

К.Ю. Зерщиков, Е.Ю. Виноградова, «Константа-2»

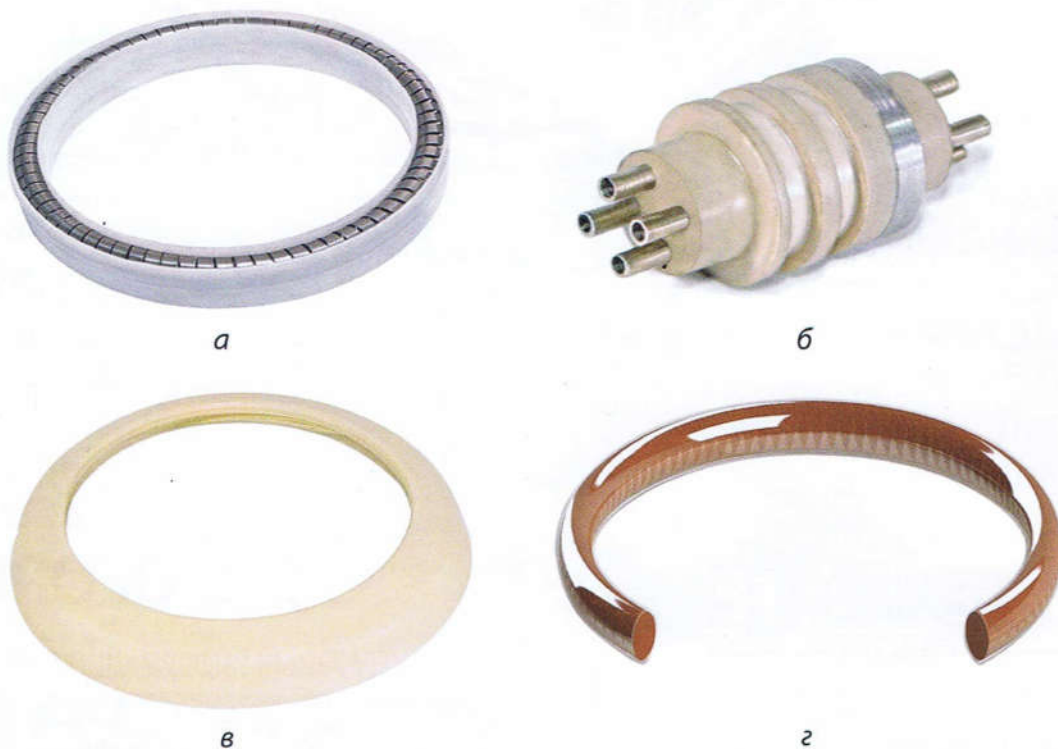
ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ ПРИ ВНЕДРЕНИИ ИННОВАЦИОННЫХ КОМБИНИРОВАННЫХ УПЛОТНЕНИЙ

Аннотация: В статье рассмотрены комбинированные уплотнения, применение которых в сочетании с инновационными композиционными материалами позволит разработчикам создавать технику с уникальными эксплуатационными характеристиками.

Уплотнения были и остаются важной и в какой-то степени решающей составной частью оборудования для подачи и транспортировки газообразных, жидких, сыпучих сред. И даже самая смелая фантазия не предполагает отсутствие уплотнений в будущем: среды перемещаются по трубам, перекачиваемые насосами, потоки перекрываются и восстанавливаются трубопроводной арматурой. Технический уровень вышеозначенного оборудования в значительной степени зависит от технико-технического уровня применяемых уплотнений, при этом их стоимость в составе оборудования составляет доли или единицы процентов. Следовательно, существуют серьезные стимулы для теоретических и практических поисков и разработок в этой области, особенно учитывая исторически обусловленный перерыв, образовавшийся в этой сфере знаний и технологий в России.

Как отмечалось ранее [1], рабочие характеристики уплотнений, их долговечность, герметичность определяются конструкцией и материалом уплотнения, а также конструкцией уплотнительного узла. Применение уплотнений того или иного вида определяется параметрами эксплуатации и конструктивными особенностями оборудования. Поскольку условия эксплуатации непрерывно усложняются и повышаются требования к конструкции оборудования (снижение массогабаритных характеристик, энергопотребления при эксплуатации), применение традиционных уплотнений не всегда позволяет реализовать заявляемые характеристики. В связи с этим наблюдается тенденция к замещению «моно» уплотнений комбинированными.

Комбинированные уплотнения представляют собой соединенные в одном уплотнении элементы с отличающимися свойствами (см. рисунок). В них так же, как и в композици-



Примеры комбинированных уплотнений:

а – фторопластовая манжета с подпружинивающим элементом; **б** – гермоввод с ПЭЭК матрицей;

в – манжета из композита «Констафтор С75» на основе полифениленсульфида;

г – резиновое кольцо в сплошной фторопластовой оболочке

онных материалах, взаимодействие разнородных элементов приводит к качественно иным или существенно улучшенным характеристикам уплотнения, отличающихся от характеристик отдельных элементов.

Характеристики этих уплотнений уникальны, но при этом внедряются эти инновации медленно. Почему так сложно происходит внедрение новых продуктов на российском рынке? Менеджмент инноваций говорит в таких случаях о разрыве в жизненном цикле внедрения технологии [2]. Разрыв происходит на этапе внедрения между «ранними последователями» – первыми внедренцами, которые составляют не более 10%, хотя получают основные выгоды от внедрения, надеются на будущее конкурентное преимущество и согласны преодолевать на этом пути некоторые трудности, и «ранним большинством», которых более 50% – прагматиками, которые начинают внедрение, только понимая, что оно приведет к улучшениям без особых рисков. Единственная возможность преодолеть этот разрыв – убедить «раннее большинство», что технические и экономические показатели продукта улучшатся после внедрения, показав при этом, что возможные риски и неопределенности устранены. Необходимо снять сомнения критически настроенных членов «раннего большинства» по поводу проблем с новыми продуктами [2].

Следуя этой логике, попытаемся развеять сомнения в эффективности применения комбинированных уплотнений, в частности российского производства. Для этого рассмотрим историю развития нескольких инновационных продуктов, предназначенных для трубопроводной арматуры и насосов, и основные характеристики этих уплотнений, определяющие их работоспособность в уплотнительных узлах, по сравнению с традиционно применяемыми.

В начале 80-х годов прошлого века за рубежом было запущено производство нового класса уплотнений Encapsulated O-rings – резиновых колец во фторопластовой оболочке (РФК) (см. рис. 2). Это техническое решение было вызвано к жизни ужесточением условий эксплуатации оборудования с резиновыми кольцами круглого сечения, которые по целому ряду параметров уже не отвечали новым требованиям. Данное решение позволило совместить одно из ключевых свойств, присущих резиновым уплотнителям, – эластичность, и соответственно способность длительно поддерживать оптимальный уровень контактного давления с высокими рабочими температурами в сильно агрессивных средах. Попытки изготовить капсулированные кольца для нужд военно-промышленного комплекса, ракетно-космической промышленности предпринимались в России с 80-х годов прошлого века. В начале 2000-х

годов мы пытались изготовить РФК для торцовых уплотнений насосов, работающих с агрессивными средами, по просьбе одного из наших заказчиков. Однако из-за невысокого качества колец и нестабильности их характеристик они не нашли широкого применения. Но исследования, направленные на доработку технологии, были продолжены, в 2008 г. был получен первый патент на способ изготовления РФК. Проводились исследования, направленные на уточнение рабочих характеристик РФК, особенностей их применения. В результате в 2010 г. технологию довели до промышленного уровня, были выпущены ТУ на РФК и освоено их мелкосерийное, а затем и серийное производство.

РФК имеют выдающиеся технические характеристики:

- 1) уникальную химическую стойкость в растворах кислот и щелочей, сильных окислителях, всех видах нефтепродуктов, растворителях;
 - 2) возможность использовать данные уплотнители в парах вращательного и возвратно-поступательного движения при скоростях относительного перемещения до 3 м/с (в отличие от 0,5...1 м/с для резиновых уплотнителей);
 - 3) низкий коэффициент трения скольжения (0,1...0,2) позволяет использовать уплотнения в узлах, работающих без смазки;
 - 4) возможность эксплуатации при давлениях до 50 МПа;
 - 5) диапазон температур эксплуатации от –200 до +250°С;
 - 6) отсутствие газопроницаемости и набухания в средах, а также эффекта декомпрессии при переменных давлениях;
 - 7) высокую радиационную стойкость.
- В табл. 1 представлено сравнение характеристик резиновых колец и РФК, из которой видно, насколько РФК превосходят традиционные уплотнения.

На сегодня отработана технология серийного производства РФК, исследованы основные факторы, определяющие работоспособность РФК, накоплен опыт применения РФК производителями оборудования для пищевой, нефтегазовой, ракетно-космической и атомной отраслей. Несмотря на это, потенциал применения этих колец не используется в России в должной мере [3].

В геофизике и других областях, где действуют высокие температуры и давления, существует задача передачи энергии или сигналов через разделенные герметичной перегородкой среды, при этом с высоким перепадом давления. Здесь находят применение герметичные вводы (гермовводы), коннекторы, сочетающие уплотнительные свойства с электроизолирующими (см. рис. 6). Ранее изолятором служило стекло либо фторопласт. Оба этих материала имели свои недостатки: стеклянные гермовводы очень хрупкие, поэтому имели невысокую долговечность и были нетехнологичны в применении; фторопластовый изолятор не выдерживал высокие давления и имел низкую прочность

Таблица 1. Сравнительные свойства резиновых и резинофторопластовых уплотнений

	Стойкость против декомпрессии	Стойкость в агрессивных средах	Максимальное рабочее давление, МПа	Интервал температур эксплуатации	Коэффициент трения скольжения без смазки	Стойкость против теплового старения
Резиновые кольца	Низкая	Избирательная	50	–20...+200 –70...+120	0,5	Избирательная
РФК	Высокая	Отличная	50	–100...+250	0,2	Отличная

Таблица 2. Сравнение свойств манжет различного исполнения

Способность поддерживать контактное давление	Коэффициент трения скольжения	Интервал температур эксплуатации	Максимальное рабочее давление, МПа	Стойкость в агрессивных средах	Герметизирующая способность	Манжета
Высокая	0,5	-20...+200 -70...+120	10	Избирательная	Высокая	Резиновая
Низкая	0,2	-200...+250	100	Высокая	Низкая	Пластмассовая
Высокая	0,1	-200...+250	100	Высокая	Высокая	МПЭ

при повышенных температурах. С появлением на рынке суперконструкционных пластиков (ПЭК, ПФС и др.), работоспособных при температурах до 250°C и давлениях до 100 МПа при отсутствии хрупкости, присущей стеклу, они нашли широкое применение для изготовления гермовводов. Первые гермовводы были изготовлены нами в 2005 г., однако проследить результат их применения не удалось. Была попытка освоить производство коннекторов малых размеров для одного из российских предприятий, однако из-за недостаточности опыта изготовления миниатюрных изделий с использованием ПЭК матрицы не удалось создать конкурентоспособное западным аналогам изделие. Однако продолжалось совершенствование технологии на малых сериях коннекторов: были установлены основные параметры технологического процесса, определены требования к материалу матрицы, позволяющие получать качественные изделия. Основной трудностью для развития производства является отсутствие серийности, хотя бы малых партий. Это не позволяет использовать специализированное оборудование, что в свою очередь является основным препятствием для повышения качества, снижения стоимости и конкурентоспособности как на внутреннем, так и внешних рынках. При этом по всем показателям отечественный продукт не хуже, поскольку изготавливается на современном оборудовании, с использованием аналогичных технологических решений, с применением композиционных материалов отечественного производства. В то же время на сайтах зарубежных производителей имеется большое количество разных видов и размеров изделий, чего пока нет в нашей стране.

До настоящего времени не получили широкое применение в конструкциях уплотнительных узлов манжеты с подпружиненным элементом (МПЭ), см. рис. а. Полимерные манжеты с пружиной (spring energized seals) стали применяться в 70-х годах прошлого века за рубежом. Вначале они использовались в аэрокосмической и оборонной промышленности, чуть позже их начали применять в оборудовании для нефтяной и газовой промышленности и других отраслей [4]. Российские разработчики и эксплуатанты нефтегазового оборудования знакомы с МПЭ по зарубежным источникам, поскольку в России эти уплотнения не производились. Отчасти поэтому в России не разрабатывалась техника с использованием данных уплотнений, в лучшем случае использовались готовые узлы, вклю-

чающие эти уплотнения. Первые отечественные прототипы, появившиеся в 2015 г., оказались неудачными. Этот результат послужил толчком к серьезным исследованиям работоспособности МПЭ. Изучение принципов работы этих уплотнений позволило оценить влияние различных элементов комбинированного уплотнения на характеристики герметичности: конструкции манжеты и подпружинивающего элемента, соотношение их с размерами и другими характеристиками посадочного места. Из-за отсутствия в России материалов для производства пружин с необходимыми упругими и стойкими против воздействия агрессивных сред свойствами были запатентованы альтернативные варианты подпружинивающих элементов. С появлением собственных разработок конструкции и технологии производства МПЭ стало возможным целенаправленно выбирать манжеты и конструировать узлы с их применением. Для оценки преимуществ МПЭ в табл. 2 представлены сравнительные характеристики манжет. Как видно, МПЭ объединяют положительные качества пластмассовых и резиновых манжет.

Безусловно, прогресс в уплотнительной технике и, в частности, в плане получения уплотнений с уникальными характеристиками для экстремальных условий эксплуатации немислим без применения композиционных материалов, разрабатываемых с использованием температуростойких, высокопрочных, агрессивностойких, так называемых суперконструкционных пластиков и пластиков со специальными свойствами: полиэфирэфиркетона, полифениленсульфида, полисульфона, сверхвысокомолекулярного полиэтилена, полиимида и других (см. рис. б). Разработку, а затем и применение новых композиционных материалов на основе суперконструкционных пластиков мы начали в 21 веке. Первые пробные поставки композитов на основе ПЭК были не совсем удачными. Как и в большинстве других случаях, это было связано с недостаточностью наших знаний о специфике работы материала, не совсем корректной формулировкой задачи. В результате не удалось получить материал, соответствующий свойствам импортного аналога. С 2006 г. начались систематические исследования, направленные на разработку композитов на основе ПЭК, в 2007 г. были опубликованы первые результаты, появился композит «Констафтор 1000». С 2000 г. проводились работы по созданию уплотнительного материала на основе

Таблица 3. Физико-механические характеристики уплотнительных материалов

Метод испытания	ГОСТ	ASTM	ISO	Материал						
				РЕЕК	Констафтор 1000 Гр	Полиамид 6 (нейлон)	Констафтор С75	Ф-4	Ф4К20	Констафтор С
Прочность при разрыве, МПа	11 262	D 638	527	95	100	50...70	50...70	30	12...15	50...55
Относительное удлинение при разрыве, %				35	25	20...40	15...30	250...300	120...140	30...50
Температура потери прочности (термомеханический анализ), °С	-	-	-	300	300	-40...+120	-70...+150	-200...+150	-100...+150	-70...+150
Твердость по Шору, тип Д	24621	D2240	868	82...84	82...84	82...84	70...75	50...55	55...60	60...65
Прочность при сжатии при 5% деформации, МПа: при 25°С	4651	D695	604	48	53	48	53	10	15	40
при 200°С				8	6	15	20	2	3	8
Коэффициент трения скольжения при нагрузке 10 кН	11629	D1894	8295	0,32	0,15	0,3...0,35	0,12...0,16	0,08...0,1	0,1...0,15	0,12...0,16
Плотность, г/см ³	15139	D792	1183	1,31	1,35	1,1...1,15	1,3...1,35	2,15...2,2	2,15	1,3...1,35
Водопоглощение за 24 ч, %	4650	D570	62	0,1	0,1	2-3	0	0	0	0

СВМПЭ, которые привели к созданию материала «Констафтор СВМ», обладающего высочайшими трибологическими свойствами, и применению его в эжекционных насосах (гидроэлеваторах) для перекачивания высоко агрессивных сред. С 2010 г. начались исследования композитов на основе ПФС, уже через год композиционные материалы под маркой «Констафтор 1000П» начали применяться для изготовления седловых уплотнений шаровых кранов. Следствием этих работ стала разработка ряда уникальных материалов для изготовления уплотнений – заменителей традиционно применяемых материалов: фторопласту 4 – «Констафтор С», полиамиду – «Констафтор С75», полиэфирэфиркетону – «Констафтор 1000ГР» (модифицированный ПЭЭК). В результате проведенных исследований в 2010 г. были зарегистрированы ТУ на заготовки из материалов семейства «Констафтор». Тем не менее, сколь-нибудь заметное применение композитов на основе ПЭЭК и ПФС в трубопроводной арматуре, судя по заявкам потребителей, началось совсем недавно. В табл. 3 представлены физико-механические свойства некоторых материалов серии «Констафтор» по сравнению с применяемыми в настоящее время.

В табл. 3 неслучайно приведены три стандарта. Это сделано с целью показать, что методики определения физико-меха-

нических характеристик в ГОСТе и в зарубежных стандартах очень близки. Анализ показал, что в инженерном приближении можно считать данные, полученные по разным стандартам, идентичными. Это не тривиальное заключение, и оно позволяет сравнивать приведенные в разных источниках и каталогах данные.

Приведенные примеры разработки комбинированных уплотнений и композиционных материалов подтверждают «старую» истину: для создания надежного недорогого продукта в уплотнительной технике необходима не одна итерация. На пути создания и внедрения случаются ошибки, но изучение основных факторов, определяющих герметизирующую способность уплотнений, пробная эксплуатация в реальных конструкциях позволяют в конечном итоге получать продукт надлежащего качества. Поэтому только взаимодействие разработчиков и потребителей уплотнений позволит продвигаться в создании изделий, отвечающих международным стандартам. Опыт западных компаний это многократно подтверждает. Те импортные изделия или узлы, которые сегодня используются некоторыми нашими производителями трубопроводной арматуры и насосов, появлялись не сразу, а являются продуктом длительных исследований и многократных доработок.

Для создания надежных уплотнительных узлов, следуя опыту западных коллег, необходимо объединять знания заказчика о специфике условий эксплуатации, конструкторов оборудования, понимающих специфику его работы, и технологов, владеющих знаниями о возможностях уплотнений.

Как уже было сказано, внедрение комбинированных уплотнений, как и композиционных материалов, сталкивается с некоторыми трудностями, которые необходимо преодолеть как можно быстрее. Рассмотрим основные причины, по которым продвижение комбинированных уплотнений на российском рынке происходит медленнее, чем хотелось бы.

Возможно, это связано с привязкой некоторых потребителей к импортной продукции, поскольку их производство строится на основе проектов западных специалистов. Вероятно, сказывается и отсутствие опыта проектирования узлов с комбинированными уплотнениями и недостаточная информированность о принципах работы уплотнений, их поведении в условиях длительной эксплуатации. Ведь при том, что ключевые требования к уплотнениям не изменяются, специфика комбинированных уплотнений вызывает необходимость менять подходы к проектированию как уплотнений, так и уплотнительных узлов. Из-за длительного отсутствия оригинальных отечественных разработок наблюдается некоторое недоверие к ним на фоне наличия отработанных импортных решений. Конечно, сказывается также отсутствие внятной промышленной политики, стимулирующей российские инновации.

Сложилась парадоксальная ситуация, когда в стране, добывающей и транспортирующей огромное количество жидких и газообразных сред, имеющей едва ли не самую протяженную трубопроводную систему и, следовательно, огромный парк трубопроводной арматуры и насосов, применяются в основном зарубежные технологии герметизации и уплотнительная техника, разработанные в странах, не имеющих таких стимулов к развитию подобных технологий и оборудования (например, Италия, Германия). На наш взгляд, это является следствием того, что на определенном этапе перестали инвестировать в «своих» разработчиков, продолжая покупать оборудование и тем самым способствуя развитию «чужих». Само по себе это не является проблемой, поскольку соответствует рыночным механизмам, но при этом отечественные разработчики теряют возможность приобретать опыт проектирования и внедрения востребованных у эксплуатантов комплектующих и узлов, технологический разрыв увеличивается и, если продолжать действовать таким образом, то отставание будет прогрессировать.

Безусловно, не имея серьезных ресурсов того или иного рода, трудно получить существенную долю рынка уплотнений. А сегодня на рынке приходится конкурировать с именитыми зарубежными гигантами. При отсутствии государственной технической политики и поддержки единственной возможностью является объединение потенциальных разработчиков и потребителей для создания конкурентных продуктов. Синергетический эффект такого взаимодействия показывают примеры разработки новых продуктов в Германии. В одной из статей в журнале «Полимерные материалы» был рассмотрен пример разработки детали из композиционного материала для автомобиля: стояла задача разработать недорогую, обладающую

лучшими характеристиками, пригодную к массовому производству деталь. Для решения этой локальной задачи объединились заказчик, определяющий требования к изделию, разработчик и поставщик материала для выбора и оперативной корректировки состава материала, технолог, отвечающий за выбор и корректировку наиболее приемлемой технологии, разработчик-поставщик оборудования для оптимального выбора и оперативного реагирования на изменения технологии и материала. В результате на рынок был выпущен доработанный до мелочей с технической точки зрения и экономически конкурентоспособный продукт.

Для преодоления качественного и технологического разрыва и достижения конкурентоспособности на рынке уплотнений необходимо, чтобы помимо соответствия требованиям безусловного качества, своевременных, подчас опережающих, поставок и очень жестких экономических критериев, предложения производителей уплотнений убеждали потенциального потребителя в минимизации его рисков при использовании инновационных продуктов.

Для того чтобы помочь потребителям использовать весь потенциал комбинированных уплотнений, мы готовы предложить наравне с поставками уплотнений инженеринговые решения, включая поставку готовых уплотнительных узлов, а также все услуги, необходимые для достижения результата.

Для убеждения потенциального потребителя в целесообразности применения инновационных решений они должны основываться на сопоставлении свойств вновь разработанных материалов или уплотнений с применяемыми в настоящее время, а также на прогнозировании их свойств на основе ускоренных испытаний.

Надеемся, нам удалось в какой-то степени убедить прочитавших эту статью, что технические и экономические показатели продукта улучшатся после внедрения комбинированных уплотнений вместо классических. Возможные риски и неопределенности такой замены не столь велики, чтобы останавливаться только на консервативных решениях. Но реальную оптимизацию конструкций за счет внедрения комбинированных уплотнений, как и других технических новинок, можно обеспечить только путем кооперации в разработках и фактического применения инноваций.

В России существуют передовые технические решения, и наша общая задача объединить усилия для их практической реализации.

Литература:

1. Голубев А.И., Кондаков Л.А., Гордеев В.В. и др. Уплотнения и уплотнительная техника, Справочник. М.: Машиностроение, 1994.
2. Причины медленного продвижения на рынок технологии динамического термостатирования литьевых форм. Ненья Деллманн//Полимерные материалы. 2019. №6 (241). С. 2–7.
3. Влияние конструктивно-технологических параметров на герметизирующую способность резинофоропластовых колец в уплотнении. Зерщиков К.Ю., Семенов Ю.В.// Арматуростроение. 2014. №1/88. С. 55–58.
4. www.seals.saint-gobain.com.