



Фото с сайта: www.gazprom.ru

Генезис технического решения НОВОГО РЕГУЛИРУЮЩЕГО КЛАПАНА для нефтегазового оборудования

И.Н. Карелин,
д. т. н., РГУ нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина

*«У меня вот тоже один такой был. Крылья сделал.
Я его на бочку с порохом посадил, пущай полетает».*

из к/ф «Иван Васильевич меняет профессию»

Первое изобретение автора настоящей статьи датировано 1989 годом [1], т. е. за его плечами почти 30 лет изобретательства по заданиям специалистов газовой промышленности. Задания были ориентированы преимущественно на проблемы надежности газонефтяной малоразмерной трубопроводной запорной арматуры для загрязненных механическими примесями рабочих сред. Как работник высшей школы, а не завода или проектной организации, по целому ряду причин достаточно давно автор статьи является изобретателем-одиночкой. От возглавляемой им некогда небольшой Исследовательской группы «Ресурс» остались лишь воспоминания и аббревиатура «ИГР» в названии последних изобретений [2].

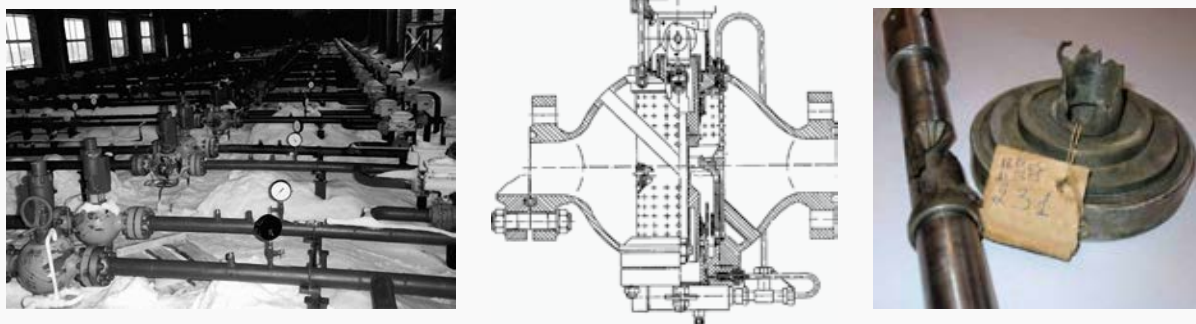


Рис. 1. Общий вид цеха подземного хранилища природного газа с устройствами мод. КРУ, конструктивная схема и отказавшие детали

В таком качестве в связи с аварией на одном из московских подземных хранилищ природного газа автор впервые столкнулся с запорно-регулирующим трубопроводным устройством мод. КРУ производства ОАО «Волгограднефтемаш», которое оказалось причиной аварии (рис. 1).

В отличие от предложений конструкторов завода-изготовителя, предложение автора состояло в усовершенствовании конструкции устройства, что и было позже сделано на уровне изобретения (рис. 2) [3].

Позднее в связи с продолжающимися отказами вышеуказанных изделий в производственных подразделениях отрасли на техническом совещании «по разбору полета» в Управлении по ПХГ ОАО «Газпром» была предложена

также параллельно с автором разработанная и запатентованная в РФ конструкция клапана мод. КРЭ (рис. 3) ООО «Саратовгазприборавтоматика» [4], известная ещё в советской технической литературе (рис. 4) [5].

В результате, по принципу «практика – критерий истины», мудрое решение совещания было таким: все стороны должны в эксплуатации показать преимущества своих технических решений. Автору же удалось лишь предложить саратовцам запатентованное [6] техническое решение по усовершенствованию их конструкции мод. КРЭ (рис. 5). Но даже ответа получено не было.

А дальше всё вернулось «на круги своя», и клапан мод. КРУ в неизменном виде до сих пор наличествует в каталоге продукции ОАО «Волгограднефтемаш» [7].

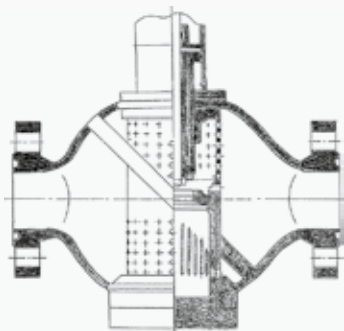


Рис. 2. Модернизированная схема конструкции мод. КРУ

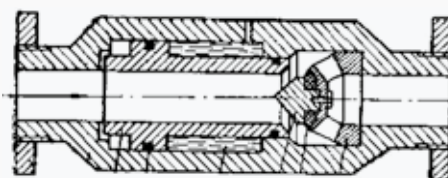


Рис. 4. Схема известного с советских времен клапана осевого потока

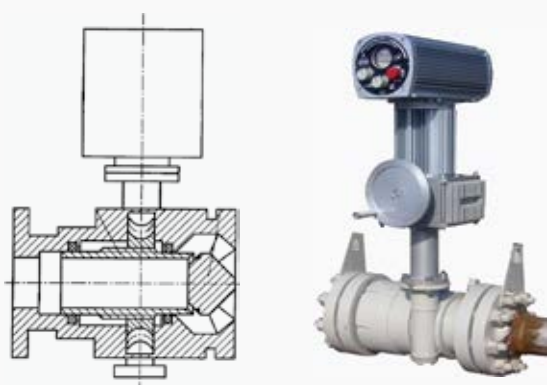


Рис. 3. Клапан мод. КРЭ фирмы ООО «Саратовгазприборавтоматика»

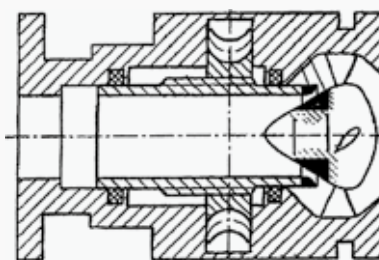


Рис. 5. Схема модернизированного клапана мод. КРЭ

В процессе изучения указанных изделий прежде всего необходимо было обратиться к требованиям Газпрома (ОТС ЗРА-98, позднее СТО Газпром 2-4.1-212-2008 [8]), где к подобным изделиям, помимо всего прочего, предъявлялось требование герметичного перекрытия затвора. И неясность состояла в том, что в СТО это требование предъявлялось к регулирующим клапанам (п. 7.4), а фактически относилось к запорно-регулирующим устройствам. Эта разница имеет принципиальное значение, особенно для загрязненных механическими примесями рабочих сред. Доказательством этого специалистам Газпрома автору приходилось заниматься долгое время, причем большей частью безуспешно. СТО в этой части считается в Газпроме незыблемым документом и обсуждению не подлежит.

После изучения других конструкций газонефтяных трубопроводных регулирующих устройств, как то: вентильного (рис. 1), шиберного (рис. 6), шарового (рис. 7) и клеточно-плунжерного (поперек и вдоль оси потока) типов (рис. 8 а, б) стало ясно, что все они запорно-регулиру-

ющие, а в Газпроме именно запорно-регулирующие клапаны типа RZD фирмы Моквелд (рис. 9) считаются почти пределом совершенства. Позже выяснилось, что схема клапана Моквелд – это схема кольцевой задвижки (рис. 10) еще из советской технической литературы [9], некогда успешно реализованная в Голландии в образе антипомпажного клапана, который стал поставляться в Россию, причем по весьма существенным ценам и стимулам. Более внимательное знакомство с этим изделием позволило установить, что вышеупомянутые требования СТО, основным разработчиком которых являлся ДОО «Оргэнергогаз», скопированы преимущественно с этих клапанов. Копируют Моквелд как западные (рис. 11а) [10], так и российские (рис. 11 б, в, г) [11, 12, 13] фирмы. Причем под флагом импортозамещения – широким и перспективным фронтом и не только для газовиков, но и для нефтяников. Схема клапана КРЭ ничем не хуже Моквелда. Несмотря на свою «уникальность», клапаны Моквелд все-таки отказывают в наших условиях эксплуатации (рис. 12). И клеточная схема клапана проблемы не решает.

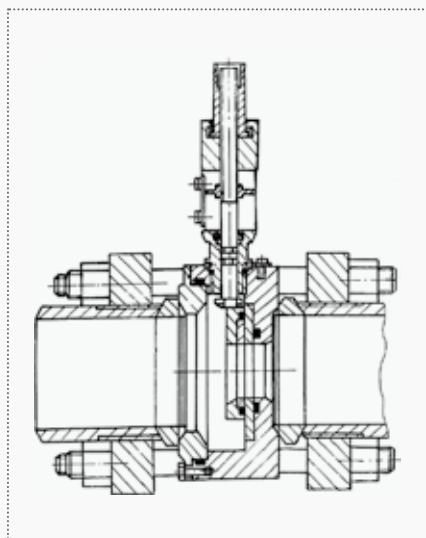


Рис. 6. Схема трубопроводного регулирующего устройства шиберного типа (мод. ШР)

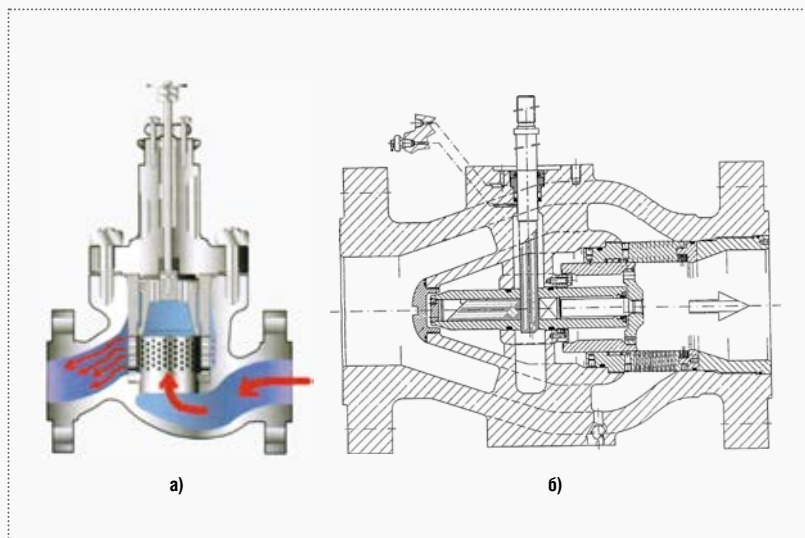


Рис. 8. Схемы трубопроводных регулирующих устройств клеточно-плунжерного типа: а – поперек оси потока (мод. фирмы Cavitol); б – вдоль оси потока (мод. фирмы Mokveld)

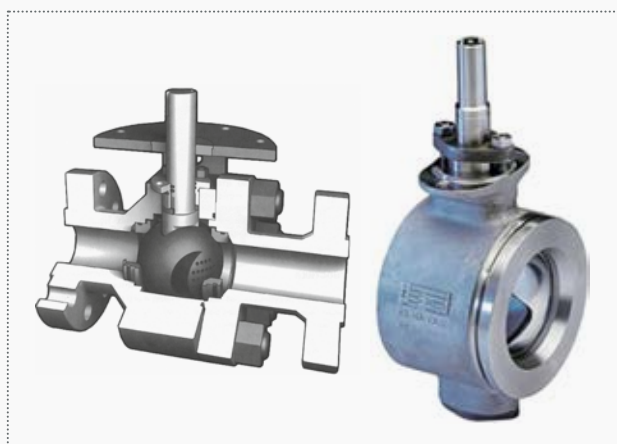


Рис. 7. Схемы трубопроводных регулирующих устройств шарового типа (мод. фирм MOGAS и Hogfors)



Рис. 9. Общий вид клапана Моквелд

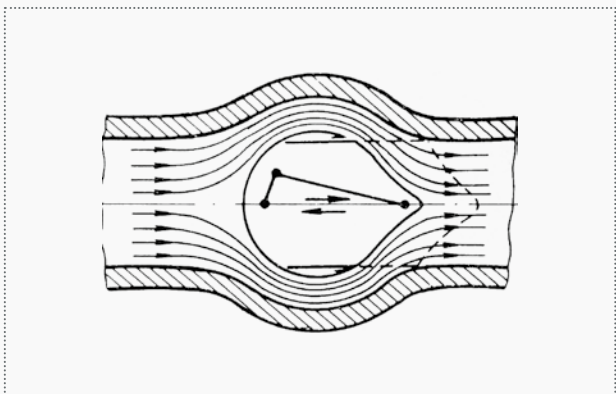


Рис. 10. Схема кольцевой задвижки

Западные специалисты отмечали, что причина недостаточной надежности антипомпажных клапанов – в повышенном гидросопротивлении проточной части [14]. И немудрено, что даже фирма Моквелд в своих рекламных материалах выгодно сравнивает свою «уникальность» принципа осевого потока с клапанами вентильного типа, отличающимися наивысшим гидросопротивлением. Анализ схем перекрытия потока в большинстве существующих конструкций газонефтяных регулирующих клапанов также свидетельствует об отсутствии осевой симметричности и наличии существенной деформации потока во всех моделях.

Конечно же, наличие сопротивления в проточной части регулирующего клапана необходимо. Как это

известно еще из первых работ Д.Ф. Гуревича, для обеспечения условия регулируемости трубопроводной системы диаметр проточной части клапана не должен превышать $0,7D$ диаметра трубопровода (50% площади). Это несложно, но вот геометрия проточной части – это не только причина потерь энергии потока и соответственно мощности, затрачиваемой на его транспортирование, но и заметный источник повышенной турбулентности, а, следовательно, вибрации и шума, а в загрязненных средах еще и повышенной агрессивности таких потоков.

Эффективность принципа осевого потока понятна. Но почему она связана с предпочтением плунжерного затвора в клапане, как это зафиксировано в упомянутом СТО, было не очень понятно. Перечисленные факторы и сомнения и явились основанием предлагаемой (запатентованной в России) совершенно новой осесимметричной схемы перекрытия проходного сечения [15].

В проходном отверстии шаровой пробки размещены восемь равномерно расположенных по окружности проходного отверстия элементов дросселирования, имеющих в сечении, перпендикулярном оси проходного отверстия, форму равнобедренного прямоугольного треугольника с вершиной, обращенной к оси проходного отверстия. Четыре элемента дросселирования неподвижны, а другие четыре размещены между ними с воз-

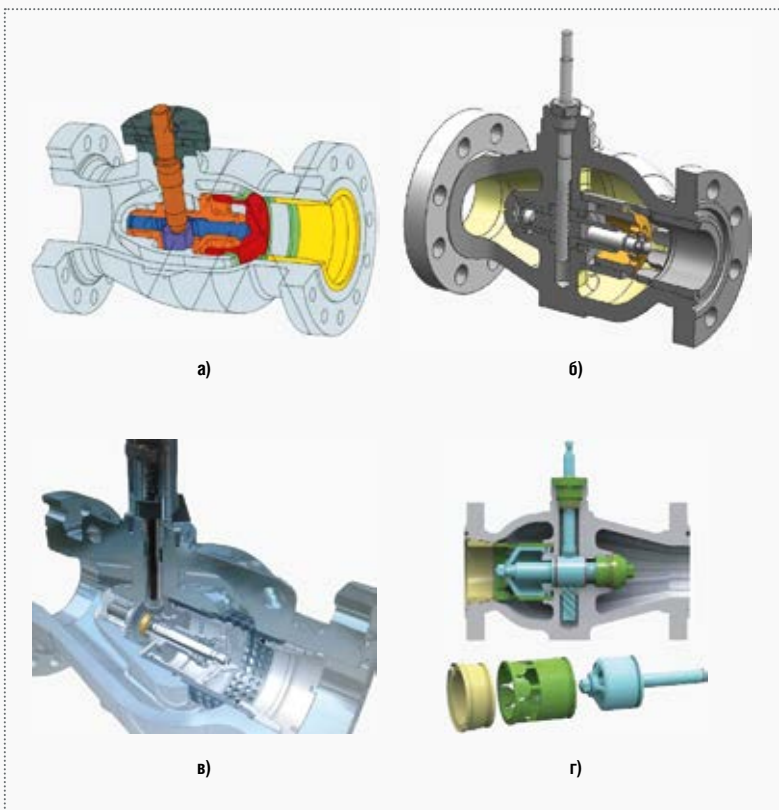


Рис. 11. Копии Моквелда:
 а – фирмы Гепоугер (Франция); б – фирмы РУСТ (Санкт-Петербург);
 в – фирмы АНОД (Н. Новгород); г – фирмы Регулятор (Ярославль)



Рис. 12. Детали отказавшего клапана Моквелд в оборудовании отечественного газодобывающего предприятия

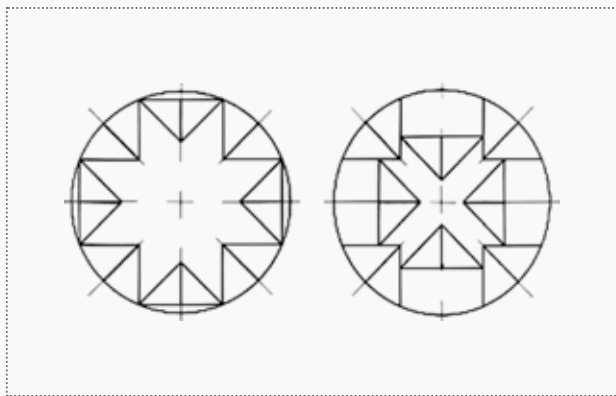


Рис. 13. Новая схема перекрытия проходного сечения регулирующего клапана «ИГР»

возможностью перемещения в направлении оси проходного отверстия; величина их перемещения равна катету треугольника неподвижного элемента дросселирования. Такая схема регулирования не связана с направлением движения потока, т. е. устраняет известный недостаток регулирующих клапанов – однонаправленность. Площадь сечения проходного отверстия клапана в открытом положении не превышает 50% площади любого диаметра проходного сечения соответствующего трубопровода и удовлетворяет вышеуказанному условию обеспечения регулируемости (рис. 13).

Рассмотрение вариантов несимметричной, равно как и симметричной разновысотной (подвижных и неподвижных зубцов) геометрии поперечного сечения восьмизубцовой конфигурации проходного регулируемого отверстия клапана показало, что вышеприведенная конфигурация является оптимальной по критерию осесимметричности потока и условию регулируемости трубопроводной системы. Шестизубцовая конфигурация даже при симметричном исполнении зубцов не удовлетворяет условию регулируемости. Конфигурация, образованная более чем восемью зубцами, конструктивно невыполнима.

Кроме того, зубцы, имеющие в направлении оси проходного отверстия (т. е. траектории движения потока) хорошо обтекаемую форму, выполняют функцию, аналогичную известным в аэродинамике спрямляющим сеткам и решеткам. Последние положительно влияют на коэффициент ξ гидравлического сопротивления проточной части устройства. А одним из основных функциональных параметров регулирующего клапана является коэффициент пропускной способности K_v (или C_v) = $f(1/\xi^{0.5})$, для улучшения которого требуется всемерное снижение гидросопротивления проточной части клапана, которое и достигается с помощью предложенной конструкции проточной части клапана «ИГР». Согласно требованиям СТО «...пропускная характеристика регулирующего клапана – это зависимость пропускной способности от хода h регулирующего элемента...» [8]. А поскольку коэффициент K_v прямо связан с площадью F проходного сечения

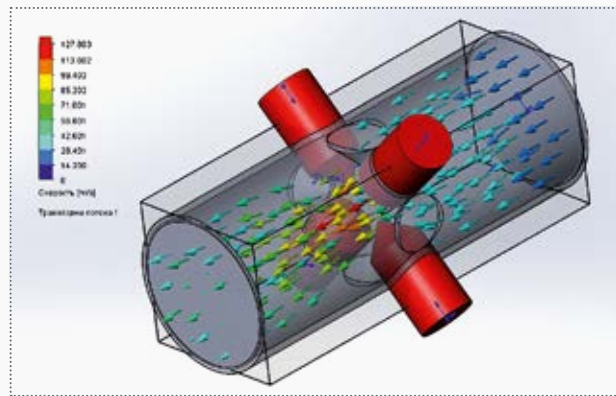


Рис. 14. Компьютерная модель траектории потока в клапане «ИГР»

клапана, то зависимость $F = f(h)$, а для клапана «ИГР» $F = 0,4 \cdot D \cdot (D - 4h)$, косвенно характеризует требуемую СТО зависимость. Причем, в отличие от вышеупомянутых моделей КРЭ и ШР клапанов, даже в косвенном выражении она является линейной, что также удовлетворяет указанному требованию СТО.

Предложенная зубчатая конфигурация проходного отверстия клапана обеспечивает наиболее прямолинейную симметричную траекторию потока. Это преимущество достаточно убедительно выглядит и на модельной схеме проточной части клапана «ИГР», выполненной с помощью приложения Flow Simulation программы SolidWorks (рис. 14), причем для пробной, не самой эффективной обтекаемости и прочности формы зубцов в виде конусов и консольных цилиндров с коническими наконечниками.

Изначально, согласно требованиям СТО, предложенная схема перекрытия конструктивно представлялась в виде запорно-регулирующего клапана на базе шарового крана (рис. 15) [2,16]. Тем не менее, проработка данных конструктивных схем запорно-регулирующего клапана с совмещенной запорной и регулирующей функцией в связи со сложностью их реализации и соответственно осознанной бесперспективностью поставило вопрос о целесообразности совмещения. Ведь экономические соображения по этому вопросу не выдерживают критики в связи с высокой стоимостью современных нефтегазовых запорно-регулирующих клапанов. Кроме того, если в конструкциях запорных трубопроводных устройств эффект регулирования (пусть кратковременный) неизбежен, а в загрязненных потоках еще и негативен, то в запорно-регулирующей конструкции эта функция предусмотрена служебным назначением изделия. При этом обтекаемыми в самых современных конструкциях осесимметричных регулирующих устройств являются как регулирующие, так и запорные элементы. Следовательно, одновременно с изнашиванием регулирующих органов утрачивается и запорная функция изделия. Да и в современном издании Д.Ф. Гуревича [17] разница между запор-

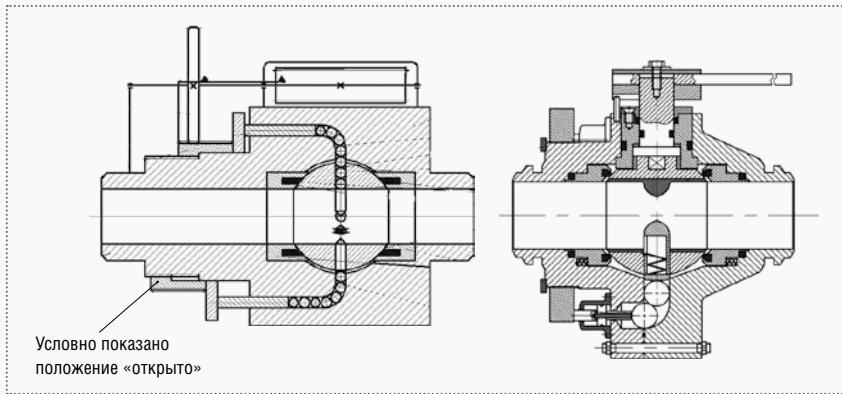


Рис. 15. Схемы запорно-регулирующего клапана «ИГР»

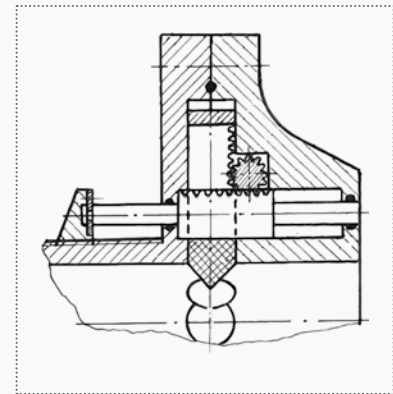


Рис. 16. Схема привода регулирующего клапана «ИГР»

но-регулирующим и регулирующим клапаном четко сформулирована.

Это и привело к предложению сугубо регулирующего клапана «ИГР» с простейшей схемой конструкции привода подвижных регулирующих зубцов (рис. 16) [18]. Привод каждого зубца состоит из двух взаимно перпендикулярных прямозубых реек, размещенных в корпусе параллельно и перпендикулярно оси проходного отверстия клапана и соединенных друг с другом через удлиненную шестерню, также размещенную в корпусе. Перемещение реек, расположенных параллельно оси проходного отверстия клапана, и приводит одновременно в движение зубцы.

Разработанное на данном этапе техническое решение осевого регулирующего клапана «ИГР», безусловно, требует развития и совершенствования, т. е. полного цикла НИОКР и конструкторско-технологической проработки. Начальная ориентация на потребности нефтегазовой отрасли еще не означает единственности его назначения. Эффективным оно может оказаться в трубопроводных системах оборудования других отраслей промышленности вплоть до бытовых кранов. Но даже на этом, практически нулевом этапе разработки данного технического решения, учитывая предварительные обоснования его принципиальных преимуществ, можно утверждать, что оно того стоит.

Связаться с автором вы можете по адресу karelin-in@mail.ru

☛ Список литературы:

1. Авторское свидетельство СССР № 1733794. Запорный узел.
2. Патент РФ № 2453752. Клапан «ИГР».
3. Патент на полезную модель РФ 25229. Проходной регулирующий клапан.
4. Патент РФ № 2198335. Клапан запорный.
5. Тараненко Б.Ф., Герман В.Т. Автоматическое управление газопромысловыми объектами. М., «Недра», 1976. – 213 с.
6. Патент на полезную модель РФ № 60665. Регулирующий клапан.
7. www.vnm.ru.
8. СТО Газпром 2-4.1-212-2008. Общие технические требования к трубопроводной арматуре, поставляемой на объекты ОАО «Газпром». М.: ОАО «Газпром», 2008. С. 23, 24.
9. Гуревич Д.Ф. Конструирование и расчет трубопроводной арматуры. Л.: Машиностроение, 1968. – 888 с.
10. <http://www.genoyer.com>.
11. <http://www.gk-roost.ru>.
12. www.anod.ru.
13. НПО «Регулятор», г. Ярославль.
14. Asher Glaun P.E. Индуцированная потоком среды вибрация в регулирующей арматуре // Арматуростроение. 2011. № 5 (74). С. 20–22.
15. Патент РФ № 2382924. Запорно-регулирующий клапан.
16. Патент РФ № 2493462. Бифункциональный клапан «ИГР».
17. Гуревич Д.Ф. Трубопроводная арматура: Справочное пособие. Изд. 4-е. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. – 368 с.
18. Патент РФ № 2537081. Регулирующий клапан «ИГР».