

К.Ю. Зерщиков, Ю.В. Семенов, кандидаты техн. наук  
(ООО «Константа-2», г. Волгоград, Россия). E-mail: secret@constanta-2.ru

## Наилучшие доступные материалы для уплотнений в конструкциях трубопроводной арматуры

Полимерные и композитные уплотнительные материалы применяются для уплотнения рабочих органов (шаров-пробок, шибберов, штоков, шпинделей) трубопроводной арматуры различных типов. Основными полимерными материалами, применяемыми для изготовления уплотнений, до настоящего времени являются материалы на основе фторопласта-4 и полиамиды.

Уникальные достоинства фторопласта-4 (химстойкость, теплоустойчивость, пластичность, невысокая твердость, низкий коэффициент трения) сочетаются с такими свойствами, как невысокая прочность (что ограничивает возможность применения фторопласта-4 при повышенных давлениях), высокая ползучесть (что не позволяет поддерживать надлежащий уровень контактных давлений без применения специальных методов), высокий коэффициент линейного расширения.

Полиамиды отличаются более высокой прочностью и износостойкостью, однако их применение ограничивается из-за высокого водопоглощения и невысокой химстойкости.

Перечисленные недостатки материалов, применяемых для изготовления уплотнений трубопроводной арматуры — серьезный стимул для разработки новых материалов.

В ООО «Константа-2» в связи с длительным опытом производства и поставок уплотнений из фторопласта-4 и композитов на его основе и с учетом таких негативных свойств фторопласта-4, как низкая прочность и высокая ползучесть под нагрузкой, особенно при повышенных температурах, **разработан материал нового поколения для изготовления уплотнений трубопроводной арматуры — «Констафтор С».**

Новый материал — смесь термостойких полимеров с функциональными наполнителями — характеризуется высокой химстойкостью и низким водопоглощением.

Свойства нового материала полностью соответствуют требованиям, предъявляемым к уплотнительным материалам для трубопроводной арматуры, сформулированным в работах [1–3]: невысокие плотность и жесткость, высокие удельные прочностные характери-

стики, достаточная пластичность при теплоустойчивости как минимум до 200 °С.

### Рассмотрим свойства нового композиционного материала «Констафтор С»

#### Физико-механические свойства

Величины основных физико-механических свойств уплотнительных материалов (табл. 1) определены в ходе испытаний по стандартным методикам.

Как следует из табл. 1, «Констафтор С» по комбинации свойств занимает промежуточное положение между самым «мягким» материалом — фторопластом-4 ПН и самым «жестким» материалом — «Констафтор 1000» (РЕЕК).

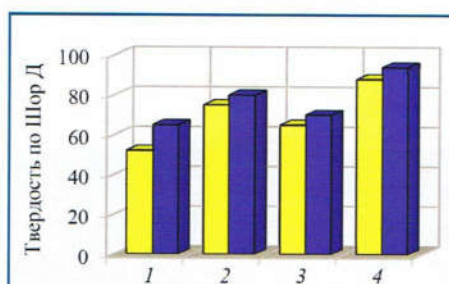
Известно, что чем ниже твердость материала — важнейший показатель, определяющий герметизирующие свойства уплотнителя — тем легче обеспечить герметичность (без утечек) в соединении. Исходя из данных табл. 1, «Констафтор С» лишь немного уступает по этому показателю фторопласту-4 ПН, т. е. для обеспечения герметичности уплотнения

Таблица 1

Уплотнительный материал	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Предел прочности при разрыве, МПа	Относительное удлинение при разрыве, %	Диапазон рабочих температур, °С	Твердость, Шор Д	Предел текучести при сжатии, МПа	Модуль упругости при сжатии, МПа
«Констафтор С»	1,5...1,8	50	10...50	-100... + 200	60...70	50	600
Фторопласт-4 ПН	2,1...2,2	27	300...400	-200... + 200	50...55	10	350
Полиамид-6	1,2...1,4	60	150...200	-40... + 180	75	70	1000
«Констафтор 1000» (РЕЕК)	1,35...1,5	100	10...20	-100... + 300	80...90	130	4000

необходимо невысокое контактное давление, следовательно — можно без специальных мер заменять фторопластовые уплотнения уплотнениями из материала «Констафтор С». «Констафтор С», оставаясь практически таким же эластичным, как фторопласт-4 ПН (что позволяет наилучшим способом обеспечивать герметичность), не уступает фторопласту-4 ПН по химической стойкости, что позволяет применять его при эксплуатации практически во всех коммерчески используемых средах. При этом прочностные характеристики материала «Констафтор С» значительно превосходят характеристики фторопласта-4 ПН и соответствуют уровню прочности полиамида-6, что позволяет применять «Констафтор С» при давлениях до 50 МПа. Если же арматура рассчитана на более высокие давления, необходимо использовать другие материалы из линейки «Констафтор», в частности материалы на основе полифениленсульфида — «Констафтор 1000П» или полиэфирэфиркетона — «Констафтор 1000».

Для уплотнений криогенной арматуры важно сохранение пластичности материала при низких температурах [4]. Исследование твердости материала позволяет качественно оценить изменение герметизирующих свойств при пониженных температурах (рис. 1).



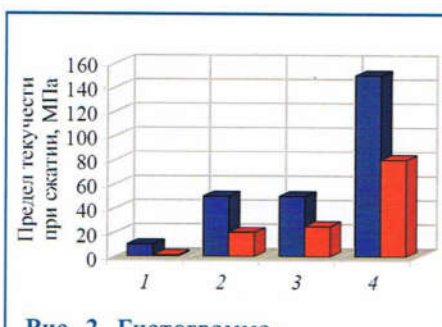
**Рис. 1. Гистограмма сравнения композиционных материалов серии «Констафтор» и других уплотнительных материалов по твердости (Шор Д) при 25 °С (желтый) и при -70 °С (синий):**

- 1 — фторопласт-4 ПН;
- 2 — полиамид-6;
- 3 — «Констафтор С»;
- 4 — «Констафтор 1000»

Как следует из рис. 1, твердость всех исследованных материалов увеличивается при снижении температуры испытаний от + 25 °С до -70 °С. Следовательно, для обеспечения герметичности при низких температурах необходимо увеличение контактного давления в уплотнительном узле. Однако твердость материала «Констафтор С» возрастает незначительно, а значит (также как и у фторопласта-4 ПН) сохраняется высокая герметизирующая способность при -70 °С.

### Теплостойкость

Теплостойкость (или прочность и деформация под нагрузкой при повышенных температурах) — начальная информация для конструктора о допустимой температуре продолжительной эксплуатации материала под давлением. Для определения показателя теплостойкости была проведена серия экспериментов по определению пределов текучести уплотнительных материалов при нормальной и повышенной температурах (рис. 2).



**Рис. 2. Гистограмма сравнения материалов по пределу текучести при сжатии при 25 °С (синий) и при 150 °С (красный):**

- 1 — фторопласт-4 ПН;
- 2 — полиамид-6;
- 3 — «Констафтор С»;
- 4 — «Констафтор 1000»

Из рис. 2 следует, что «Констафтор С» (как и полиамид-6) существенно превосходит по прочности фторопласт-4 ПН и при температуре 150 °С может эксплуатироваться при давлении до 20 МПа. В особо тяжелых условиях эксплуатации для уплотнений рекомендуется применять материал «Констафтор 1000».

### Хладостойкость (морозостойкость)

В связи с тем, что трубопроводная арматура эксплуатируется в районах Крайнего Севера, а также применяется в оборудовании для сжижения газов, исследование свойств уплотнительных материалов, а именно сохранение пластичности при низких температурах — актуально. Исследования в климатической камере показали, что «Констафтор С» сохраняет пластичность вплоть до -70 °С, и при испытании на изгиб по стандартной методике хрупкого разрушения не происходит.

### Коэффициент термического линейного расширения

Не менее важным показателем для материала является коэффициент термического линейного расширения (КТЛР). В работе [4] отмечается, что основной проблемой при использовании уплотнений криогенной арматуры является то, что КТЛР для стали и политетрафторэтилена (фторопласта-4) сильно отличаются. Различное изменение размеров отдельных элементов уплотнительного узла при понижении температуры приводит к изменению натяга и, следовательно, контактных напряжений и сопровождается снижением показателей герметичности (контактного давления герметичности) и увеличением утечек. Поэтому более низкий КТЛР материала «Констафтор С» (рис. 3) является его существенным преимуществом перед традиционно используемыми уплотнительными материалами.

Очень важным преимуществом материала «Констафтор С» перед фторопластовыми композитами является высокая размерная стабильность, что позволяет использовать этот материал в узлах повышенной точности.

### Химическая стойкость

В условиях эксплуатации важна стойкость материала к воздействию внешней среды, которая зависит от физико-химических свойств материала. «Констафтор С» отличается

Таблица 2

Среда эксплуатации	Условная стойкость
HCl, H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , HNO <sub>3</sub> , (10...30 %)	Отличная
HCl, H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , HNO <sub>3</sub> , (80...95 %)	Низкая
Щелочи (10...80 %)	Отличная
Растворители	Отличная
Окислители	Удовлетворительная
Фенолы	Отличная
Углеводороды	Отличная
Спирты	Отличная
Вода пресная, морская	Отличная
Агрессивные и неагрессивные газы	Отличная

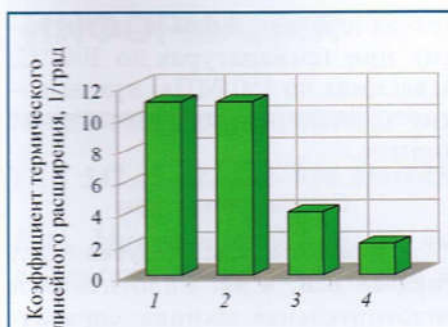


Рис. 3. Гистограмма сравнения материалов по коэффициенту линейного расширения ( $\times 10^{-5}$ ) в интервале температур 20...200 °С:

- 1 — фторопласт-4 ПН;  
2 — полиамид-6;  
3 — «Констафтор С»;  
4 — «Констафтор 1000»

стойкостью к воздействию многих химически активных сред и устойчив к коррозии даже при высоких температурах (табл. 2).

### Водопоглощение

Водопоглощение (увеличение массы образца при экспозиции в воде или другой среде) является интегральной характеристикой изменений в материале при физическом и химическом воздействиях среды. Результаты экспериментальных исследований водопоглощения уплотнительных материалов приведены в табл. 3.

Полученные данные свидетельствуют о высокой стойкости материала «Констафтор С» к гидролизу, т. е. о возможности его применения под воздействием холодной воды, горячей воды или пара (под высоким давлением) в течение длительного времени без существенного ухудшения свойств.

Также исследовали набухание материала «Констафтор С» в сравнении с фторопластовым композитом Ф4К20 в нескольких модельных средах в течение 24 ч при температуре 90 °С, % (табл. 4).

Результаты испытаний подтвердили высокие показатели (сопоставимые с показателями фторопластового композита) сопротивляемости материала «Констафтор С» проникновению химических сред различной природы.

Температура испытаний	Водопоглощение, %				
	«Констафтор С»		Полиамид-6	«Констафтор 1000»	
	за 1 сут.	за 30 сут.	за 1 сут.	за 1 сут.	за 30 сут.
25 °С	0	0,2	6	0	0
90 °С	0,2	0,4	11	0	0,1

Таблица 4

Материал	Вода	СЖР 3	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (10 %)	NaOH (10 %)
«Констафтор С»	0,2	0,4	0,25	0,3
Ф4К20	0,1	0,2	0,2	-0,1

### Триботехнические свойства

Коэффициент трения и параметр износостойкости характеризуют конкретную триботехническую систему и поэтому являются не только свойствами материала, но также зависят от контртела, давления на поверхность, скорости скольжения и т. п. Для оценки применимости материалов необходимы их сравнительные характеристики. Коэффициент трения материала уплотнения должен быть низким, поскольку с увеличением условного прохода трубопроводной арматуры возрастает усилие, действующее на уплотнение, и следовательно возрастает усилие на преодоление сил трения, необходимое для управления затвором. Как и ожидалось (рис. 4), коэффициенты

трения представленных материалов «Констафтор» выше, чем у фторо-

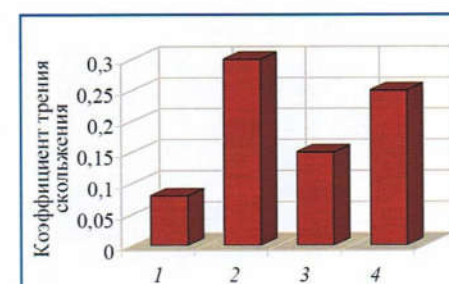


Рис. 4. Гистограмма сравнения материалов по коэффициенту сухого трения по стали марки 08Х18Н10Т (скорость скольжения 10 мм/мин):

- 1 — фторопласт-4 ПН;  
2 — полиамид-6;  
3 — «Констафтор С»;  
4 — «Констафтор 1000»

пласта-4 ПН, однако абсолютная величина коэффициента трения для материала «Констафтор С» не превышает 0,15, что не должно существенно снизить эффективность его применения.

Благодаря прочной, износостойчивой матрице композиционный материал «Констафтор С» отличается высокой износостойкостью в широких диапазонах давлений, нагрузок, скорости и температуры при различных шероховатостях сопрягаемых поверхностей.

Высокая технологичность и возможность вторичной переработки, а также невысокая стоимость — существенные преимущества материала «Констафтор С» перед материалами на основе фторопласта-4.

Таким образом, новый материал «Констафтор С» является альтернативным материалом фторопласту-4, полиамамидам и их композитам, применяемым для изго-

товления уплотнений, и сочетает высокие физико-механические, теплофизические, экологические и экономические характеристики.

На примере фторопласта-4 очевидно, что одним материалом, даже с уникальными характеристиками, невозможно обеспечить работоспособность арматуры при всех разнообразнейших условиях эксплуатации.

Поэтому, помимо материала «Констафтор С», предназначенного для комплектации наиболее экономичной трубопроводной арматуры (в частности шаровых кранов для системы ЖКХ), разработаны также композиционные материалы для широкого диапазона условий эксплуатации, которые объединены под брендом «Констафтор».

Материалы серии «Констафтор 1000» предназначены для высоконагруженных уплотнений, эксплуатируемых в сильно загрязненных

средах (с абразивным воздействием), при температурах до 300 °С, давлениях до 150 МПа, при высоких концентрациях агрессивных агентов.

#### Список литературы

1. Кондаков Л.А., Голубев А.И., Гордеев В.В. и др. Уплотнения и уплотнительная техника: справочник. М.: Машиностроение. 1994. 448 с.
2. Зершиков К.Ю., Семенов Ю.В. Применение композиционных материалов на основе термостойких полимеров в шаровых кранах с пробкой в опорах // Арматуростроение. 2015. № 2/95. С. 53–58.
3. Зершиков К.Ю., Семенов Ю.В., Кузахметова Е.К. Материалы серии «Констафтор» для уплотнений шаровых кранов // Арматуростроение. 2014. № 4/91. С. 52–56.
4. Paxton N., Wood M. Selecting a valve for cold service // Valve world. 2014. V. 19, I. 8, 9.

#### УВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ!

Выписывайте и читайте ежемесячный журнал  
**ХИМИЧЕСКОЕ И НЕФТЕГАЗОВОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ**  
Подписку можно оформить в любом почтовом отделении  
или через редакцию с любого месяца и на любой срок

#### Индекс журнала:

71042 — по каталогу Агентства «Роспечать»

38589 — по объединенному каталогу «Пресса России»

#### Стоимость подписки:

На 1 месяц.....1300 руб.

На 6 месяцев .....7800 руб.

На 12 месяцев.....15600 руб.

#### Стоимость электронной версии:

1 страница..... 50 руб.

1 номер.....500 руб.

12 номеров.....5000 руб.

Журнал переводится на английский язык и переиздается под названием **Chemical and Petroleum Engineering**

Телефон редакции: 8 (915) 339-37-61

E-mail: [himnef@mami.ru](mailto:himnef@mami.ru)

Сайт: <http://himnef.ru>

