

К. Ю. Зерщиков

ООО «Константа-2» г. Волгоград

Д. В. Коновалов

ООО НПП «ИТР» г. Москва

# Проблемы и решения

## при внедрении трубопроводной арматуры из полимерных композитных материалов

Одной из основных задач промышленности в нашей стране является повышение конкурентоспособности продукции российских производителей на отечественном и зарубежном рынках.

В соответствии с поставленной задачей необходимо обеспечить потребности российской экономики в новых высокоэффективных и экологически безопасных материалах и технологиях. Дальнейшее развитие ЖКХ предусматривает увеличение срока безаварийной эксплуатации объектов тепло- и водоснабжения минимум до 10 лет, что обуславливает применение современных решений в области материаловедения. Процесс импортозамещения подразумевает разработку новых материалов и изделий взамен поступающих из-за рубежа и приоритетное использование продукции отечественных производителей.

Развитие отрасли производства композитных материалов позволяет решить все эти задачи, поэтому ее необходимо стимулировать всеми доступными способами. Соответственно, должно уделяться серьезное внимание и развитию производства трубопроводной арматуры из полимерных композитных материалов.

Можно сказать, что в России на данный момент отсутствует производство трубопроводной арматуры из полимерных композитных материалов. Это объясняется несколькими причинами:

1. незнанием потребителей о возможностях, предоставляемых этим оборудованием;
2. отсутствием в достаточном объеме информации об особенностях её эксплуатации;
3. отсутствием нормативной базы, описывающей требования к оборудованию и вытекающими из них особенностями его эксплуатации;
4. отсутствием мотивации использовать инновационный продукт без референций, сочетающаяся с невозможностью получить референции без проведения опытно-промышленных испытаний;
5. сложностью и дороговизной процедур сертификации продукции для госкорпораций и монополий, особенно в условиях неопределенности дальнейшего ее применения.

Рассмотрим каждую из причин в отдельности,

чтобы по мере возможности определить пути решения стоящих перед нами задач.

**1.** Важно понимать, что внедрение полимерной композитной трубопроводной арматуры — не самоцель, а определяется теми выгодами, которое это внедрение сулит. Более того, в условиях быстро развивающихся рынков ее внедрение является необходимостью, поскольку позволяет получить существенное конкурентное преимущество. Отметим некоторые из возможных областей применения, где использование полимерной композитной арматуры позволит получить наибольший экономический эффект. Это эксплуатация объектов:

- с агрессивными средами,
- с внешней агрессивной средой,
- в холодном климате,
- с ограничением по массе и радиовидимости,
- требующих длительного бесперебойного функционирования.

Промышленными объектами, где применение полимерной композитной арматуры позволит получить максимальные преимущества, являются предприятия химии и нефтехимии, водоподготовительные отделения ТЭЦ и АЭС, предприятия по производству минеральных удобрений, предприятия нефте- и газодобычи и переработки, системы жизнеобеспечения судов и кораблей, системы тепло- и водоснабжения в ЖКХ.

Для химических производств основным является неизменность параметров работоспособности во времени при воздействии внутренних и внешних агрессивных факторов. Композитные материалы с полимерной матрицей (ПКМ) обладают значительно более высокой коррозионной стойкостью: если скорость коррозии стали при воздействии рабочих сред средней агрессивности составляет от 0,1 до 0,3 мм/год, то ПКМ в данных средах практически не подвержены коррозии. Поэтому они наилучшим образом отвечают этим условиям.

Применение трубопроводной арматуры на предприятиях нефте- и газодобычи и переработки предполагает эксплуатацию при низких температурах и высоких давлениях, следовательно к материалам

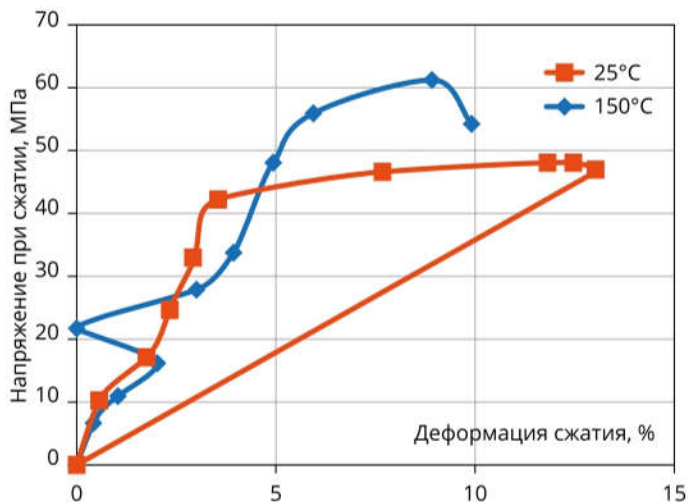
предъявляются требования хладостойкости и прочности. В отличие от стальных кранов и задвижек, исполнение которых для применения в этих условиях требует применения специальных сталей и приемов сварки, ПКМ обладают хладостойкостью до  $-70^{\circ}\text{C}$  и даже  $-100^{\circ}\text{C}$ , следовательно арматура из ПКМ может применяться в этих условиях.

В системах водоподготовки ТЭЦ и АЭС основным требованием к материалам, из которых изготавливается арматура, является коррозионная стойкость, поскольку она устанавливается на трубопроводах, транспортирующих растворы кислот и щелочей. Следовательно, применение ПКМ в этих условиях является предпочтительным, поскольку коррозионная стойкость полимерных матриц в этих условиях, согласно результатам ускоренных испытаний, составляет более 10 лет.

Для судовой арматуры основными факторами, определяющими выбор, являются вес и устойчивость к воздействию внешней среды. Низкая плотность ПКМ и оптимизация конструкции позволили получить уникальные массогабаритные характеристики: например, отношение массы отечественного шарового крана к массе стального составляет 1 : 5–6, а к массе импортного — 1 : 2–3 при сопоставимых эксплуатационных характеристиках.

Для систем тепло- и водоснабжения характерна высокая температура теплоносителя — воды. Следовательно, для эксплуатации в системах горячего водоснабжения основным требованием является способность материала длительно работать под воздействием повышенных температур (до  $150^{\circ}\text{C}$ ) и давлений, то есть теплостойкость и стойкость к гидролизу. График на рис. 1 иллюстрирует, что прочностные характеристики композитного материала «Констафтор Г», используемого для изготовления корпусных деталей, нагруженных внутренним давлением, практически не зависят от температуры испытания: ход кривых сжатия при температуре 25 и  $150^{\circ}\text{C}$  практически идентичен, таким образом показывая, что работоспособность конструкции при повышенных температурах также будет обеспечена.

Очевидно, что расширение применения арматуры из ПКМ возможно только при наличии существенных преимуществ по сравнению с традиционно используемыми стальными кранами и затворами. В таблице 1 представлены сравнительные показатели, характеризующие потребительские свойства



**Рисунок 2.** Зависимость прочности при сжатии ПКМ «Констафтор Г», применяемого для изготовления корпусных деталей дисковых затворов и шаровых кранов от температуры испытаний.

стальной арматуры и арматуры из ПКМ. Анализ приведенных данных показывает направления для применения композитной арматуры, что и было продемонстрировано выше. Добавим, что в сочетании с трубопроводами из стеклокомпозита, поливинилхлорида, полипропилена или полиэтилена -трубопроводная арматура из ПКМ позволяют создавать долговечные недорогие трубопроводные системы в различных производствах, где присутствуют агрессивные агенты.

**2.** Наилучшим образом описанным выше требованиям отвечают наиболее технологичные и простые в изготовлении и эксплуатации дисковые поворотные затворы (ЗД) и шаровые краны (ШК). В отличие от поставляемой на российский рынок импортной пластмассовой арматуры, где для изготовления корпусов и рабочих органов применяются поливинилхлорид (ПВХ, ХПВХ) или полипропилен (ПП), что ограничивает ее использование до температуры не выше  $80^{\circ}\text{C}$  и давления не выше 1,0 МПа, корпусные детали в нашей композитной арматуре изготовлены из специально подобранных реактопластов или термопластов, армированных стекловолокном, свойства которых позволили поднять максимальную температуру эксплуатации до  $150^{\circ}\text{C}$ . Запатентованные конструкции шарового крана и дискового затвора позволили получить

**Таблица 1.** Сравнительная характеристика трубопроводной арматуры.

Вид арматуры	Масса	Стойкость корпуса к внешним воздействиям		Ограничения в применении			Долговечность, срок службы	Удобство монтажа	Возможность автоматизации управления арматурой
		Механическим	Воздействию окружающей среды	По Т окружающей среды	По Т перекач среды	По давлению			
Арматура из ПКМ	+	±	+	+	±	±	+	+	+
Арматура из стали или чугуна	-	+	-	±	+	+	±	±	+

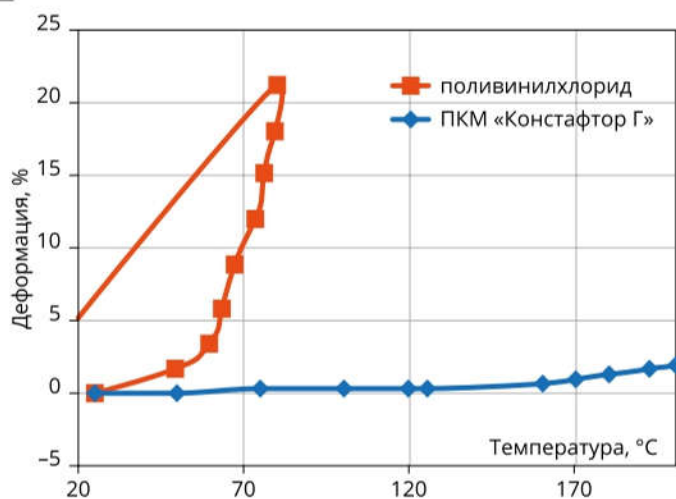


Рисунок 2. Деформация материалов под давлением 10 МПа в течение 3-х часов.

максимально возможную жесткость в отношении изгибающей и растягивающей нагрузок от давления внешней среды в сочетании с высокой герметичностью. Применение высокопрочных полимеров в составе ПКМ позволит поднять максимальное давление до 2,5 МПа.

Прочностные расчеты трубопроводной арматуры из ПКМ выполнены в упругой постановке на основе положений классической теории упругости [1], а критерии работоспособности арматуры, изложенные в работах [2–4], послужили основой для расчетов рабочих характеристик.

Вышеуказанные требования определяют критерии для выбора материалов и конструктивные особенности данной арматуры:

- применение химически инертных материалов;
- применение высокопрочных материалов;
- применение высокотехнологичных материалов;
- повышенная надежность уплотнительных узлов.

Совместить такие разнообразные требования можно только в композитном материале с полимерной матрицей. Основным недостатком пластмасс в качестве конструкционного материала — высокая ползучесть под нагрузкой, особенно при повышенных температурах, а отсюда — невозможность применить их при высоких давлениях и температурах, поэтому

для получения высокопрочных материалов необходимо снизить этот неблагоприятный эффект. В более ранних исследованиях [6] было установлено, что теплостойкость применяемых композитных материалов как минимум не ниже 150°C (рис. 2). Из рисунка видно, что разработанный для корпусных деталей композитный материал «Констафтор Г», представляющий собой армированный стекловолокном реактопласт, превосходит используемый в пластиковой трубопроводной арматуре поливинилхлорид. Таким образом, армирование стеклянными или базальтовыми волокнами позволило существенно снизить ползучесть под нагрузкой и при повышенных температурах и нивелировать влияние этого фактора в рассматриваемых конструкциях. Наряду с «Констафтор Г» используются и другие материалы из линейки материалов, производимых ООО «Константа-2».

Материалы, которые применяются при изготовлении арматуры из ПКМ, разделены на несколько типов в зависимости от предполагаемого давления, температуры эксплуатации, транспортируемых сред. При изготовлении используются только материалы серии «Констафтор», прошедшие как физико-механические, так и натурные испытания в составе изделий и подтвердившие свои характеристики.

Благодаря применению в конструкции коррозионно-стойких материалов удалось получить арматуру, обладающую уникальной химической стойкостью в отношении большинства рабочих сред: нефти, газа и нефтепродуктов, получаемых из них; кислых и щелочных растворов любой концентрации; с механическими включениями и без механических включений; органических растворителей; пищевых и биологических сред; бытовой и промышленной воды, морской воды и пара.

Такая скрупулезная всесторонняя оценка свойств материалов, используемых в производстве, позволила достичь высокой адаптируемости трубопроводной арматуры к конкретным условиям эксплуатации.

Рассмотрим особенности разработанной трубопроводной арматуры из ПКМ. Основными элементами дискового затвора ЗД являются корпус, поворотный диск и эластичная манжета (рис. 3).

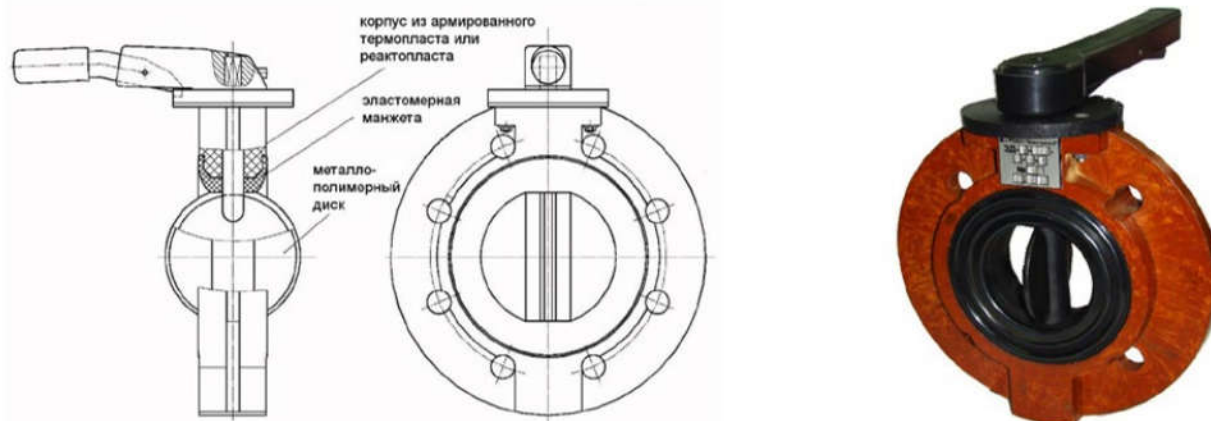


Рисунок 3. Схема и общий вид дискового затвора ЗД из композита «Констафтор Г» с эластичной манжетой.

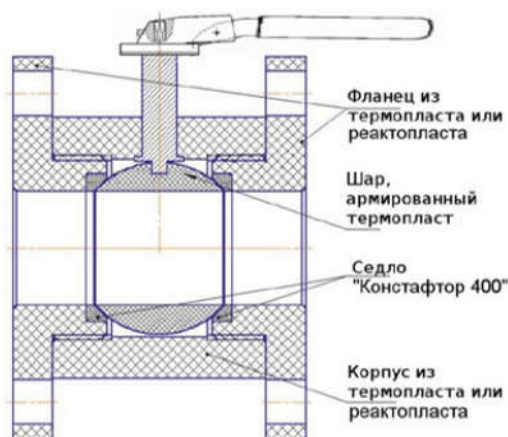


Рисунок 4. Схема и общий вид шарового крана ШК из ПКМ «Констафтор Г» с шаром из ПКМ «Констафтор 1000П».

От их конструкции и исполнения в значительной степени зависят характеристики работоспособности. Односекционный корпус изготовлен из армированных стекловолокном термо- или реактопластов из семейства материалов «Констафтор», обладающих высокой химической стойкостью, прочностью и жесткостью. Диск изготовлен из высокохимстойкого термостойкого композита «Констафтор 1000П» с армирующей металлической закладной, что позволяет прокачивать среды любой агрессивности при высоких давлениях и температурах. Манжета имеет удерживающую конструкцию и в зависимости от условий эксплуатации изготавливается из резины или фторопласта, обладающих высокой стойкостью в отношении рабочих сред и теплостойкостью.

Шаровые краны ШК из композитных материалов конструктивно отличаются от импортных аналогов (рис. 4). Они содержат меньше элементов, следовательно, более надежны. Согласно проведенным расчетам материал корпуса должен обладать прочностью при разрыве не менее 60 МПа при относительном удлинении при разрыве не менее 10%. Эти расчеты легли в основу при разработке конструкции и выборе материала корпуса, шара для достижения оптимума по соотношению показателей прочности и массогабаритных характеристик. Это позволяет эксплуатировать ШК до давления 2,5 МПа.

Исследование рабочих характеристик арматуры проводили в соответствии с ГОСТ 33257-2015 «Арматура трубопроводная. Методы контроля и испытаний». Измерение герметичности ШК и ЗД на стендах воздухом и водой по ГОСТ 9544-2015 «Арматура трубопроводная. Нормы герметичности затворов» показало соответствие классу герметичности «А». Полный ресурс определяли на стенде для циклических испытаний, который имитирует открытие и закрытие без приложенного давления среды — он составил не менее 6000 циклов. Для определения показателя долговечности использовали расчетно-экспериментальный метод, опирающийся на использование для расчета типовой модели эксплуатации, а также статистические данные по эксплуатации подобного оборудования. Как было отмечено в работе [5], дисковый поворотный затвор является изделием непрерывного длительного

применения, необслуживаемым в процессе эксплуатации, переход которого в предельное состояние определяется старением и изнашиванием. Очевидно, что вышесказанное относится и к шаровому крану. На основании этих данных определили полный средний срок службы арматуры, который составил более 10 лет. Присоединение к трубопроводу — фланцевое по ГОСТ 12815-80 или муфтовое. ЗД выпускаются на условные проходы Ду50 — Ду200, ШК — на условные проходы Ду25 — Ду150. Арматура отвечает требованиям простоты монтажа, эксплуатации и ремонтпригодности. Поставляемая ООО «Константа-2» на рынок трубопроводная арматура из ПКМ производится согласно утвержденным ТУ, имеет сертификаты Соответствия Технического Регламента Таможенного Союза ТР ТС 032/2013 «О безопасности оборудования, работающего под избыточным давлением» и ТР ТС 010/2011 «О безопасности машин и оборудования».

Очень важным требованием, которому должна отвечать запорная арматура для эксплуатации в агрессивных средах, является отсутствие выбросов через уплотнения и воздействия на внешнюю среду. Это требование соблюдается благодаря двойному уплотнению штока ЗД и ШК резиновыми кольцами и 100% контролю герметичности арматуры в отношении внешней среды согласно требованиям ГОСТ 9544-2015 «Арматура трубопроводная. Нормы герметичности затворов».

Немаловажным фактором, особенно для российского рынка, является стоимость. Для стимулирования спроса ценовая политика построена таким образом, чтобы стоимость арматуры не превышала цену импортных аналогов при равных или более высоких технических характеристиках, а также не превышала стоимость отечественных аналогов, изготовленных из металлов и сплавов при аналогичных рабочих характеристиках, но более высокой долговечности. Поиск адекватных решений для реализации этих задач потребовал серьезных технологических и конструкторских усилий. В частности, одним из критериев выбора компонентов, применяемых в производстве ПКМ, была их доступность и стоимость на российском рынке.

Производство полимерной композитной запорно-регулирующей арматуры является высокотехно-

логичным и высокопроизводительным процессом, поскольку базируется на современных технологиях переработки полимеров: литье на термопластавтоматах изделий точных размеров с последующей механической обработкой на токарных станках с ЧПУ и фрезерных обрабатывающих центрах с использованием роботизированных комплексов. Технический уровень оборудования и организация производства соответствуют требованиям международных стандартов системы качества ISO-9000 и экологической безопасности ISO-14000.

**3.** Сегодня производство и приемка трубопроводной арматуры из ПКМ опираются на имеющуюся нормативную базу, сформированную для производства арматуры из металлов. С точки зрения производства этого пока достаточно, хотя уже сейчас сказывается отсутствие регламентируемых стандартами характеристик, которым должны соответствовать применяемые материалы и элементы конструкций и которые должны быть выдержаны при производстве изделий для различных условий эксплуатации. И крайне негативно сказывается отсутствие нормативов, которые должны использоваться при проектировании оборудования с применением запорно-регулирующей арматуры. Такое положение объясняется в том числе отсутствием ресурсных испытаний в независимых организациях, а также недостаточностью данных о зависимости ресурса от конструктивно-технологических параметров. Поэтому необходимо исследование основных закономерностей, определяющих работоспособность композитной арматуры и построение математических моделей зависимости надежности и ресурса от применяемых материалов и конструктивно-технологических факторов.

**4.** Однако, очевидные, на наш взгляд, преимущества продукта пока не привели к росту продаж. Кроме указанных выше причин, это объясняется также тем, что еще присутствует разделение на тех, кто эксплуатирует и отвечает за бесперебойность работы оборудования и тех, кто принимает решение о закупке, и не всегда наличествует координация их деятельности.

Для производителя выход здесь видится в целенаправленной работе с потенциальными потребителями на всех уровнях коммуникаций. Важную роль играют государственные программы, стимулирующие потребителей и производителей композитной арматуры.

Последовательная работа в этом направлении

дает определенные результаты. Так, в результате длительных переговоров начались опытно-промышленные испытания шаровых кранов, при давлении 2,5 МПа, температуре среды до 80°С при контакте с нефтепродуктами высокой агрессивности на месторождении «Юганскнефтегаз» (ПАО «НК «Роснефть»), в ПАО «МОЭК» вскоре должны начаться испытания шаровых кранов в системах горячего водоснабжения, рассчитанных на давления до 2,5 МПа, температуру среды до 80°С, на нескольких тепловых станциях Лукойл-Волгоградэнерго проводятся испытания дисковых поворотных затворов в системах химводоподготовки, рассчитанных на давления 0,6–1,0 МПа и агрессивные среды с переменным рН от 5 до 11.

Безусловно, необходимо, чтобы родилась культура применения и эксплуатации данной арматуры, но это возможно только при условии максимального ее распространения.

**5.** В условиях высокой монополизации экономики и большой доли государственного сектора небольшим инновационным компаниям сложно выйти на рынок со своими продуктами. Помимо прочего, это объясняется высокой зарегулированностью монополий и госкорпораций, в том числе с целью недопущения новых продуктов на свой внутренний рынок. И здесь функции государства как регулятора взаимодействия особенно актуальны. Не менее важным является инициирование и поддержание программ развития. Большую роль в этих процессах играют отраслевые некоммерческие организации, объединяющие разработчиков, производителей и потребителей, аккумулирующие знания и формулирующие основные тенденции развития.

Как видно, внедрение арматуры из ПКМ требует решения как технических, так и организационных задач. Мы попытались обозначить некоторые направления для их решения. Реализация всех вышечисленных требований и задач позволит серийно поставлять трубопроводную арматуру из полимерных композитных материалов и за счет этого снизить стоимость жизненного цикла трубопроводной арматуры, увеличить длительность эксплуатации и снизить нагрузку на окружающую среду за счет рециклинга и простоты утилизации.

Кроме того, освоение производства полимерной композитной трубопроводной арматуры будет способствовать развитию общего рынка композитных материалов в России.

### Библиографический список

1. Беляев Н.М. Сопrotивление материалов. - М.: Наука, 1976. 608с.
2. Гуревич Д.Ф. Расчет и конструирование трубопроводной арматуры. - М: ЛКИ, 2008. - 480с.
3. Зерщиков К.Ю., Семенов Ю.В., Кузахметова Е.К. Материалы серии «Констафтор» для уплотнений шаровых кранов., Арматуростроение, 2014, №4(91), С.52-56.
4. Зерщиков К.Ю., Семенов Ю.В. и др. Полимерные уплотнения для экстремальных условий эксплуатации. Трубопроводная арматура и оборудование, 2007, №3(30), С.55-56.
5. Зерщиков К.Ю. Исследование рабочих характеристик пластиковых дисковых затворов российского производства. Химическое и нефтегазовое машиностроение, 2013г, №11, с.36-37
6. Зерщиков К.Ю., Семенов Ю.В. Оптимизация характеристик пластмассовых дисковых поворотных затворов., Арматуростроение, 2013, №1 (82)С.46-48.