайка; 5 – кольцо уплотнительное неметаллическое; 6 – кольцо ограничительное; 7 – кольцо упорное

По требованию заказчика бугельные разъемные соединения могут поставлять как в качестве **отдельного изделия с ниппелями под приварку** (рис. 5а), так и **в составе технических устройств**, например, трубопроводной арматуры (рис. 5б), технологических аппаратов (рис. 5в), трубопроводов (рис. 5г).



Выводы

Разработка и внедрение на реальных производствах нефтегазовой отрасли перспективных конструкций трубопроводной арматуры и разъемных соединений является сложной научно-технической задачей, требующей применения самых современных подходов к процедурам проектирования, изготовления, испытания и апробации конечных изделий.

Предлагаемые АО «ИркутскНИИхиммаш» ▶



Рис. 5. Варианты поставки бугельных разъемных соединений: а – с ниппелями под приварку; б – в составе трубопроводной арматуры; в – в составе технологических аппаратов; г – в составе трубопроводов

подходы к проектированию трубопроводной арматуры и разъемных соединений, а также разрабатываемые и внедряемые Институтом уникальные методики и программное обеспечение позволяют решить указанную задачу в полном объеме, что обеспечивает длительную и надежную эксплуатацию технологического оборудования на многих предприятиях нефтегазовой отрасли РФ.

АО «ИркутскНИИХиммаш» приглашает к сотрудничеству промышленные предприятия, проектные организации, торговые компании, выражая готовность изготовления трубопроводной арматуры и бугельных разъемных соединений по конкретным требованиям заказчиков согласно опросным листам.

Литература

1. Погодин, В. К. Разъемные соединения и герметизация в оборудовании высокого давления / **В. К. Погодин.** – Иркутск : ИркутскНИИХиммаш, **2001.** – **405 с.**

2. Продан, В. Д. Герметичность разъемных соединений оборудования, эксплуатируемого под давлением рабочей среды : учеб. пособ. / **В. Д. Продан.** – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», **2012.** – **280 с.**

3. Божко, Г. В. Разъемные герметичные соединения / **Г. В. Божко** // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2010. – Т. 16, № 2. – **С. 404-420.**

4. Погодин, В. К. Разъемные соединения. Технология применения в оборудовании под избыточным давлением. Проектирование / **В. К. Погодин** : в 2 т. – Братск : Изд-во БрГУ, 2013. – Т. 1. – **366 с.**

5. Трутаев, С. Ю. Инновационные подходы к проектированию новых типов разъемных соединений / **С. Ю. Трутаев, В. К. Погодин, А. Д. Михайлов** // Научная индустрия европейского континента : материалы IX международной научно-практической конференции (01-03 декабря 2013 г.). – Прага (Чехия), 2013. – **С. 50-52.**

6. Создание нормативной базы на сборку, техническое обслуживание и ремонт разъемных соединений с уплотнительными прокладками из терморасширенного графита / **В. К. Погодин** [и др.] // Безопасность труда в промышленности. – 2005. – № 2. – **С. 45-49.**

7. Трутаева, В. В. Разработка методов оптимального проектирования разъемных соединений высокого давления / **В. В. Трутаева, С. Ю. Трутаев, В. К. Погодин** // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2015. – № 9. – **С. 22-25.**

8. Зенкевич, О. Метод конечных элементов в технике / **О. Зенкевич.** – М. : Мир, **1975.** – **542 с.**

9. Бате, К. Численные методы анализа и метод конечных элементов / **К. Бате, Е. Вильсон.** – М. : Стройиздат, **1982.** – **448 с.**

10. Разъемное соединение [Текст] : пат. 2280210 РФ : МПК F16L23/02 / **Погодин В. К.** [и др.] ; заявитель и патентообладатель **ОАО «Иркутский научно-исследовательский и конструкторский институт химического и нефтяного машиностроения».** – № 2005103073/06 ; заявл. 07.02.2005 ; **опубл. 20.07.2006.** – **3 с.**

11. Разъемное соединение [Текст] : пат. 2280209 РФ : МПК F16L21/02 / **Погодин В. К.** [и др.] ; заявитель и патентообладатель **ОАО «Иркутский научно-исследовательский и конструкторский институт химического и нефтяного машиностроения».** – № 2005121860/06 ; заявл. 11.07.2005 ; **опубл. 20.07.2006.** – **3 с.**

12. Разъемное соединение [Текст] : пат. 2322632 РФ : МПК F16L21/02 / **Погодин В. К.** [и др.] ; заявитель и патентообладатель **ОАО «Иркутский научно-исследовательский и конструкторский институт химического и нефтяного машиностроения».** – № 2006128541/06 ; заявл. 04.08.2006 ; **опубл. 20.07.2008,** Бюл. № 20/2008. – **3 с.**

13. Разъемное соединение [Текст] : пат. 121336 РФ : МПК F16L23/02 / **Гридин Г. Д., Кузнецов К. А., Хабуев В. О.** ; заявитель и патентообладатель **ОАО «Иркутский научно-исследовательский и конструкторский институт химического и нефтяного машиностроения».** – № 2011125669/06 ; заявл. 22.06.2011 ; **опубл. 20.10.2012.** – **3 с.**

14. Разъемное соединение [Текст] : пат. 2440534 РФ : МПК F16L21/00 / **Гридин Г. Д., Кузнецов К. А.** ; заявитель и патентообладатель **ОАО «Иркутский научно-исследовательский и конструкторский институт химического и нефтяного машиностроения».** – № 2010124228/06 ; заявл. 11.06.2010 ; **опубл. 20.01.2012.** – **3 с.**

15. ГОСТ Р 55429 – 2013. Соединения бугельные разъемные. Конструкция, размеры и общие технические требования. – **2013.** – **30 с.**

16. ГОСТ Р 55430 – 2013. Соединения трубопроводов разъемные. Оценка технического состояния и методы испытаний. Безопасность эксплуатации. – **2013.** – **42 с.**

17. Якубович, В. А. Оценка вибросостояния энергетического оборудования : справ. пособ. / **В. А. Якубович.** – М. : РАО ГАЗПРОМ, ДАО «ОРГЭНЕРГОГАЗ», ИТЦ «ОРГТЕХДИАГНОСТИКА», **1997.** – **215 с.**

18. ГОСТ 32388 – 2013. Трубопроводы технологические. Нормы и методы расчета на прочность, вибрацию и сейсмические воздействия. – **2013.** – **120 с.**

19. ТУ 3647 – 067 – 00220227 – 2016. Бугельные разъемные соединения. – Иркутск : АО «ИркутскНИИХиммаш», **2016.** – **27 с.** ■



Присылайте
ваши комментарии
и предложения
по материалу