

В.В. Мороз, технический эксперт ОАО «МосЦКБА»,
Ю.Д. Логанов, генеральный директор ОАО «МосЦКБА»

ЭВОЛЮЦИЯ ТЕХНИКИ

Часть 1

Эволюция техники – закономерный процесс, заключающийся в практической реализации достижений академической науки, простимулированный потребностями человечества и условиями жесткой конкуренции, причем конкуренции как внутренней – между группами людей, так и внешней – с условиями среды. Внутренняя конкуренция может иметь религиозные, военные или коммерческие корни, это путь конфликтов, побед и поражений. Внешняя конкуренция – это преодоление или покорение стихии: водной, воздушной, космоса, земных недр и т.д.

Вы замечали, что эволюция организмов в живой природе и механизмов в технике осуществляется по сходным закономерностям? Сегодня в мире популярна так называемая синтетическая теория эволюции, которая представляет собой синтез дарвинизма, популяционной генетики и молекулярной биологии. Согласно ей живые организмы постоянно меняются – мутируют, новые признаки проходят проверку условиями существования, в результате потомство оставляют лишь те, кто в этих условиях элементарно сумел выжить. А дальше измененные гены передаются потомкам и участвуют в отборе уже в последующих поколениях. При этом при изменении условий среды прежние «лидеры» могут погибнуть, так как оказываются неприспособленными. Таким образом, если популяция существует здесь и сейчас, то она приспособлена к данным условиям.

С товарами ситуация похожая: побеждают лучшие из них, но в отличие от природы человек часто вмешивается в конкуренцию, ограничивает ее с помощью стандартов и правил, лоббирует отдельных производителей по политическим или другим моментам, либо просто «топит идеи» по причине тупости отдельных, наделенных властью функционеров.

Тема настоящей статьи – эволюция техники, а именно трубопроводной арматуры, хотя к законам природы мы еще будем

возвращаться, ведь по сути «развитие» и «выживание» техники также происходит в условиях «естественного отбора» и для некоторых образцов оно заканчивается «вымиранием».

Есть прекрасная книга О.Н. Шпакова «Эволюция конструкций трубопроводной арматуры» [1], которую рекомендуем к прочтению всем инженерно-техническим работникам, имеющим отношение к проектированию, изготовлению и эксплуатации трубопроводной арматуры. В настоящей статье мы поделимся своим видением на примере одного типа трубопроводной арматуры – запорных шаровых кранов, а также мыслями об их возможной будущей эволюции на объектах газотранспортной системы (ГТС) страны.

Сегодня на объектах ГТС наибольшее применение получили именно шаровые краны, требования к которым подробно изложены в СТО Газпром 2-4.1-212–2008 [2]. Широкое применение шаровых кранов в ГТС обусловлено их основными преимуществами: отсутствием изменения направления движения рабочей среды, низким коэффициентом гидравлического сопротивления, небольшими размерами, возможностью достижения требуемой точности запорного органа на станочном оборудовании.

Шаровые краны на объектах ГТС работают в сложных условиях, характеризующихся высоким давлением рабочей среды,

высокой температурой (например, после сжатия в компрессоре газоперекачивающего агрегата (ГПА) температура газа достигает 160°C), содержанием в составе природного газа агрессивных составляющих, таких как сероводород и углекислый газ. Кроме того, в составе природного газа могут присутствовать механические примеси с частицами размером до 1 мм, которые способны вызывать эрозионное изнашивание уплотнений и частей конструкции. Также в природном газе возможно присутствие газового конденсата, парафина, метанола, диэтиленгликоля и других примесей [3].

Учитывая такой сложный состав природного газа и климатические условия окружающей среды, к шаровым кранам предъявляют строгие требования:

- соответствие СТО Газпром 2-4.1-212–2008, техническим регламентам, стандартам, правилам безопасности в газовой отрасли и другим нормативным документам;
- герметичное перекрытие трубопровода и герметичность относительно окружающей среды; при этом герметичность и работоспособность должны сохраняться в течение продолжительного времени;
- полнопроходность конструкции.

Рассмотрим, как же эволюционировала конструкция шаровых кранов на объектах ГТС в последние десятилетия. Как и проживающие вокруг нас в живой природе организмы, так и эксплуатируемую трубопроводную арматуру мы склонны воспринимать в данный момент времени «венцом эволюции». Но точно также воспринимался мир и нашими предшественниками, жившими, к примеру, 30 лет назад: им тоже казалось, что именно они изобрели, изготовили и эксплуатируют настоящие «шедевры» технической мысли. Однако нынешними технарями тогдашние передовые открытия воспринимаются как давно вымершие «динозавры». Все это не более чем парадоксы восприятия, которые, тем не менее, вписываются в законы развития техники и при более детальном изучении становятся понятными и закономерными. И это понимание побуждает нас и дальше совершенствовать технику, ведь нынешние передовые образцы, возможно, уже через 30 лет также станут историей; их сменят более новые и совершенные изделия, которые по всей видимости уже сегодня кем-то проектируются.

Шаровые краны, применяемые на объектах ГТС, классифицируются в зависимости от рабочего давления, номинального диаметра, вида управления, а также по другим признакам. Но у них у всех имеется конструкция, состоящая из трех основных элементов: запорного устройства, привода и системы его управления.

Для перестановки запорного органа в шаровых кранах ГТС сегодня преимущественно применяются поршневые

пневмо- и пневмогидроприводы. Это связано с тем, что для открытия или закрытия шарового крана требуется поворот запорного органа всего на $1/4$ оборота; таким образом, если использовать, например, электропривод, то потребуются применение редуктора с большим передаточным отношением. Важными достоинствами поршневых приводов всегда считались большая удельная мощность (мощность на единицу массы двигателя), возможность работы от центральной пневмомагистрали, нечувствительность к большим перепадам температур. К отрицательным качествам пневмопривода обычно относят сжимаемость среды, что значительно усложняет управление.

У истоков теории пневматических систем в нашей стране стоял руководитель Института машиноведения (ИМАШ) И.И. Артоболевский. Под его руководством в 1940–1960-х годах систематизировались и обобщались накопленные сведения по теории и проектированию пневмосистем. Значительный вклад в теорию и практику пневмоприводов внесли ученые Б.Н. Бежанов, К.С. Борисенко, И.А. Бухарин, А.И. Вошинин, Е.В. Герц, Г.В. Крейнин, А.И. Кудрявцев, В.А. Марутов, В.И. Мостков, Ю.А. Цейтлин и другие [4].

Принцип работы поршневого привода обычного запорного шарового крана ГТС заключается в следующем (рис. 1). Взятый из трубы природный газ через селективный клапан 1 подается в систему подготовки природного газа 2, где он очищается от влаги и механических примесей и попадает в блок управления приводом 3. По команде оператора из блока управления 3 газ подается в соответствующую полость цилиндра 4 на открытие или на закрытие шарового крана 6.

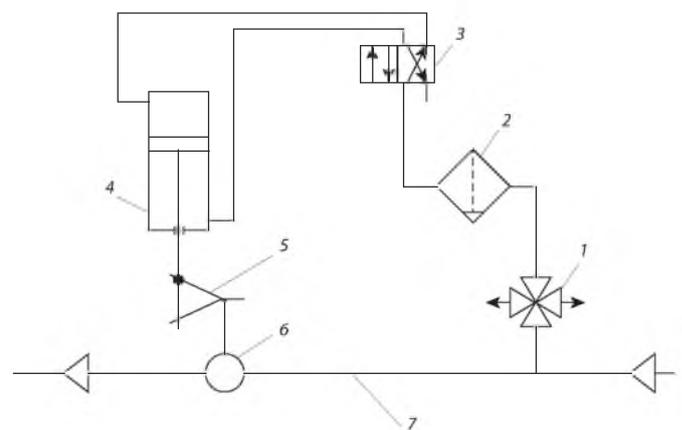


Рис. 1. Принципиальная схема поршневого привода шарового крана ГТС:

1 – селективный клапан; 2 – фильтр-осушитель; 3 – блок управления приводом; 4 – пневмоцилиндр; 5 – кулисный механизм; 6 – кран шаровой; 7 – газопровод

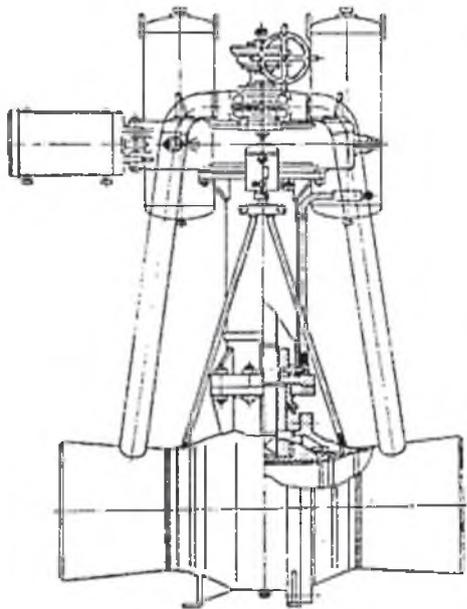


Рис. 2. Шаровой кран со смазкой DN 800, $p_p = 5,5$ МПа [6]

В ходе эволюции приводов шаровых кранов конструкторы шли к этой простой конструкции очень долго. На первых шаровых кранах отечественного производства использовалась кривошипно-шатунная передача с качающимися цилиндрами и гидравлическая система с большими емкостями для масла (рис. 2). И специалисты эксплуатирующих организаций столкнулись с серьезными проблемами в процессе обслуживания этих приводов. С основными из них мы можем ознакомиться в рекомендациях по эксплуатации шаровых кранов, разработанных ВНИИГАЗом и изданных в 1992 году [5].

Так, в руководстве ИП-37-03-05.91 [5] по эксплуатации отечественных запорных кранов $D_y = 1200$ мм, $p_y = 6,4$ МПа с поворачивающимися цилиндрами и в руководстве ИП-37-04-05.91 [5] по эксплуатации отечественных запорных кранов $D_y = 1000$ мм, $p_y = 8,0$ МПа с четырьмя гидробаллонами указаны следующие недостатки (рис. 3):

- предусмотренной конструкцией максимальный крутящий момент на поворотный механизм привода при давлении управляющего газа 5,5 МПа недопустимо большой, превышающий потребный для перестановки шарового затвора в 10–15 раз;
- при утрате гидрожидкости в таких приводах работа привода осуществляется без демпфирования, что приводит к быстрой перестановке шарового затвора, которая сопровождается сильным динамическим ударом поворотного механизма привода по ограничителям угла

поворота и приводит к повреждению резьбы в чугунных поршнях, а следовательно, к нарушению резьбового соединения стального штока с чугунным поршнем;

- в случаях примерзания поршней (а это нередко случается при эксплуатации запорных кранов) поршни срываются с места при подаче большого давления на них, перестановка шарового затвора происходит мгновенно, а динамический удар поворотного механизма привода по ограничителям угла поворота бывает настолько сильным, что происходит срезание болтов крепления фланцевого соединения привода с колонной и мгновенный разворот привода вокруг своей оси, который может привести (и приводит) к тяжелым и смертельным случаям с обслуживающим персоналом;
- особенно опасно открытие кранов больших диаметров ($D_y = 700...1400$ мм) с применением пневмогидропривода без демпфирования при наличии перепада давления на шаровом затворе (что также при эксплуатации кранов имеет место).

Интересно рассмотреть рекомендации, которые были даны в инструкции по изменению схем управления приводами серийных шаровых кранов (рис. 4, 5). Как видно, еще в 1992 году специалистами было предложено разделить в приводе гидравлический и пневматический цилиндры: гидравлический

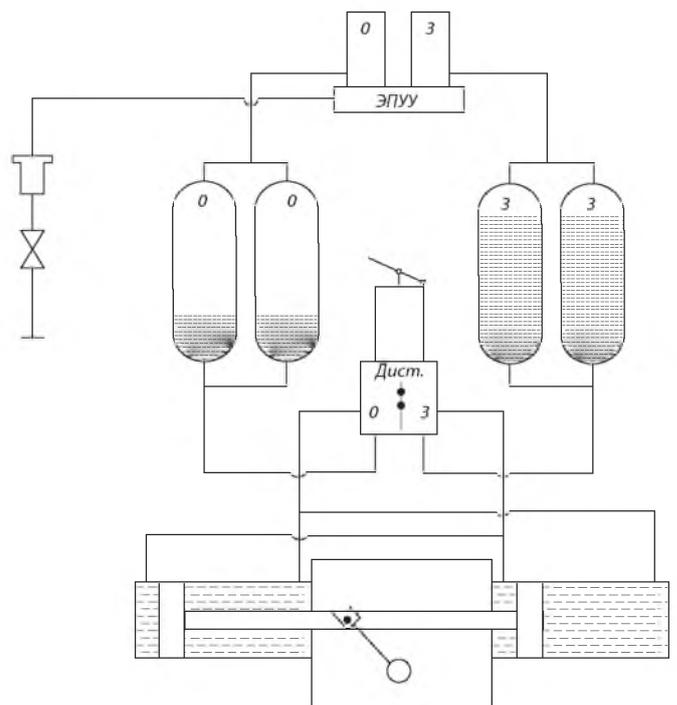


Рис. 3. Заводская схема управления запорными кранами $D_y = 1000$ мм, $p_y = 8,0$ МПа [5]

использовать в качестве демпфера при перемещении поршня и для местного управления с помощью ручного гидравлического насоса, пневматический – для управления с помощью газа из магистрали. Причина следующая. Приводы со смешанной системой «газ, масло», в которой в каждом цилиндре находится и газ, и жидкость, разделенные поршневым уплотнением, имеют один принципиальный изъян: при разрушении уплотнения поршней газ из пневматической части цилиндра проникает в смежную гидравлическую часть, где находится гидравлическая жидкость, и вытесняет последнюю через систему управления во внешнюю среду, что в свою очередь приводит к ударам поршня по упорам и разрушению узлов и деталей, как это и было указано в ИП-37-03-05.91 [5] и ИП-37-04-05.91 [5]. В то же время у приводов, спроектированных по схеме «газ – масло», в случае разрушения уплотнений на поршне может уменьшиться КПД привода, но гидравлическая жидкость не теряется и остается в гидравлической системе; привод продолжает функционировать без ударов, но с уменьшенной мощностью. Однако еще длительное время многие предприятия продолжали (а некоторые и сегодня продолжают) выпускать приводы со смешанной системой «газ, масло» (назовем это внешним вмешательством в естественный ход эволюции).

Теперь обратим внимание на гидробаллоны. Как указано в ИП-37-04-05.91 [5], для заправки привода крана $D_y = 1000$ мм, $p_y = 8,0$ МПа необходимо было 630 л масла. И это только для одного привода! Не удивительно, что эволюция развития конструкции пневмогидравлических приводов привела разработчиков к отказу от схемы, в которой газ подавался в гидробаллоны с маслом («газ на масло»), и она сегодня встречается крайне редко. При такой схеме работы привода, кроме необходимости больших объемов необходимого масла, дополнительно возникает ряд побочных эффектов: например, после подачи газа в полость баллона происходит его диффузия в гидравлическую жидкость с последующим вспениванием и увеличением последней в объеме. Учитывая этот факт, баллоны для таких приводов проектируются с большим запасом по вместимости, а это приводит к росту металлоемкости и стоимости оборудования. Кроме того, когда такой привод выполнил команду на перемещение запорного органа крана, газ из баллонов сбрасывается, давление в них падает, и в цилиндрах начинает выделяться растворенный ранее в гидравлической жидкости газ; происходит «завоздушивание» гидравлической системы привода, вследствие чего ручной дублер (насос) теряет работоспособность. Взаимодействие агрессивных компонентов управляющего газа с жидкостью гидросистемы привода также негативно сказывается на ее эксплуатационных характеристиках и долговечности.

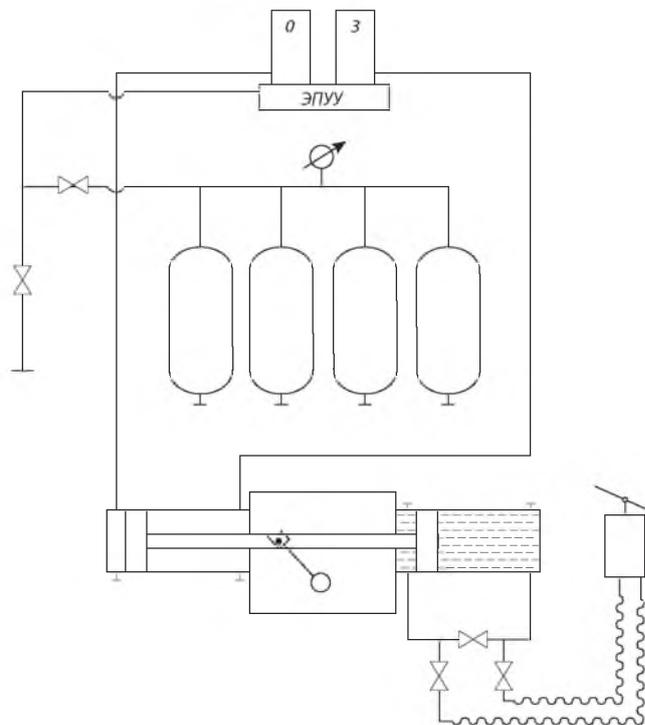


Рис. 4. Схема модернизации управления отечественных запорных кранов $D_y = 1000$ мм, $p_y = 8,0$ МПа [5]

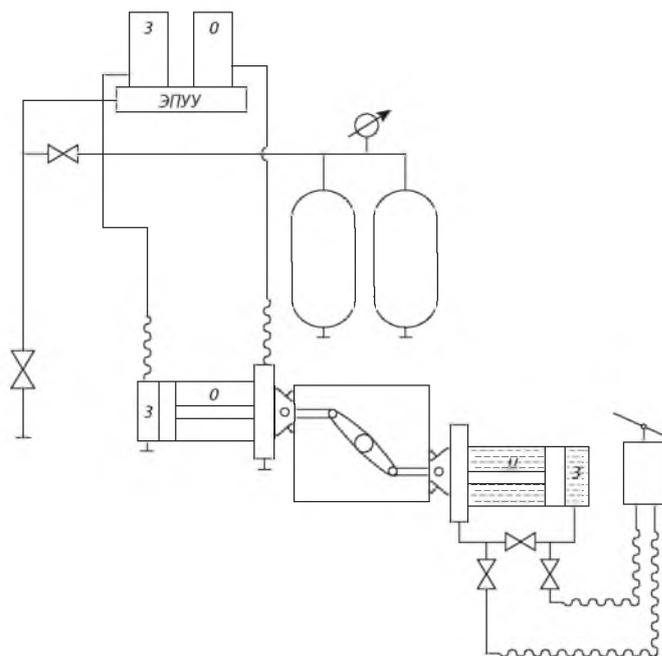


Рис. 5. Схема модернизации управления отечественных запорных кранов $D_y = 1200$ мм, $p_y = 4,0$ МПа [5]

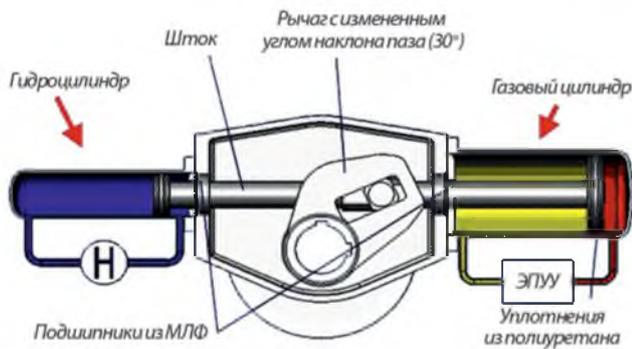


Рис. 6. Современная конструкции пневмогидравлического привода [7]

В связи с этим сегодня практически всеми предприятиями принята безбаллонная конструкция пневмогидравлического привода с разделенными гидравлическим и пневматическим цилиндрами (рис. 6). Также для преобразования линейного перемещения поршня в поворот запорного органа шарового крана на угол 90° сегодня в конструкции привода применяется в основном кулисный механизм, который зарекомендовал себя как наиболее надежный и простой. Одним словом, на объектах ГТС конструкции приводов с качающимися цилиндрами, большими гидробаллонами (см. рис. 2), реечными передачами (например, $D_y = 200...700$ мм, $p_y = 7,5$ МПа фирмы «Со Дю Тарн») в результате эволюции «вымерли».

Литература

1. Шпаков О.Н. Эволюция конструкций трубопроводной арматуры. Санкт-Петербург–Барнаул. 2017. 200 с.
2. СТО Газпром 2-4.1-212–2008 Общие технические требования к трубопроводной арматуре, поставляемой на объекты ОАО «Газпром».
3. Казаченко А.Н. Эксплуатация компрессорных станций магистральных газопроводов. М.: Нефть и газ, 1999. – 463 с.
4. С.М. Ванев «Вихревые и струйно-реактивные расширительные турбомашин» // Вестник Сумского государственного университета № 10 (94) 2006. С. 97–102. [Электронный ресурс]. URL: <http://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/1336>
5. Руководство по эксплуатации запорных шаровых кранов Ду200-1400. М.: ВНИИГАЗ, 1992. 50 с. ИП-37-01-05.91 РЭ ЗК Ду1000, 1200, 1400 Ру 6,4 «ЧКД Бланско» (Чехословакия). ИП-37-02-05.91 РЭ ЗК Ду 1000, 1200, 1400 Ру 7,5 «Дольни Бенешов». ИП-37-03-05.91 РЭ ЗК Ду 1200 Ру 6,4 Алексинского завода. ИП-37-04-05.91 РЭ ЗК Ду 1000, 1200 Ру 8,0 Алексинского завода.

- ИП-37-05-05.91 РЭ ЗК Ду 200–700 Ру 7,5 «Со Дю Тарн».
- ИП-37-06-05.91 РЭ ЗК Ду 200–300 Ру 8,0. ИП-37-07-05.91 РЭ двухступенчатых гидравлических насосов, установленных на запорных отечественных кранах Ду 500, 700, 1000 и 1400.
6. Гуревич Д.Ф. Расчет и конструирование трубопроводной арматуры. Л.: Машиностроение, 1969. 887 с.
7. АО «Тяжпромарматура». Краны шаровые для природного газа. [Электронный ресурс].
8. URL: http://www.aztpa.ru/doc/2016/new_product/Sharov_gaz_Mail.pdf
9. Мороз В.В. Струйный привод – нереализованные возможности // Арматуростроение. 2013. №2 (83). С. 50–53.
10. Мороз В.В. Электропневматический струйно-реактивный привод // Арматуростроение. 2014. №4 (91). С. 40–50.
11. Мороз В.В., Логанов Ю.Д. Механическое «сердце» пневмогидравлического привода // Арматуростроение. 2017. №2 (107). С. 48.
12. Освоение Арктического шельфа. [Электронный ресурс].
13. URL: <https://будущее-арктики.рф/osvoenie-arkticheskogo-shelfa-rossii/>
14. Шаровой кран ЧКД «Бланско». Производство Чехия. [Электронный ресурс].
15. URL: <http://infoks.ru/index.php/produkty/tekhnicheskaya-ucheba-material/71-sharovyj-kran-chkd-blansko-proizvodstvo-chekhiya>
16. Каталог продукции компании ITAG. [Электронный ресурс].
17. URL: <https://itag-celle.de/itag-valves-oilfield-products-gmbh/>
18. Каталог продукции компании MOVECO S.r.l. [Электронный ресурс].
19. URL: <http://www.movecosrl.com>
20. Двухпозиционные шаровые краны. Проектирование, изготовление и окончательные приемочные испытания. Требования ШДАГ, составленные с учетом опыта работ // Техническая встреча с российскими производителями арматуры, М., 24 июня 2010 г. Презентация компании «Штокман Девелопмент АГ». [Электронный ресурс]. URL: [http://www.shtokman.ru/f/1/russian/requirements/Ball%20valves.%20SDAG%](http://www.shtokman.ru/f/1/russian/requirements/Ball%20valves.%20SDAG%20)
21. Мороз В.В., Логанов Ю.Д. Разрыв шаблона // Арматуростроение. 2016. №1 (100). С. 47–50.
22. Чечулин Б.Б., Ушков С.С., Разуваева И.Н., Гольдфайн В.Н. Титановые сплавы в машиностроении. Л.: Машиностроение, 1977. 248 с.
23. Ильин А.А., Колачёв Б.А., Полькин И.С. Титановые сплавы. Состав, структура, свойства. Справочник. М.: ВИЛС-МАТИ, 2009. 520 с.

В.В. Мороз, технический эксперт ОАО «МосЦКБА»,
Ю.Д. Логанов, генеральный директор ОАО «МосЦКБА»

ЭВОЛЮЦИЯ ТЕХНИКИ

Часть 2 (Начало см. АС №3/120/2019)

Эволюция техники – закономерный процесс, заключающийся в практической реализации достижений академической науки, простимулированный потребностями человечества и условиями жесткой конкуренции, причем конкуренции как внутренней – между группами людей, так и внешней – с условиями среды. Внутренняя конкуренция может иметь религиозные, военные или коммерческие корни, это путь конфликтов, побед и поражений. Внешняя конкуренция – это преодоление или покорение стихии: водной, воздушной, космоса, земных недр и т.д.

Несмотря на широкое применение многими производителями отработанными годами конструкции поршневого привода (см. АС №3, **рис. 1**), эволюция приводов на этом не остановилась. И сегодня при строительстве новых газопроводов применяются приводы принципиально другого типа – электрогидравлические. Они были разработаны в соответствии с требованиями Киотского протокола по охране окружающей среды, чтобы заменить приводы, использующие в качестве рабочего тела природный газ с последующим сбросом его в атмосферу [1]. Как показано на **рис. 1**, обычные пневмогидравлические приводы берут для работы природный газ из газопровода 7 и после срабатывания сбрасывают его в атмосферу через блок управления 3, тем самым загрязняя ее. В электрогидравлических приводах природный газ при управлении не используется, и для этого пришлось изменить конструкцию привода. В нее дополнительно были включены следующие узлы: насос высокого давления; бак с гидравлической жидкостью; гидроаккумуляторы, заправленные сжатым азотом и предназначенные для трех перестановок крана в случае отключения электроэнергии; редукционный и предохранительный клапаны. Оборудованный такими комплектующими привод имеет более высокую стоимость, он сложнее в обслу-

живании, а его ремонт в случае размещения крана на линейной части магистрального газопровода вдали от КС возможен только с привлечением значительных ресурсов. Кроме того, в таком приводе элементы гидравлической системы постоянно нагружены давлением сжатого в гидроаккумуляторах азота, что может приводить к усталостному разрушению уплотнений и разгерметизации гидравлической системы. В случае потери гидравлической жидкости работоспособность электрогидропривода в отличие от более простых по конструкции пневмогидравлических и пневматических приводов будет полностью утрачена, даже несмотря на наличие в нем сложных систем управления (ручного дублера, электрического аккумулятора). Но мы помним: если вид в природе существует, то значит, он победил в эволюционной борьбе. Так и в технике: несмотря на сложность конструкции, если электрогидропривод эксплуатируется на объектах ГТС, значит, сегодня он востребован.

Эволюция приводной техники имеет и свои «случайные эксцессы». Как в природе мы можем наблюдать не летающих птиц, например страусов, так и в приводной технике есть не летающий струйно-реактивный двигатель [1], который был приспособлен не для полетов, а для управления шаровыми кранами ГТС. Возникновение приводов этого типа пришлось на конец

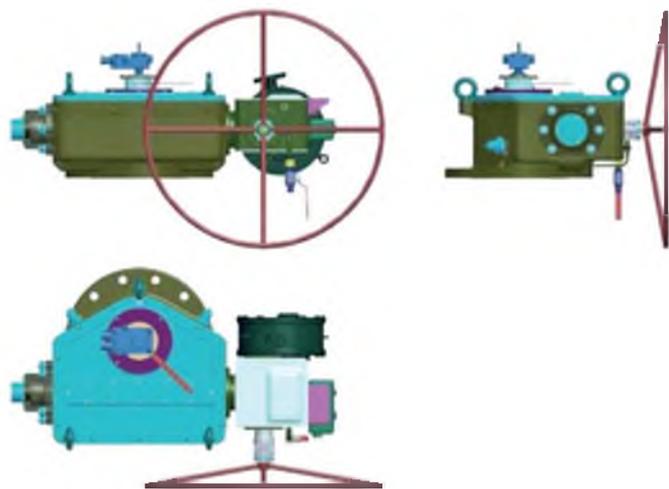


Рис. 7. Электропневматический струйно-реактивный привод шарового крана DN 700 PN 100 [2]

1980-х годов и совпало с валом проблем, перечисленных ранее и связанных с недостатками конструкции приводов тех времен. Именно для решения этих задач и были разработаны принципиально новые приводы, в которых в качестве движителя используется турбина с соплами Лавала (рис. 7). Такая турбина представляет собой Сегнерово колесо, выполненное в виде полого с перегородкой вала-шестерни с напрессованной втулкой и двумя отогнутыми трубками, изготовленными из титановых сплавов. Трубки загнуты в разные стороны, и каждая из них связана каналом со своим торцом вала-шестерни. Подача в турбину рабочей среды с того или иного торца соответственно задает и направление ее вращения. Попав в турбину, струя газа проходит до сопла Лавала с небольшой скоростью, а затем, попадая в тяговое сопло, расширяется; ее температура и давление падают, а скорость возрастает. В результате потенциальная энергия сжатой рабочей среды преобразуется в кинетическую энергию истекающей из сопла реактивной струи, создающую тягу. Производство реактивной силы тяги на расстояние от тяговых сопел до оси вращения дает требуемый крутящий момент на валу.

По сути, струйно-реактивный привод – это турбина с зубчатым редуктором, присоединенная к винтокулисному механизму. Мы считаем перспективным развитие этого направления в виду ряда очевидных преимуществ: благодаря использованию в приводе «чистой механики» (отсутствует гидросистема, используется консистентная смазка единичной заводской закладки, нет сложных пневматических устройств, больших объемов гидравлической жидкости) повышается надежность работы шаровых кранов и удобство их обслуживания для экс-

плуатирующего персонала КС, особенно в условиях экстремально низких температур северных регионов [2]. К недостаткам струйно-реактивных приводов можно отнести то, что они не могут быть мгновенно остановлены по причине большого числа частей, вращающихся со значительной скоростью; поэтому в этих приводах используются специальные системы торможения. Кроме того, работа струйно-реактивной турбины, как и любой другой, сопровождается значительным шумом.

Много проблем при эксплуатации шаровых кранов с поршневыми приводами связано с низким качеством комплектующих изделий, например, ручных дублеров. Так, в руководстве ВНИИИГАЗ ИП-37-03-05.91 [3] упоминается выход из строя шестиходовых переключателей гидрораспределителя и коррозия плунжеров насосов. В другом руководстве ВНИИИГАЗ – ИП-37-07-05.91 [3] описаны случаи заклинивания плунжеров насосов по причине коррозии, а также указано следующее: отсутствие дублирующих уплотнительных колец на плунжере приводит к потере герметичности; поломка рукояток насосов; ненадежная конструкция конических нагнетательных и всасывающих клапанов; заклинивание золотника шестиходовых переключателей гидрораспределителя.

Учитывая наличие перечисленных проблем, эксплуатирующие организации требуют от разработчиков оборудования его постоянного совершенствования. Поэтому неудивительно, что ручные дублеры пневмогидравлических приводов также прошли свой эволюционный путь развития. Сегодня на объектах ГТС в основном встречается конструкция насосов двух типов, отличающихся формой золотника гидрораспределителя. Насосы первого типа имеют цилиндрический золотник. У данной конструкции есть недостаток: при перепадах температуры окружающей среды такой насос может потерять работоспособность из-за разных коэффициентов линейного расширения материалов золотника и обоймы и появления малых зазоров между этими деталями. То есть при определенных условиях поворот рукоятки гидравлического распределителя потребует больших усилий. Это же может произойти и при загрязнении рабочей жидкости посторонними включениями. Увеличение зазоров в зоне контакта золотника с обоймой приводит к увеличению перетока между каналами распределителя, потере рабочего давления и снижению КПД.

У насосов второго типа золотник плоский. Такая конструкция требует его принудительного поджатия, а, значит, применения дополнительных органов управления, что также усложняет обслуживание насоса.

Эволюция, как мы уже отметили, является процессом непрерывным. И вот в ОАО «МосЦКБА» разработали совершенно новую конструкцию ручного насоса под названием «Тандем»



Рис. 8. Опытный образец ручного дублера пневмогидравлических приводов шаровых кранов НР-60 (ОАО «МосЦКБА»)

и его одноцилиндровую модификацию [4]. Особенностью насосов такой конструкции стал золотник гидрораспределителя, выполненный в виде шарового запорного узла, в котором шаровая пробка расположена в опорах, седла подпружинены и имеют уплотнение из фторопласта. По сути, этот гидрораспределитель представляет собой трехходовой многоканальный шаровой кран. Другими особенностями конструкции стали съемные седла клапанов с резервной рабочей поверхностью, что повышает ремонтпригодность насоса, и блочная конструкция, в которой обеспечен свободный доступ к клапанам для их очистки в случае засорения без слива гидравлической жидкости из гидросистемы привода. При разработке данного решения преследовались следующие цели: уменьшение энергозатрат при управлении приводами шаровых кранов за счет исключения перетоков гидравлической жидкости по золотнику и, следовательно, сокращение времени на перестановку запорного органа; повышение надежности при управлении приводом в аварийных ситуациях; возможность быстрого ремонта насоса и восстановления его работоспособности в полевых условиях. Опытный образец насоса НР-60 успешно прошел испытания в ходе подконтрольной эксплуатации у заказчика. По ее результатам была отмечена легкость переключения рукоятки гидрораспределителя и доступность клапанов насоса для обслуживания, что дает хорошие шансы на победу этой конструкции в последующем эволюционном соревновании.

А теперь хотелось бы остановиться на вероятных путях дальнейшей эволюции конструкций шаровых кранов. Как известно, жизнь на Земле зародилась в океанах, и только затем ею была покорена суша. В технике получилось наоборот. Дефицит доступных энергоресурсов подталкивает нас все ближе к освоению холодной водной стихии. На долю России прихо-

дится примерно 21% длины шельфа Мирового океана, а перспективы его освоения просто невероятны. Ведь там находятся богатейшие залежи углеводородов, только разведанные запасы которых, по оценкам, составляют четверть общемировых. Шельф, которым владеет Россия, хранит до 25% запасов нефти и до 50% газа страны. При этом доступность шельфовых месторождений различна, она усложняется с запада на восток. Если в районе Баренцева моря более теплый климат, сформированный влиянием Гольфстрима, и небольшие глубины делают освоения шельфа достаточно легким делом, то в Чукотском море даже разведка запасов сильно осложняется круглогодичными льдами [5]. Задачи освоения этих территорий диктуют в том числе и последующую эволюцию конструкций шаровых кранов ГТС. Для круглогодичной добычи нефти и газа в условиях арктического шельфа необходимо новое, не имеющее аналогов оборудование. Если кто-то рассчитывает опустить обычный шаровой кран под воду и получить требуемый результат, то он глубоко заблуждается. Ведь если бросить кота в воду, то рыбой он не станет; потребуется миллион лет эволюции, и, возможно, только тогда из кота получится кит. Так и конструкция шарового крана для работы под водой требует своей эволюции и длительного периода проб и ошибок. Но мы так долго ждать не можем и должны «приучить» его к воде значительно быстрее. Для этого отмотаем ленту истории немного назад и рассмотрим еще одну «древнюю» конструкцию шарового крана, на первый взгляд кажущуюся неким вымершим мастодонтом. Но на самом деле в ней были заложены идеи, которые только сегодня, при текущем состоянии технологий и материаловедения могут быть оценены должным образом и правильно реализованы.

Литература:

1. Мороз В.В. Струйный привод – нереализованные возможности // Арматуростроение. 2013. №2 (83). С. 50–53.
2. Мороз В.В. Электропневматический струйно-реактивный привод // Арматуростроение. 2014. №4 (91). С. 40–50.
3. Руководство по эксплуатации запорных шаровых кранов Ду200-1400. М.: ВНИИГАЗ, 1992. — 50 с. ИП-37-01-05.91 РЭ ЗК Ду1000, 1200, 1400 Ру6,4 «ЧКД Бланско» (Чехословакия). ИП-37-02-05.91 РЭ ЗК Ду1000, 1200, 1400 Ру7,5 «Дольни Бенешов». ИП-37-03-05.91 РЭ ЗК Ду1200 Ру6,4 Алексинского завода. ИП-37-04-05.91 РЭ ЗК Ду1000, 1200 Ру8,0 Алексинского завода. ИП-37-05-05.91 РЭ ЗК Ду200-700 Ру7,5 «Со Дю Тарн». ИП-37-06-05.91 РЭ ЗК Ду200-300 Ру8,0. ИП-37-07-05.91 РЭ двухступенчатых гидравлических насосов, установленных на запорных отечественных кранах Ду 500, 700, 1000 и 1400.
4. Мороз В.В., Логанов Ю.Д. Механическое «сердце» пневмогидравлического привода // Арматуростроение. 2017. №2 (107). С. 48–54.
5. Освоение Арктического шельфа. [Электронный ресурс].
6. URL: <https://будущее-арктики.рф/osvoenie-arkticheskogo-shelfa-rossii/>

Продолжение статьи читайте в следующем номере журнала.

В.В. Мороз, технический эксперт АО «МосЦКБА»,
Ю.Д. Логанов, генеральный директор АО «МосЦКБА»

ЭВОЛЮЦИЯ ТЕХНИКИ

Часть 3 (Начало читайте в АС №3/120/2019 и №4/121/2019)

Эволюция техники – закономерный процесс, заключающийся в практической реализации достижений академической науки, протимулированный потребностями человечества и условиями жесткой конкуренции, причем конкуренции как внутренней – между группами людей, так и внешней – с условиями среды. Внутренняя конкуренция может иметь религиозные, военные или коммерческие корни, это путь конфликтов, побед и поражений. Внешняя конкуренция – это преодоление или покорение стихии: водной, воздушной, космоса, земных недр и т.д.

Речь пойдет о шаровом кране чешского завода ЧКД «Бланско» (рис. 9) [1]. Этот шаровой кран выпускался в двух модификациях: для подземной установки (с колонной) и для надземной установки (без колонны). Кран состоял из корпуса с шаровым затвором, колонны, роторного привода, гидробаллонов, ресивера и системы гидропневматического управления. Конструкция запорного узла была выполнена в виде шаровой пробки в опорах. Опоры представляли собой роликовые упорно-опорные сферические подшипники, причем верхний и нижний подшипник соединялись трубкой, которая проходила внутри корпуса и по которой к ним подводилось масло. Подшипники затвора несли большую нагрузку: так, при одностороннем давлении на затвор, равном 55 кг/см^2 , общее усилие на затвор составляло 430 т. Следовательно, на каждый подшипник давила сила в 215 т. Особенностью конструкции запорного узла этого шарового крана являлось применение плавающих седел, которые могли перемещаться в сторону шаровой пробки и от нее по команде системы управления приводом.

Так в конструкции крана была реализована функция управления седлами. Ход седла в кране составлял всего лишь несколько миллиметров. На внутренней поверхности каждого седла со стороны затвора было закреплено резиновое уплотнительное кольцо, за счет которого достигалась герметичность затвора. С каждой стороны седла имела герметичная замкнутая полость. Герметичные замкнутые полости, заключенные между каждым седлом и корпусом крана, заполнялись маслом и всегда были сообщены с атмосферой. Герметичные замкнутые полости, заключенные между каждым седлом и фланцем со стороны шаровой пробки, были сообщены

с атмосферой только в периоды между поворотами затвора. Перед каждым поворотом затвора в эти полости подавался под давлением газ, под действием которого седло отжималось от затвора. Масло, находящееся в противоположных полостях, выполняло функцию демфера; при этом оно вытеснялось в специальный бачок, сообщенный с атмосферой. После поворота затвора из одного крайнего положения в другое полости «на отжатие» седел от затвора сообщались с атмосферой. Подвижные седла автоматически за счет давления газа в газопроводе поджимались к затвору. Автоматическое поджатие подвижных седел к затвору происходило потому, что суммарное давление на торцовую поверхность седел со стороны присоединительных патрубков было больше, чем суммарное давление на торцовую поверхность седел со стороны затвора. При отжатии седел от затвора масло из кольцевых камер «на прижатие» вытеснялось в бачок, а после перестановки затвора и стравливания газа из гидробаллона и кольцевых камер «на отжатие» седла под действием давления газа в газопроводе прижимались к затвору, и кольцевые камеры «на прижатие» снова заполнялись маслом из бачка. При отсутствии давления газа в газопроводе и отжатие подвижных седел от затвора, и поджатие седел к за-



Рис. 9. Шаровой кран чешского завода ЧКД «Бланско» [1]

твору производилось давлением масла, нагнетаемого ручным насосом в соответствующие полости. Ввиду того, что поворот затвора всегда производится при отжатых подвижных седлах, трение при перестановке затвора происходило только в подшипниках.

Приведем отзывы эксплуатирующих организаций, которые были изложены в рекомендациях ИП-37-01-05.91 [2], разработанных ВНИИГАЗ:

- конструкция кранов Ду 1000, 1200 и 1400, Ру 6,4 МПа фирмы ЧКД «Бланско» – необычная, очень сложная, а поэтому и ненадежная в работе;
- шаровой затвор переставляется только при отжатых от него седлах. Перестановка затвора при прижатых седлах ведет к повреждению уплотнительных резиновых колец, обеспечивающих герметичное прилегание седел к затвору, т.е. к потере герметичности затвора;
- при давлении газа в газопроводе менее 1,0 МПа седла слабо прижаты к шаровому затвору и не обеспечивают герметичности затвора;
- при эксплуатации имело место повреждение трубки, сообщающей подшипники между собой. В результате происходит выброс газа в атмосферу через колонну, корпус привода и бачок;
- тип конструкции привода роторно-лопастной, а не поршневой;
- для управления кранами задействовано много элементов управления (восемь), которые должны устанавливаться в определенное положение в зависимости от вида управления;
- конструкцией не предусмотрена возможность перестановки кранов вручную при отказе в работе системы подачи газа в узел управления;
- за счет даже самой маленькой негерметичности замкнутых камер может произойти самопроизвольное отжатие седел от затвора и между ними будет проходить поток газа, который может привести к эрозии уплотнений седел с затвором, а, следовательно, к потере герметичности затвора.

Первым «рудиментом» конструкции, исчезнувшим в ходе эволюции, стало использование роликовых подшипников для опор запорного органа. К подшипникам крана предъявляются следующие требования: достаточная прочность и жесткость для исключения избыточной деформации под нагрузкой, низкое трение при вращении. Примененные в конструкции роликовые подшипники предназначены для работы в динамике для многооборотных конструкций, имеют невысокую нагрузочную способность, большие габариты и требуют смазки. В связи

с этим от их использования отказались и начали применять металлофторопластовые подшипники (МФЛ). Последние сегодня обладают наилучшим сочетанием свойств: низким коэффициентом трения, малыми габаритами при высокой несущей способности, малой чувствительностью к температурным колебаниям; допускаемое давление на подшипник в статическом положении составляет до 400 МПа при нормальной температуре, коэффициент сухого трения скольжения – не более 0,1.

Как уже отмечалось, роторно-лопастные приводы для управления обычными шаровыми кранами в настоящее время применяются редко. Но в связи с необходимостью освоения шельфа интерес к приводам без кулисных механизмов заметно возрос. Сегодня ведущие производители шаровых кранов, такие как, например компания ITAG (Германия), для кранов подводной установки применяют так называемые компактные гидравлические приводы (**рис. 10**) [3], которые по компоновке напоминают роторно-лопастной привод завода ЧКД «Бланско». Аналогичные ротационные приводы сегодня производят фирмы MOVECO (Италия), **рис. 11** [4], и Dantorque (США). Основные достоинства гидравлических ротационных приводов заметны в условиях недостатка рабочего объема, высокой плотности установленного оборудования на нефтегазодобывающих платформах, на кораблях и подводных лодках, при повышенных температурах окружающей среды, работе в морской воде и других агрессивных средах. Еще одной особенностью подводных кранов производства компании ITAG с гидравлическим приводом компании Dantorque (см. **рис. 10**) [5] является то, что привод выполнен съемным в подводных условиях. Такой привод подсоединяется к крану нижней частью с помощью зажима и оборудован системой спутникового дистанционного управления. Кран собирается и устанавливается под водой как единый блок. После этого с помощью дистанционного управления запускают привод, который активизирует работу крана. После наладки работы крана зажим разъединяют и убирают привод, а кран работает под водой более 20 лет без всякого обслуживания. В другом варианте исполнения привод может оставаться на кране и управляться дистанционно. Роторные приводы удобны для организации управления с помощью телеуправляемых обитаемых подводных аппаратов (ТНПА). Для этого на приводах выполняется интерфейс вращательного типа для операций ТНПА по ISO 13628-8.

Идея управления седлами, реализованная в шаровых кранах завода ЧКД «Бланско», на самом деле была не нова. Известен патент США US4226258, НКИ 138/208, МПК F16K15/18, Int. Cl.3 F04F1/86, 07.10.1980 г., описывающий конструкцию, в которой предусмотрено отведение седел от запорного органа перед его поворотом. К сожалению, примененная в чешском



Рис. 10. Шаровой кран для подводной установки компании ITAG с компактным приводом компании «Dantorque» [3]



Рис. 11. Роторный компактный гидравлический привод компании MOVECO, установленный на шаровом кране [4]

кране схема управления, как и у ранее описанных приводов со схемой «газ, масло» имеет один принципиальный изъян: при разрушении уплотнения седел между камерами «на отжатие» и «на прижатие» газ из пневматической полости проникает в смежную гидравлическую полость, где находится гидравлическая жидкость, и вытесняет последнюю через систему управления во внешнюю среду, что приводит к потере герметичности крана, как это и было указано в ИП-37-01-05.91 [2]. Понимая важность значения идеи управляемых седел для освоения северных регионов и шельфа, а также уровень современных технологий, специалисты АО «МосЦКБА» провели работы по изучению возможности создания современных шаровых кранов с управляемыми седлами [6]. В ходе выполнения НИОКР решались следующие задачи:

- снижение стоимости крана за счет снижения момента, необходимого для его управления, и использования в результате этого менее мощных и более дешевых приводов;
- увеличение ресурса уплотнений крана и повышение их надежности;

- снижение затрат при внедрении инновации за счет максимального использования элементов серийной продукции, применяемой сегодня на объектах ГТС.

Поставленные задачи решались на базе серийных шаровых кранов, разработанных в соответствии с требованиями СТО Газпром 2-4.1-212–2008, в конструкцию которых вносились минимальные изменения. В рамках реализации проекта были определены два основных исполнения шаровых кранов с управляемыми седлами и разработаны схемы управления для каждого из них. Первое исполнение: кран, который работает только в режиме управляемых седел. Второе исполнение: универсальный кран, который может работать как в режиме управляемых седел, так и в режиме обычного крана (седла работают с двойным поршневым эффектом – DUBLE PISTON EFFECT). Преимуществом использования второй схемы управления является то, что она требует минимальной доработки серийного крана. Благодаря этому данная схема может использоваться на серийных кранах без существенного изменения их конструкции как дополнительная опция, обеспечивающая снижение момента и продлевающая ресурс уплотнений с сохранением возможности обратного перехода к обычной эксплуатации шарового крана.

Для отработки принятых конструктивных решений была разработана конструкторская документация и изготовлен макет схемы управления седлами, который был смонтирован на серийном шаровом кране *DN 300 PN 80*, временно предоставленном ЗАО «САЗ» (рис. 12). В период с 25 января 2018 года по 30 января 2018 года на испытательном оборудовании ЗАО «САЗ» проводились испытания макета схемы управления шаровыми кранами с управляемыми седлами. В ходе испытаний на макете моделировались два режима работы шарового крана. Первый режим работы соответствовал режиму ожидания, когда кран шаровой находится в статическом состоянии в положении «закрыто» (или «открыто»). На макете схемы управления была проверена возможность седел шарового крана работать в режиме DUBLE PISTON EFFECT. Второй режим работы соответствовал открытию или закрытию шарового крана, когда его запорный орган перемещается относительно седел. Испытания прошли успешно, о чем свидетельствует соответствующий акт. В дальнейшем АО «МосЦКБА» планирует продолжить исследовательскую деятельность: изготовить опытные образцы шаровых кранов *DN 300 PN 80* и *DN 400 PN 100* и провести полный комплекс их стендовых и натурных испытаний.

Ожидается, что созданная в рамках проекта конструкция шарового крана с управляемыми седлами даст наибольший эффект при ее внедрении в производстве магистральных цельносварных шаровых кранов *DN 700, 1000, 1200, 1400*, так как ремонт таких кранов очень дорог и может быть выполнен только в условиях специализированного предприятия.

Кроме того, разработанная в АО «МосЦКБА» технология отвода седел от шаровой пробки во время ее поворота может быть использована при изготовлении шаровых кранов для подводной установки, выход из строя которых по причине потери герметичности влечет за собой большие материальные потери.



Рис. 12. Макет схемы управления шаровыми кранами с управляемыми седлами, подготовленный к проведению испытаний (АО «МосЦКБА»)

Как видно, идеи, заложенные в конструкции шарового крана чешского завода ЧКД «Бланско», сегодня, при развитии технологий и материаловедения, приобретают новое значение.

Если же говорить об эволюции шаровых кранов в аспекте применяемых конструкционных материалов, то одним из перспективных металлов, который в будущем может использоваться для изготовления шаровых кранов, является титан. В нем удачно сочетаются хорошая пластичность, высокая коррозионная и эрозионно-кавитационная стойкость, удельная прочность, нехладоломкость, немагнитность и ряд других качеств, что позволяет рассматривать титановые сплавы как перспективные для изготовления подводной трубопроводной арматуры [7]. Подтверждением этому могут служить проведенные Бомбергером испытания скорости коррозии титана, а также алюминиевых сплавов, нержавеющей стали, никель-медного сплава и инконеля в морской атмосфере, которые показали, что за пятилетний срок на всех деталях, кроме изготовленных из титана, были обнаружены видимые продукты коррозии, тогда как последние даже не изменили цвет. Таким образом, проведенное американскими исследователями изучение коррозионной стойкости материалов в водах Атлантического океана на глубинах 830 и 2000 м показало абсолютную коррозионную стойкость ряда сплавов из титана.

Даже краткое знакомство с этим материалом свидетельствует о больших перспективах его использования для изготовления подводной арматуры, в том числе и шаровых кранов. Так, применение титановых сплавов в подводной лодке модели 705 привело к уменьшению массы корпуса на 30% по сравнению с массой корпуса из стали, при этом на 10% увеличилась подводная скорость и глубина погружения судна. При использовании титановых труб достигается 23-кратная экономия по массе по сравнению со стальными, что имеет очень важное значение для плавающих платформ; при этом в 10 раз возрастает долговечность труб. По зарубежным данным, каждый дополнительный фунт оборудования на плавающей плат-

форме обходится в 6,5 дол. США. Снижение массы надводных блоков на 1 т позволяет уменьшить массу опорных конструкций на 3 т и сэкономить около 150 тыс. дол. США [8]. А такой фактор, как немагнитность, позволит защитить подводные корабли и другое оборудование от магнитных мин, что важно в условиях возрастания военных и террористических угроз. Неудивительно, что из титана уже сегодня изготавливают необитаемые подводные аппараты (ТНПА), которые обслуживают оборудование для добычи углеводородов под водой.

В завершение еще раз вернемся к эволюции в природе. Человечеству необходимо умерить гордыню и пересмотреть свой взгляд на якобы дарованную свыше исключительность. На самом деле мы такие же дети природы, как и все вокруг нас, и, если вовремя не адаптируемся, то наступит закономерный итог – вымирание вида. Ну, а что касается эволюции техники, то необходимым ее условием является уменьшение ограничений, заложенных в стандартах и правилах, отсутствие внешнего вмешательства по политическим или иным соображениям и присутствие на ответственных должностях умных и прогрессивных специалистов.

Литература:

1. Шаровый кран ЧКД «Бланско». Производство Чехия. [Электронный ресурс]. URL: <http://infoks.ru/index.php/produkty/tekhnicheskaya-ucheba-material/71-sharovyj-kran-chkd-blansko-proizvodstvo-chekhiya>
2. Руководство по эксплуатации запорных шаровых кранов Ду200-1400. М.: ВНИИГАЗ, 1992. — 50 с. ИП-37-01-05.91 РЭ ЗК Ду1000, 1200, 1400 Ру6,4 «ЧКД Бланско» (Чехословакия). ИП-37-02-05.91 РЭ ЗК Ду1000, 1200, 1400 Ру7,5 «Дольни Бенешов». ИП-37-03-05.91 РЭ ЗК Ду1200 Ру6,4 Алексинского завода. ИП-37-04-05.91 РЭ ЗК Ду1000, 1200 Ру8,0 Алексинского завода. ИП-37-05-05.91 РЭ ЗК Ду200-700 Ру7,5 «Со Дю Тарн». ИП-37-06-05.91 РЭ ЗК Ду200-300 Ру8,0. ИП-37-07-05.91 РЭ двухступенчатых гидравлических насосов, установленных на запорных отечественных кранах Ду 500, 700, 1000 и 1400.
3. Каталог продукции компании ITAG. [Электронный ресурс]. URL: <https://itag-celle.de/itag-valves-oilfield-products-gmbh/>
4. Каталог продукции компании MOVECO S.r.l. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.movecosrl.com>
5. Двухпозиционные шаровые краны. Проектирование, изготовление и окончательные приемочные испытания. Требования ШДАГ, составленные с учетом опыта работ. Техническая встреча с российскими производителями арматуры, Москва, 24 июня 2010 г. Презентация компании «Штокман Девелопмент АГ». [Электронный ресурс]. URL: [http://www.shtokman.ru/f/1/russian/requirements/Ball%20valves.%20SDAG%](http://www.shtokman.ru/f/1/russian/requirements/Ball%20valves.%20SDAG%20)
6. Мороз В.В., Логанов Ю.Д. Разрыв шаблона // Арматуростроение. 2016. №1 (100). С. 47–50.
7. Титановые сплавы в машиностроении /Б.Б. Чечулин, С.С. Ушков, И.Н. Разуваева, В.Н. Гольдфайн Л.: Машиностроение), 1977. 248 с.
8. Ильин А.А., Колачёв Б.А., Полькин И.С. Титановые сплавы. Состав, структура, свойства. Справочник. М.: ВИЛС-МАТИ, 2009. 520 с.