

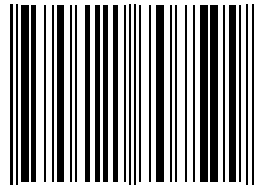
А. В. Фоминых, И. Р. Чиняев, А. Л. Шанаурин

ДВУХФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ТРУБОПРОВОДНАЯ АРМАТУРА

ШИБЕРНЫЕ ЗАПОРНО-РЕГУЛИРУЮЩИЕ УСТРОЙСТВА

Учебное пособие

ISBN 978-5-4217-0750-9



9 785421 707509

Курганский
государственный
университет



Библиотечно-издательский
центр
65-48-12

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Курганский государственный университет»

А. В. Фоминых, И. Р. Чиняев, А. Л. Шанаурин

**ДВУХФУНКЦИОНАЛЬНАЯ
ТРУБОПРОВОДНАЯ АРМАТУРА
ШИБЕРНЫЕ ЗАПОРНО-РЕГУЛИРУЮЩИЕ
УСТРОЙСТВА**

Учебное пособие

Курган 2026

УДК 621.646.1(075.8)

ББК [34.749+39.7]я73

Ф 76

Рецензенты:

Андрей Владимирович Чернышев, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Вакуумная и компрессорная техника» МГТУ им. Н. Э. Баумана (г. Москва).

Сергей Сергеевич Родионов, кандидат технических наук, доцент кафедры «Механизация и электрификация сельского хозяйства» КГСХА имени Т. С. Мальцева – филиал ФГБОУ ВО «Курганский государственный университет» (г. Курган).

Печатается по решению методического совета Курганского государственного университета.

Фоминых А. В.

Двухфункциональная трубопроводная арматура. Шибберные запорно-регулирующие устройства : учеб. пособие / А. В. Фоминых, И. Р. Чиняев, А. Л. Шанаурин. – Курган : Изд-во Курганского гос. ун-та, 2026. – 74 с.

В учебном пособии приведены принципиально новые, запатентованные конструкции запорно-регулирующих устройств, разработанных на основе шибберных задвижек, выполняющих две функции: перекрытие потока рабочей среды с обеспечением герметичности в затворе трубопроводной арматуры (ТПА) посредством взаимодействия друг с другом уплотнительных полей подвижного элемента (шиббера) с уплотнительными полями сидел корпуса ТПА и второй функции – достижение необходимой пропускной характеристики (прямолинейной, равнопроцентной или специальной).

Издание предназначено для студентов, преподавателей, инженерно-технических работников проектных организаций, специалистов предприятий, производящих и эксплуатирующих ТПА.

© Курганский государственный университет, 2026

© Фоминых А. В., Чиняев И. Р., Шанаурин А. Л., 2026

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	5
ВВЕДЕНИЕ.....	7
ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ.....	8
СПИСОК ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ	9
1 Научно-практические решения в области управления потоками рабочей среды.....	10
1.1 Гидравлические характеристики ТПА.....	10
1.2 Рекомендации по проведению силовых расчетов клиновых и шиберных задвижек.....	11
1.2.1 Анализ методики расчета удельных давлений на уплотнительных полях шибера (клина) и седла по стандарту «ЦКБА 002-2003 Арматура трубопроводная. Задвижки. Методика силового расчета».....	11
1.2.2 Методика расчета удельных давлений на уплотнительных полях во всем диапазоне хода регулирующего элемента задвижки.....	13
1.2.3 Рекомендации по расчету удельных давлений на уплотнительных полях затвора шиберных запорно-регулирующих устройств, задвижек шиберных и клиновых.....	26
1.3 Способы снижения кавитации.....	27
Контрольные вопросы	29
2 Создание двухфункциональной ТПА, шиберных запорно-регулирующих устройств.....	30
2.1 Шиберное запорно-регулирующее устройство со стабилизатором потока, патент на изобретение RU 2464470	31
Контрольные вопросы	35
2.2 Шиберное запорно-регулирующее устройство с защитой пружины стабилизатора от воздействия рабочей среды, патент на изобретение № 2506483	36

Контрольные вопросы	39
2.3 Шиберное запорно-регулирующее устройство с упорами, соединенными со шпинделем, патент на изобретение № 2502908	40
Контрольные вопросы	43
2.4 Шиберное запорно-регулирующее устройство с равнопроцентной пропускной характеристикой, патент на изобретение № 2618151	43
Контрольные вопросы	46
2.5 Шиберное запорно-регулирующее устройство с перфорированным шибером, патент на изобретение № 2357626	46
Контрольные вопросы	49
2.6 Шиберное запорно-регулирующее устройство с перфорированными седлами, патент на изобретение № 2773821	50
Контрольные вопросы	55
2.7 Шиберное запорно-регулирующее устройство с пакетом пластин с наклонными каналами в выходном патрубке, патент на изобретение № 2464469	56
Контрольные вопросы	59
2.8 Шиберное запорно-регулирующее устройство с пакетами пластин с наклонными каналами во входном и выходном патрубках, патент на изобретение № 2696658.....	60
Контрольные вопросы	64
2.9 Шиберное запорно-регулирующее устройство с внутренним байпасом, патент на изобретение № 2586958	64
Контрольные вопросы	70
ПОСЛЕСЛОВИЕ	71
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	72

ПРЕДИСЛОВИЕ

Трубопроводная арматура (ТПА) известна людям с древнейших времен. Первые сведения о применении арматуры для управления потоками воды появились со времен возникновения письменности в Китае, Индии, Египте. Несколько законов вавилонского царя Хаммурапи, выбитые клинописью в XVII веке до н. э. на базальтовом столбе, частично сохранившемся до наших дней, свидетельствуют об умении обслуживать искусственно орошаемые наделы земли путем открывания и закрывания арыков. Не могла обойтись без арматуры и система водоснабжения в «висячих» садах древнего Вавилона, в которых вода, поднятая на высоту более 90 метров, изливалась водопадами, фонтанами, подавалась для полива деревьев, кустарников и цветников, наполнения бассейнов, использовалась для охлаждения царских покоев.

Первые системы подачи воды в России возникли еще в IX–XII веках. Об этом свидетельствуют найденные во время раскопок на территории Великого Новгорода старинные водопроводные системы. В то время водоснабжение подразделялось на самотечную водопроводную сеть и каналы для водостока и дренажа. К XV веку самотечными водопроводами из деревянных труб обеспечивались некоторые промыслы. Старинные водопроводные системы – самотечные с деревянными трубами – были обнаружены также и в других городах Древней Руси. Для регулирования тока воды применялись деревянные задвижки – старейшая арматура.

Первый напорный водопровод появился в России в XVII веке. Из Москвы-реки вода текла по деревянным трубам в расположенный внизу Свибловой башни колодец. Из него с помощью подъемника на конной тяге воду поднимали в бак, расположенный наверху башни, откуда свинцовые трубы распределяли ее по местам потребления – во дворцы, царские бани, поварни, оранжереи.

Промышленная революция, характеризующаяся появлением паровых машин, токарно-винторезных станков и промышленных ману-

фактур, потребовала разработки и организации производства запорных, обратных, предохранительных, регулирующих клапанов (второй тип арматуры, изготавливаемый промышленным способом). Появление трубопроводов с трубами большого диаметра и высокого давления (до начала XX века высоким давлением считалось 13 атмосфер) вызвало к жизни широкое использование задвижек.

К началу XX века централизованным водоснабжением в России было охвачено около 20 % городов. В 1910 году более 149 городов России получили централизованные водопроводные сети. Первая мировая война, революция и гражданская война вновь обострили проблему водоснабжения. К 1930 году Москва сумела выйти по потреблению водопроводной воды на уровень 1913 года. Один житель из 42 % всех городских домов, обеспеченных водопроводом, мог расходовать до 128 литров.

На смену самотечным сетям стали приходить напорные водопроводы. Стали применять новые виды трубопроводной арматуры – краны, вентили, задвижки. Мощность водопроводов к 1940 году выросла почти в 5 раз. С дальнейшим ростом диаметров водопроводов у задвижек появляется конкурент – следующий тип арматуры – дисковые поворотные затворы.

С получением нового материала с уникальными показателями химической стойкости и уплотнительными характеристиками, фторопласта, появилась возможность широкого распространения шаровых кранов с плавающим шаром и шаром в опорах. Начало их производства пришлось на 50–60-е годы двадцатого столетия. С момента выдачи патента на шаровой кран до начала массового производства прошло 120 лет.

Каждому значимому периоду человеческой деятельности соответствовало появление определенного вида трубопроводной арматуры. Развитие конструкций арматуры способствовало техническому прогрессу.

ВВЕДЕНИЕ

В 1992 году Ленинградским научно-производственным объединением «Знамя труда» имени И. И. Лепсе и ЦКБА (Центральным конструкторским бюро арматуростроения) выпущен каталог: «Промышленная трубопроводная арматура» в 2 частях.

В 2006 году предприятие «ТЕКСКОМП-КИТЭМА» издало номенклатурный каталог по трубопроводной арматуре, выпускаемой предприятиями СНГ [1].

В 2010 году Московское центральное конструкторское бюро арматуростроения выпустило пятитомный «Отраслевой каталог промышленной трубопроводной арматуры и приводов».

В первом томе приведены краны шаровые.

Во втором томе: задвижки, клапаны и затворы обратные.

В третьем: клапаны запорные.

В четвертом: затворы дисковые и регулирующая арматура.

В пятом: приводы, предохранительные и отсечные клапаны.

В 2017 году в книге О. Н. Шпакова «Эволюция конструкций трубопроводной арматуры» приведена классификация промышленной и специальной арматуры по Европейской классификации СЕИР.

Во всех вышеупомянутых изданиях приведена трубопроводная арматура, выполняющая только одну функцию – запорную.

В 1991 году Алтайский политехнический институт им. И. И. Ползунова и производственно-техническое объединение «Алтай тепло энерго» получили патент SU 1809896 А3, запорно-регулирующее устройство F16K 3/28, выполняющее уже две функции: перекрытие потока рабочей среды и регулирование потока рабочей среды.

В 2002 году ООО «НПК Сильфонная техника» запатентован универсальный клапан-затвор многофункционального назначения, патент RU 2238465 С2. В 2007 году введен в действие ГОСТ 52720-2007. Арматура трубопроводная. Термины и определения. В пункте 3.4 документа применен термин «запорно-регулирующая арматура»: арматура, совмещающая функции запорной и регулирующей арматуры [2].

В 2012 году НПФ МКТ-АСДМ запатентовала «Узел затвора клиновой задвижки» патент RU 130653, совмещающей функции обратного клапана (перекрытие обратного потока рабочей среды) и клиновой задвижки (запирание потока рабочей среды).

В 2014 году введен ГОСТ 24856-2014, в котором двух функциональная ТПА заняла свое место в рядах ТПА [3].

ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Внутренний байпас – канал для потока в шибере задвижки, перекрываемый шибером байпаса. При этом площадь канала в шибере в несколько раз меньше внутренней площади седла.

Регулирующие элементы – шибер задвижки и шибер байпаса.

Стабилизатор потока – деталь, расположенная в пространстве под шибером и закрывающая при открывании задвижки нижнюю часть уплотнительных полей седел от воздействия потока рабочей среды на начальной стадии пропускания потока. На границе поверхностей сопряжения шибера и стабилизатора выполнены отверстия вдоль потока рабочей среды. При открывании затвора эти отверстия образуют множество струй, сечение которых определяется сечением указанных отверстий.

Шиберные запорно-регулирующие устройства – запорно-регулирующие устройства, разработанные на основе затвора шиберного типа.

Шиберное запорно-регулирующее устройство с внутренним байпасом – шиберное запорно-регулирующее устройство, имеющее в шибере сквозной канал для потока, перекрываемый шибером байпаса. При открытии шиберного запорно-регулирующего устройства первым начинает движение шибер байпаса и открывает канал в шибере. После этого начинает движение шибер задвижки. При закрытии шиберного запорно-регулирующего устройства первым начинает движение шибер задвижки до крайнего положения закрытия, после этого движется шибер байпаса и перекрывает канал в шибере задвижки.

Шибер байпаса – деталь, перекрывающая сквозной канал в шибере шиберного запорно-регулирующего устройства с внутренним байпасом.

Пропускная способность K_V – расход рабочей среды с плотностью $\rho=1000$ кг/м³ при перепаде давлений 0,1 МПа.

Пропускная характеристика – зависимость пропускной способности отхода арматуры.

СПИСОК ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ

БГ – блок-гребенка.

КНС – кустовая насосная станция.

НИР – научно-исследовательская работа.

НС – нагнетательная скважина.

ОКР – опытно-конструкторская работа.

ООО НПФ «МКТ-АСДМ» – ООО Научно-производственная фирма «МКТ-АСДМ». Организация расположена по адресу: Россия, г. Челябинск, ул. Кирова, 159; Россия, г. Курган, ул. Набережная, 2а.

ППД – поддержание пластового давления.

РЭ – регулирующие элементы.

ТПА – трубопроводная арматура.

ШЗРУ – шиберное запорно-регулирующее устройство.

РС – рабочая среда.

1 НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ В ОБЛАСТИ УПРАВЛЕНИЯ ПОТОКАМИ РАБОЧЕЙ СРЕДЫ

1.1 Гидравлические характеристики ТПА

Применяется три способа определения гидравлических характеристик трубопроводной арматуры: экспериментальный, аналитический метод расчета и численный метод расчета. Аналитико-эмпирический и экспериментальный методы обладают рядом недостатков, вследствие чего перед инженерами, занимающимися проектированием и расчетом трубопроводной арматуры, встает необходимость применения методов вычислительной гидрогазодинамики для определения гидравлических характеристик потока жидкости: числа Рейнольдса, перепада давления, скорости, расхода, коэффициента сопротивления, пропускной способности и других.

Аналитический метод расчета пропускной способности основан на определении потерь давления в проточной части рассматриваемой трубопроводной арматуры путем замены реальной геометрии на близкую эквивалентную. Для каждого элемента (участка) эквивалентной геометрии вычисляется коэффициент сопротивления, используя который можно определить потерю давления на этом участке. Зная суммарную величину потери давления в проточной части трубопроводной арматуры, а также расход и плотность рабочей среды, можно вычислить искомое значение пропускной способности. Основными недостатками аналитического метода расчета пропускной способности принято считать ограниченный набор эквивалентной геометрии (местных сопротивлений), диапазон применения каждого геометрического эквивалента, сложность оценки взаимного влияния местных сопротивлений и необходимость верификации расчетов.

Численный расчет осуществляется путем использования широко распространенных комплексов инженерного анализа и математического моделирования (САЕ-систем), в основе вычислений которых лежат численные методы: метод конечных элементов, метод конечных объемов, метод конечных разностей и др. Использование комплексов

математического моделирования позволяет выполнить оценку эффективности работы устройства на этапе проектирования и, при необходимости, внести изменения в конструкцию. К недостаткам численного расчета можно отнести необходимость верификации расчетов.

Экспериментальное определение пропускной способности трубопроводной арматуры регламентируется ГОСТ 34437-2018 и заключается в проведении исследований на лабораторном стенде [4], что требует значительных затрат. Как правило, экспериментальное исследование проводится производителем трубопроводной арматуры для подтверждения паспортных характеристик изделия. Стоит отметить, что такое исследование требует достаточно большого количества времени на подготовку и реализацию эксперимента, а также на последующую обработку результатов.

Примеры применения всех трех способов для определения гидравлических характеристик ТПА показаны в главе 2.

1.2 Рекомендации по проведению силовых расчетов клиновых и шиберных задвижек

1.2.1 Анализ методики расчета удельных давлений на уплотнительных полях шибера (клина) и седла по стандарту «ЦКБА 002-2003 Арматура трубопроводная. Задвижки. Методика силового расчета»

В реальности задвижка, установленная в системе трубопроводов, может занимать произвольное расположение в пространстве. Будем в дальнейшем при обсуждении устройства и работы задвижки иметь в виду расположение, представленное на рисунке 1.1: направление потока рабочей среды (РС) горизонтальное, слева направо, т. е. слева входной патрубков, справа выходной, поднятие шибера означает открытие, опускание – закрытие.

По стандарту СТ ЦКБА 002-2003 максимальное удельное давление на уплотнительных полях шибера (клина) и седла в затворе наблюдается в закрытом положении шибера или клина, т. е. тогда, когда

наблюдается максимальное давление на задвижку со стороны входного патрубка. Поэтому удельное давление определяется только в закрытом положении и считается максимальным [5].

При расчете одним из параметров, необходимых для управления подвижным элементом затвора задвижек (шибер или клин), является сила, необходимая для уплотнения затвора. В формуле для определения данной силы приведено удельное давление q . Во всех рекомендациях [5] величина q принимается постоянной и действует на всю площадь уплотнительных полей как подвижных, так и неподвижных деталей затвора.

В силовом расчете задвижек определяются следующие основные усилия. Усилие на шибер от давления рабочей среды определяется по формуле [5]:

$$Q_{cp} = 0,25 \cdot \pi \cdot D_{cp}^2 \cdot \Delta P, \quad (1.1)$$

где D_{cp} – средний диаметр уплотнительных полей между седлом и шибером, м;

ΔP – перепад давления на затворе задвижки, Па.

Площадь полей уплотнения определяется по формуле:

$$F_y = \pi \cdot D_{cp} \cdot B, \quad (1.2)$$

где B – ширина поля уплотнения, м.

Максимальное удельное давление в уплотнении затвора определяется по формуле [5]:

$$q_{yd} = \frac{Q_{cp}}{F_y} \quad (1.3)$$

Условие прочности уплотнения:

$$q_{yd} \leq [q_d], \quad (1.4)$$

где $[q_d]$ – предельно допустимое удельное давление, Па.

Из формул (1.1–1.4) также видно, что максимальное удельное давление в затворе по СТ ЦКБА 002-2003 [5] определяется только в закрытом положении шибера.

На основе анализа разрушений уплотнительных полей и методики расчета удельных давлений сформулирована гипотеза: удельные давления в задвижках зависят от положения шибера или клина, расхода и свойств рабочей среды, перепада давления, пропускной характеристики.

При расчетах удельных давлений по такой методике не учитывается несколько факторов. Так, не учитывается уменьшение площади контакта между уплотнительными полями седел и регулирующего или запирающего элемента, которое наблюдается во всех случаях, кроме положения «закрыто».

Не учитывается тот факт, что значение перепада давления на задвижке в диапазоне хода шибера от начала дросселирования до достижения максимального значения расхода остается неизменным, равным перепаду на закрытой задвижке при том, что площадь контакта взаимодействующих уплотнительных полей уменьшается. Не учитывается тот факт, что после достижения максимального расхода при некотором значении хода шибера, при дальнейшем давлении не падает до нуля мгновенно, а снижается постепенно, на протяжении некоторого хода шибера.

Не учитывается влияние расхода рабочей среды, высокие значения которого являются одной из причин разрушения уплотнительных полей.

Таким образом актуальной задачей является разработка методики расчета удельных давлений во всем диапазоне хода шибера.

1.2.2 Методика расчета удельных давлений на уплотнительных полях во всем диапазоне хода регулирующего элемента задвижки

Методику расчета удельных давлений в затворе рассмотрим на примере задвижки запорно-регулирующей МКTR-150М.25 DN 150, PN 250 со стабилизатором потока (патент на изобретение № 2464470 [9]). (Схема такой задвижки будет представлена на рисунке 2.2).

Доказано [6], что удельное давление q величина переменная и зависит от пяти факторов.

Фактор 1. Изменение площади контакта уплотнительных полей при изменении хода регулирующих элементов, шибера или клина (рисунки 1.1 и 1.2).

Канал между седлом и шибером для прохода рабочей среды появляется не сразу после начала подъема шибера, а только после относительного хода шибера $h_4=0,10$, поэтому диапазон хода шибера от $h_0=0,0$ до $h_4=0,10$ рассматриваем с увеличенным шагом $\Delta h = 0,025$. Удельные давления достигают максимальных значений в диапазоне хода шибера от $h_4=0,10$ до $h_{14}=0,20$, поэтому этот диапазон рассматриваем с шагом $\Delta h = 0,01$. Диапазон от $h_{14}=0,20$ до $h_{15}=0,3$ и далее рассматриваем с шагом $\Delta h=0,10$ в соответствии с ГОСТ 34437-2018 [4].

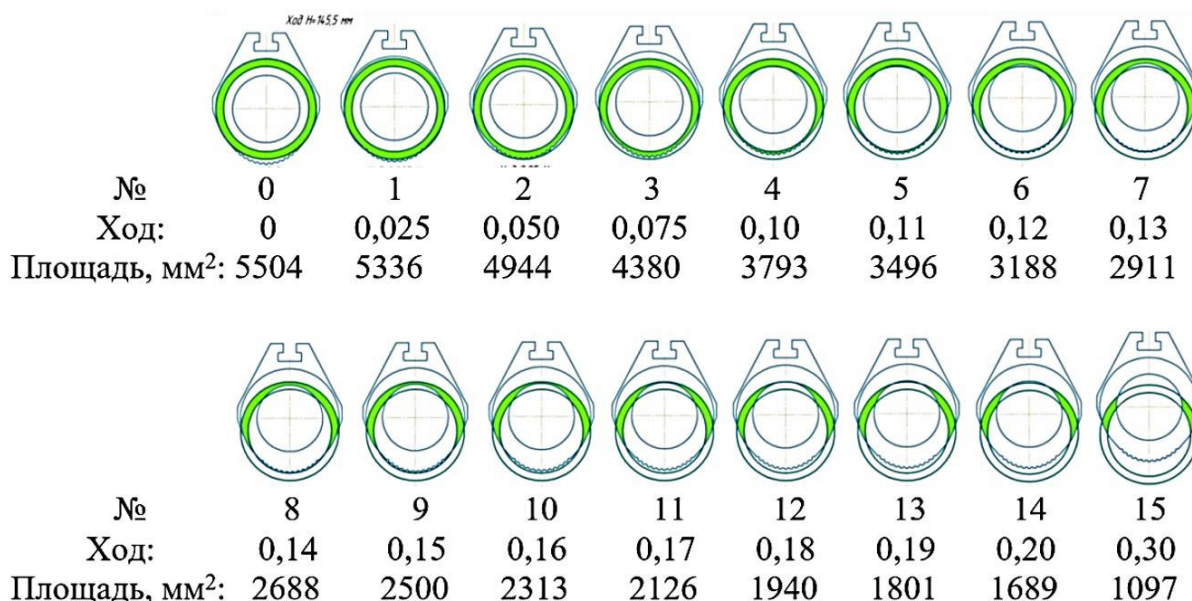


Рисунок 1.1 – Положения шибера от закрытого ($h=0$) до хода $h=0,3$ и соответствующие площади контакта S_p (затонированы) между уплотнительными полями седла и шибера

Графическая зависимость площади контакта между уплотнительными полями седла и шибера во всем диапазоне хода шибера показана на рисунке 1.2.

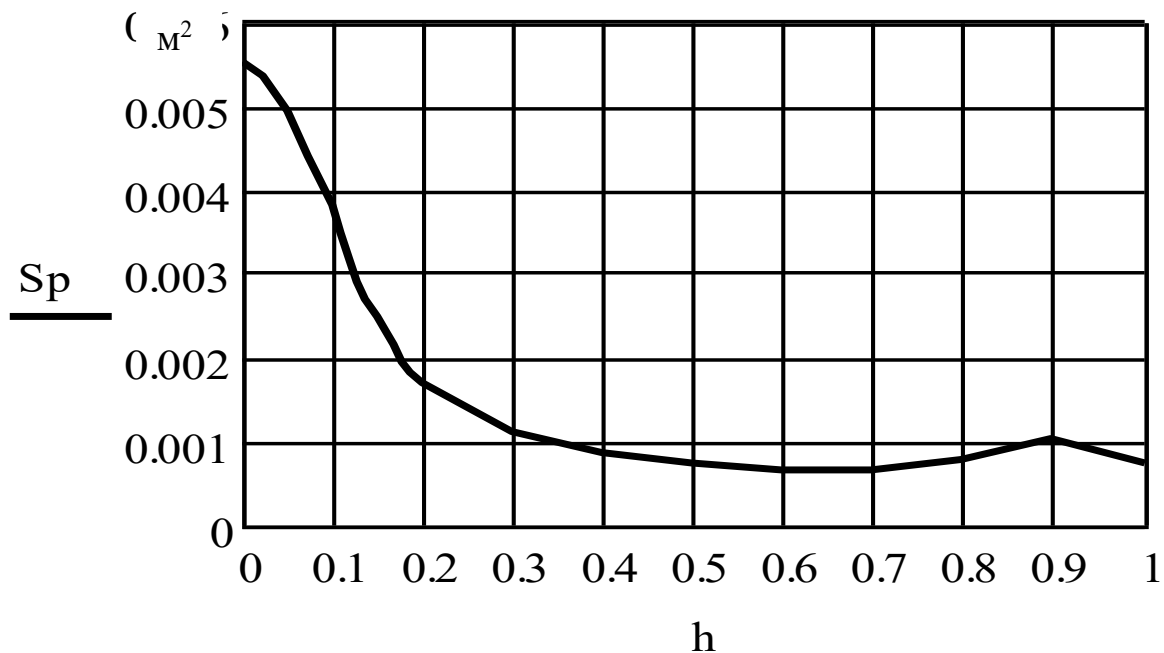


Рисунок 1.2 – Зависимость площади контакта уплотнительных полей седла и шибера от относительного хода шибера

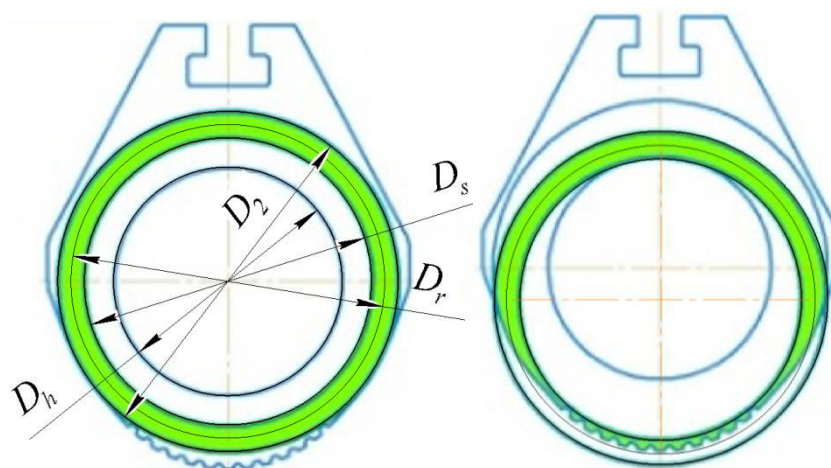
Расчетный диаметр в закрытом положении затвора определяется по формуле

$$D_r = \frac{(D_s + D_2)}{2}, \quad (1.5)$$

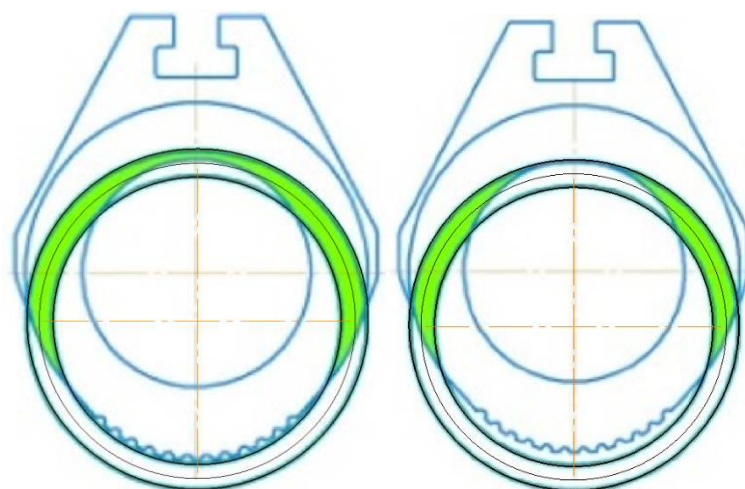
где D_s – внутренний диаметр уплотнительного поля седла, м;

D_2 – наружный диаметр уплотнительного поля седла и шибера, м.

Формула (1.5) принята в соответствии с гипотезой, что герметизация обеспечивается по расчетному (среднему) диаметру уплотнительного поля (рисунок 1.3).



а) $h=0,0$; б) $h=0,10$



в) $h=0,15$; г) $h=0,18$

D_r – расчетный диаметр уплотнительного поля в закрытом положении;

D_s – внутренний диаметр уплотнительного поля седла;

D_2 – наружный диаметр уплотнительного поля седла и шибера;

D_h – внутренний диаметр уплотнительного поля шибера

Рисунок 1.3 – Схемы расчетных площадей в закрытом положении

и при ходах $h=0,10$; $0,15$ и $0,18$

По этой гипотезе давление на шибер со стороны выходного патрубка, когда задвижка закрыта, действует на «расчетную площадь» круга, диаметр которого является расчетным, и равно давлению в выходном патрубке. На все остальные поверхности шибера (слева – на всю поверхность шибера, а справа – на кольцевую площадь, т. е. площадь шибера за исключением расчетной площади), действует давление, которое равно давлению во входном патрубке. При этом силы давления, действующие на кольцевую площадь уплотнительного поля

шибера слева и справа, оказываются взаимно уравновешенными. Расчетная площадь в закрытом положении определяется по формуле:

$$S_r = \frac{\pi \cdot D_r^2}{4}. \quad (1.6)$$

На рисунке 1.3 зеленым цветом выделены (затонированы) площади контакта уплотнительных полей затвора.

Фактор 2. Зависимость удельного давления q от перепада давления во входном и выходном патрубках корпуса и от максимального расхода, обеспечиваемого насосом при открытой задвижке.

В этой части рассмотрим, как изменяется перепад давления на шибере при разном положении шибера, т. е. при разных значениях хода шибера h , и как эта зависимость изменяется при различном максимальном расходе.

Пример расчета удельных давлений выполнен для рабочей среды (воды) плотностью $\rho=1000$ кг/м³ в зоне турбулентной автомодельности при числах Рейнольдса более 20000. При внутреннем диаметре патрубка ШЗРУ 0,134 м скорость воды в патрубке равна 1 м/с в соответствии с рекомендациями. ШЗРУ эксплуатируются при скоростях воды в патрубке до 9 м/с включительно, поэтому теоретические исследования проведены в диапазоне скоростей от 1 до 10 м/с с шагом 1 м/с, что соответствует изменению расхода через рассматриваемое ШЗРУ от 51 до 510 м³/ч. Расход через ШЗРУ при j -ом ходе шибера определяется по формуле:

$$Q_j = \frac{1}{\sqrt{\zeta_j}} \cdot S_j \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot Pm}{\rho}}, \quad (1.7)$$

где Q_j – расход через ШЗРУ, м³/с;

S_j – открытая площадь между седлом и шибером, м²;

Pm – перепад давления на ШЗРУ в закрытом положении, Па;

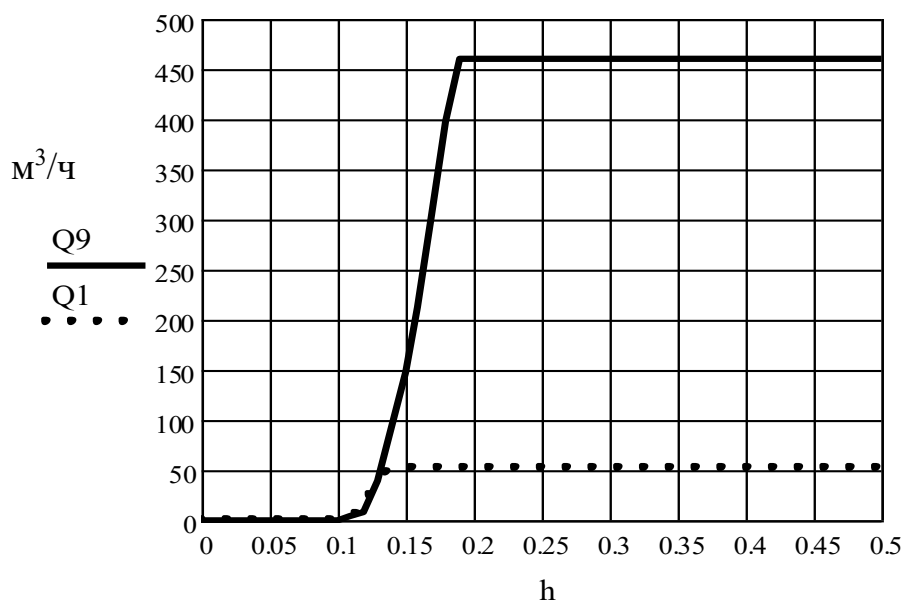
ρ – плотность рабочей среды, кг/м³;

ζ_j – коэффициент сопротивления при j -ом ходе шибера, определенный с использованием действительной пропускной характеристики ШЗРУ по формуле:

$$\zeta_j = \left(\frac{3600 \cdot S_j}{Kv_j} \right)^2 \cdot \frac{2 \cdot \Delta P}{\rho}, \quad (1.8)$$

где Kv_j – экспериментальное значение пропускной способности ШЗРУ при j -м ходе шибера, м³/ч.

На рисунке 1.4 представлены две зависимости расхода через задвижку от относительного хода шибера h . В обоих случаях давление на шибере в закрытом положении составляло 25 МПа. В первом случае (сплошная линия) максимальный расход, который обеспечивает насосная система при полностью открытой задвижке, составляет 459 м³/ч (0,1269 м³/с). Во втором случае менее мощная система обеспечивает расход при открытой задвижке лишь 51 м³/ч (0,0141 м³/с).



Q_9 – при максимальном расходе 459 м³/ч;
 Q_1 – при максимальном расходе 51 м³/ч

Рисунок 1.4 – Зависимость расхода от относительного хода шибера h при перепаде давления 25 МПа

На рисунке 1.4 видно (сплошная линия), что до момента появления прохода для рабочей среды расход отсутствует: $Q=0$. В дальнейшем, при появлении и увеличении площади прохода для рабочей среды, расход растет и при значении хода шибера $h=0,18$ достигает максимального значения 459 м³/ч (0,1269 м³/с). Для второго случая (штриховая линия) возможности системы ниже: после достижения расхода $Q_1=51$ м³/ч (0,0141 м³/с) при ходе шибера $h_8=0,14$ она не может

увеличивать расход, т. к. достигла максимального расхода, и дальнейшее увеличение площади прохода для РС не изменяет ситуацию.

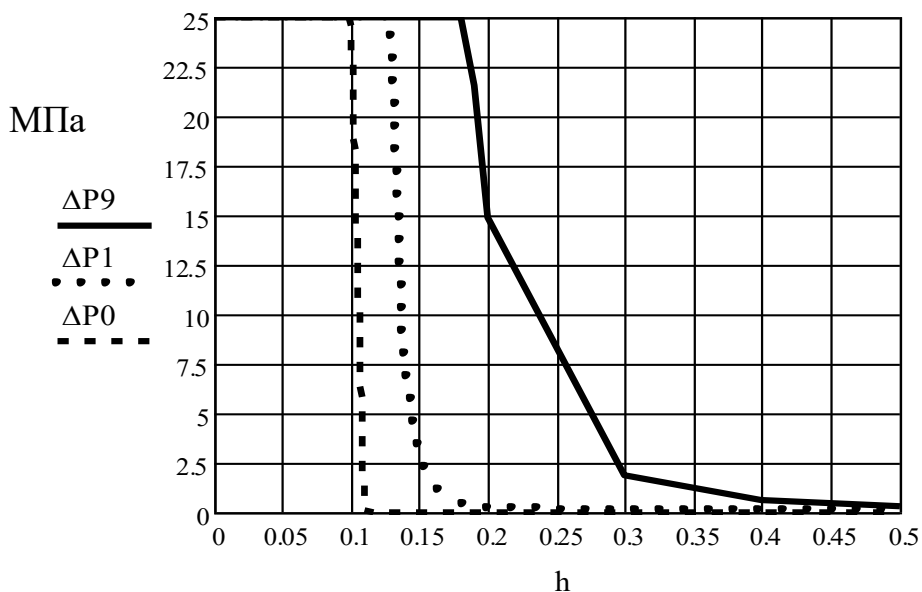
Важно заметить, что после достижения максимального значения расхода он остается постоянным при дальнейшем увеличении хода h . Полученные по формуле (1.7) значения расхода превышают значение максимального расхода (для горизонтальных конечных участков обеих кривых, рисунок 1.4), в этом случае значения расхода принимают равными значению максимального расхода.

Перепад давления на ШЗРУ ΔP (Па) при j -м ходе шибера определяется по формуле:

$$\Delta P_j = 3,57^2 \cdot 10^8 \cdot Q^2 \cdot \frac{\rho}{Kv_j^2}, \quad (1.9)$$

где Q – заданный максимальный расход, м³/с.

Значения перепада давления, полученные по формуле (1.9), превышающие заданное значение давления в закрытом положении ШЗРУ (в данном примере 25 МПа), приравниваются к заданному значению (т. е. 25 МПа) (рисунок 1.5).



ΔP_9 – при максимальном расходе 459 м³/ч;

ΔP_1 – при максимальном расходе 51 м³/ч;

ΔP_0 – при отсутствии расхода

Рисунок 1.5 – Зависимость перепада давления на ШЗРУ ΔP , МПа, от относительного хода шибера h

Из рисунков 1.4 и 1.5 видно, что перепад давления уменьшается (или тем более падает до нуля) не сразу после образования прохода для рабочей среды: перепад давления сохраняет свое максимальное значение до тех пор, пока расход не достигнет максимального значения. Это снижение перепада давления на задвижке при увеличении относительного хода происходит тем медленнее, чем больше максимальный расход. На рисунке 1.3 видно, что при максимальном расходе 459 м³/ч падение перепада давления начинается при $h=0,18$ (момент достижения максимального расхода) и до $h=0,5$ (уменьшение перепада давления на 99 %). Такое же уменьшение перепада давления на 99 % для случая максимального расхода 51 м³/ч происходит гораздо быстрее: при изменении относительного хода h от 0,14 до 0,2. Таким образом, перепад давления зависит от максимального расхода.

Из формулы (1.9) видно, что перепад давления прямо пропорционально зависит от плотности рабочей среды. Сила, прижимающая шибера к выходному седлу, определяется по формуле [6]:

$$Fk_j = Sk_j \cdot \Delta P_j, \quad (1.10)$$

где Sk_j – расчетная площадь шибера, перекрывающая канал в седле, при его j -м ходе, м²;

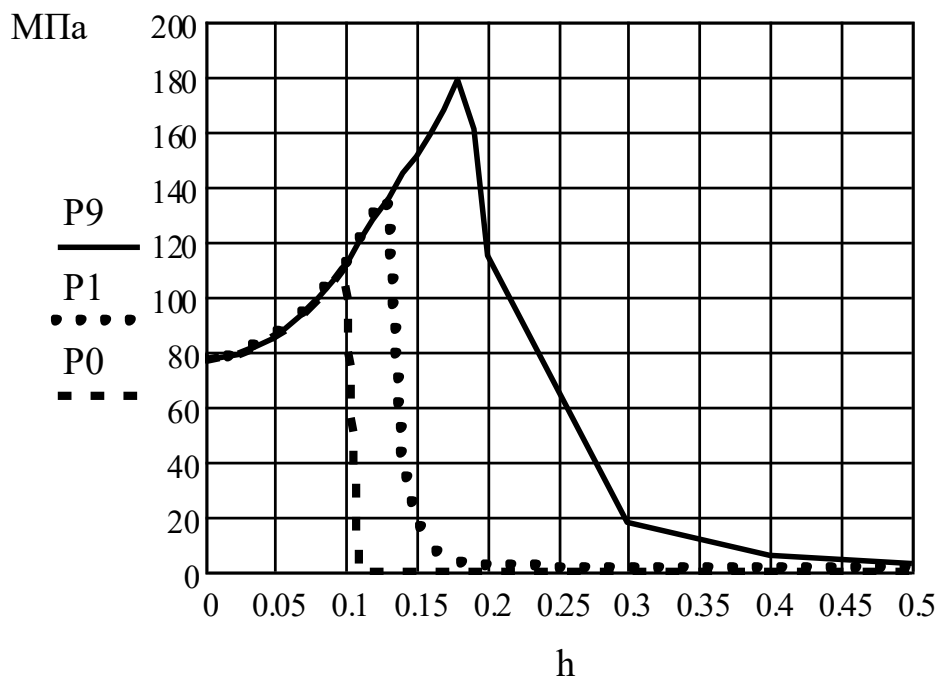
ΔP_j – перепад давления на ШЗРУ при j -м ходе шибера, Па.

Рассмотренные зависимости позволяют получить необходимые данные, чтобы вычислить удельные давления уплотнительных полей. Удельные давления определяются по формуле:

$$Pk_j = \frac{Fk_j}{Sp_j}, \quad (1.11)$$

где Sp_j – площадь контакта уплотнительных полей седла и шибера при j -м ходе шибера, м² (рисунок 1.2).

Зависимость удельных давлений в затворе ШЗРУ МКTR DN 150 PN 250 от относительного хода шибера h при перепаде давления в закрытом положении 25 МПа показана на рисунке 1.6.



$P9$ – при максимальном расходе $459 \text{ м}^3/\text{ч}$ (скорость в патрубке 9 м/с);

$P1$ – при максимальном расходе $51 \text{ м}^3/\text{ч}$ (скорость в патрубке 1 м/с);

$P0$ – при отсутствии расхода

Рисунок 1.6 – Зависимость удельных давлений в затворе P , МПа, ШЗРУ МКТР DN 150 PN 250 от относительного хода шибера h при перепаде давления в закрытом положении 25 МПа

Из рисунка 1.6 видно, что при перепаде давления 25 МПа и отсутствии подачи в закрытом положении удельное давление составляет 78 МПа (зависимость $P0$). При ходе $h=0,1$ удельное давление достигает 110 МПа из-за уменьшения площади контакта уплотнительных полей, начинается дросселирование и перепад давления исчезает.

При максимальном расходе $51 \text{ м}^3/\text{ч}$ (скорость в патрубке 1 м/с) (зависимость $P1$) дросселирование начинается при ходе $h=0,1$, но при неизменном перепаде давления и уменьшении площади контакта удельное давление возрастает до 137 МПа (ход $h=0,13$). В этот момент достигается максимальный расход $51 \text{ м}^3/\text{ч}$ (см. рисунок 1.4), начиная с этого момента при дальнейшем росте хода h перепад давления быстро уменьшается (см. рисунок 1.5), из-за этого удельное давление уменьшается до малых значений.

Аналогично протекают процессы при расходе $459 \text{ м}^3/\text{ч}$ (скорость в патрубке 9 м/с) (зависимость P9). Наиболее заметным отличием является тот факт, что после достижения максимального расхода (в данном случае при ходе $h=0,18$) в дальнейшем при увеличении хода перепад давления снижается значительно медленнее. И удельное давление также снижается от максимального 178 МПа до незначительных величин при изменении относительного хода от $0,18$ до $0,5$.

Фактор 3. Удельное давление зависит от расхода рабочей среды (рисунок 1.7).

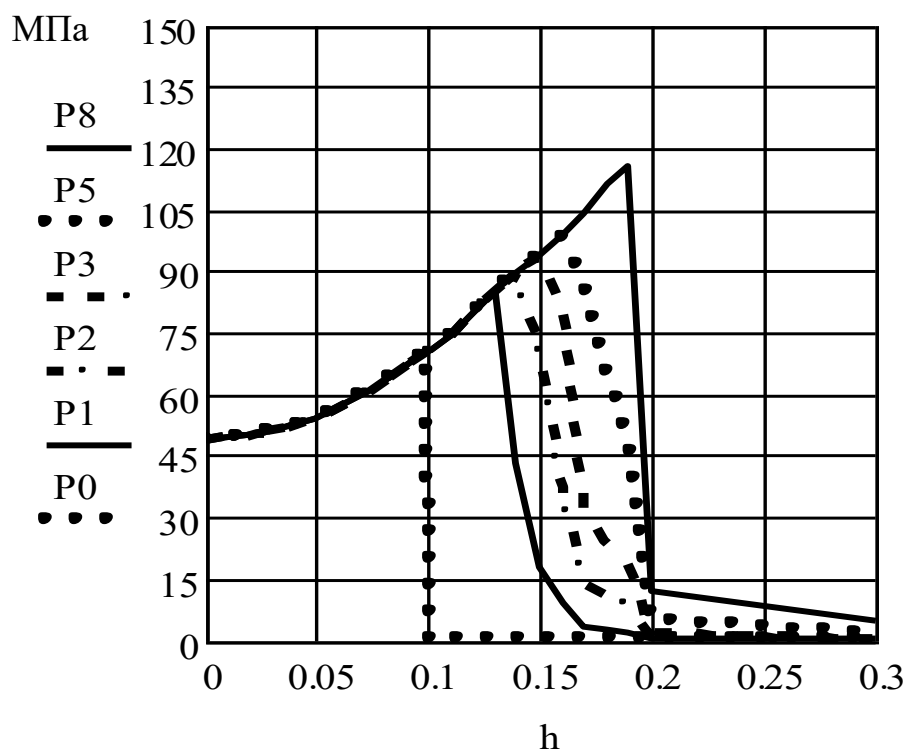
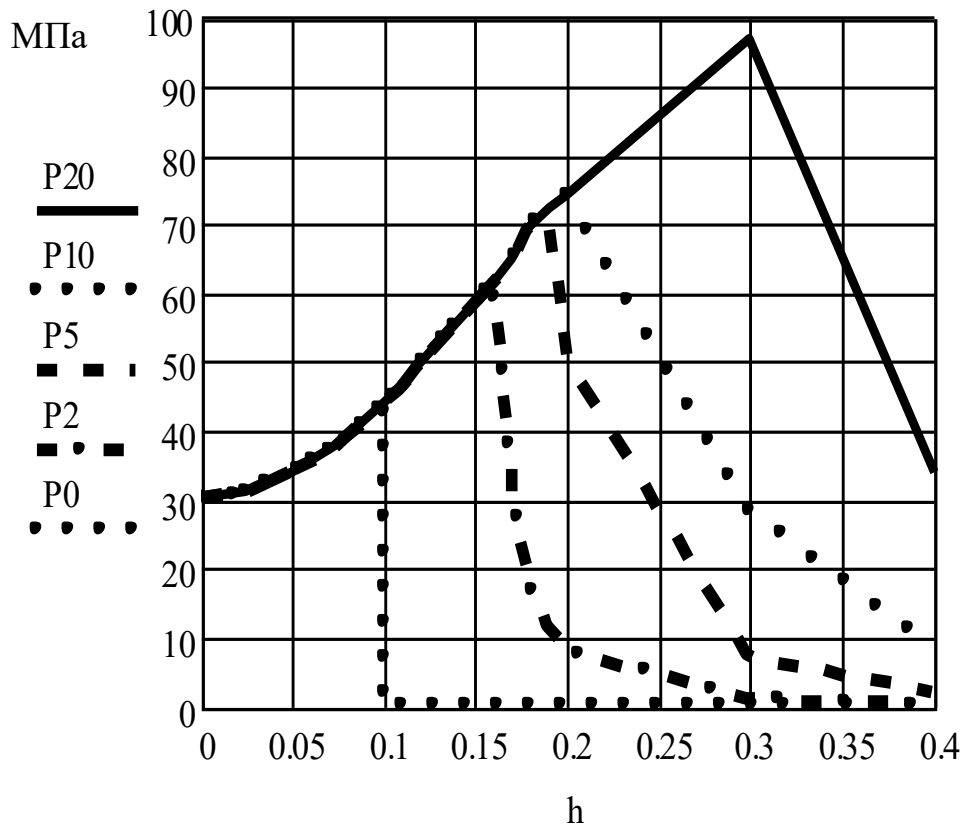


Рисунок 1.7 – Зависимость удельных давлений в затворе P , МПа, ШЗРУ МКТР DN 150 PN 250 от относительного хода шибера h и скорости несжимаемой рабочей среды (воды) в патрубке от P8 (8 м/с) с уменьшением через 1 м/с до P0 (нет расхода) при перепаде давления 16 МПа

На рисунке 1.7 видно, что значения максимальных удельных давлений и ходов, при которых эти давления достигаются, при перепаде давления 16 МПа отличаются от значений при перепаде 25 МПа (рисунок 1.5)

Фактор 4. Влияние сжимаемости рабочей среды на расчетные значения удельного давления q .

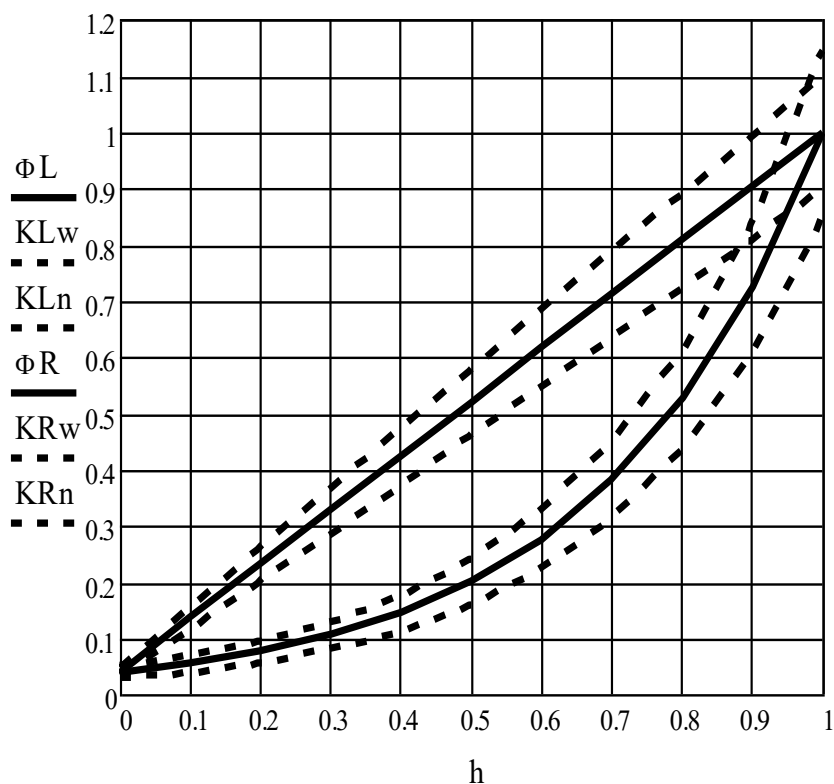
Удельное давление q зависит от сжимаемости рабочей среды, что характерно для газов. Расчет выполняется по аналогичной методике с добавлением коэффициента B в формуле (1.9). На рисунке 1.8 приведены результаты расчетов для метана. Результаты расчетов приведены к нормальным условиям: так, например, $20 \cdot 10^3 \text{ нм}^3/\text{ч}$ означает, что расход составляет $20 \cdot 10^3 \text{ нм}^3/\text{ч}$ метана при давлении 0,1 МПа и температуре 20 °С.



P_{20} – при расходе метана $200 \cdot 10^3 \text{ нм}^3/\text{ч}$;
 P_{10} – при расходе метана $100 \cdot 10^3 \text{ нм}^3/\text{ч}$;
 P_5 – при расходе метана $50 \cdot 10^3 \text{ нм}^3/\text{ч}$; P_2 – при расходе метана $20 \cdot 10^3 \text{ нм}^3/\text{ч}$;
 P_0 – отсутствие расхода

Рисунок 1.8 – Зависимость удельных давлений P , МПа, в затворе ШЗРУ МКТР DN 150 PN 250 от хода шибера h и расхода сжимаемой рабочей среды (метана) при перепаде давления 10 МПа

Фактор 5. Зависимость удельного давления q от пропускной характеристики задвижки (рисунок 1.9).



ΦL – линейная пропускная характеристика;
 KLw и KLn – верхнее и нижнее допустимые отклонения действительной пропускной способности от расчетной;
 ΦR – равнопроцентная пропускная характеристика;
 KRw и KRn – верхнее и нижнее допустимые отклонения действительной пропускной способности от расчетной
 Пропускная способность относительная Kv/Kv_y
 Рисунок 1.9 – Безразмерные линейная и равнопроцентная пропускные характеристики запорно-регулирующей арматуры

Характеристики построены в соответствии с [4]. На рисунке 1.9 видно, что при равнопроцентной характеристике при ходах до 0,5 расход увеличивается меньше, чем при линейной. Пропускная способность при равнопроцентной характеристике меньше, чем при линейной во всем диапазоне регулирования, поэтому с равнопроцентной характеристикой максимальный расход будет обеспечен при больших ходах шибера. В таблице 1.1 показаны значения удельных давлений, деленные на удельное давление при закрытом шибере (относительные безразмерные значения удельных давлений), в диапазоне скоростей в патрубке от 1 до 10 м/с (расход от 51 до 510 м³/ч) и перепада давлений при закрытом ШЗРУ от 10 до 105 МПа.

Таблица 1.1 – Зависимость относительных значений удельных давлений от перепада давления и расхода среды через ШЗРУ

Расход, м ³ /ч	51	102	153	204	255	306	357	510
Скорость жидкости, м/с	1	2	3	4	5	6	7	10
Давление среды, МПа								
10	1,895	2,089	2,089	2,206	2,343	2,463	2,540	–
16	1,788	1,895	1,979	2,089	2,206	2,343	2,463	–
20	1,788	1,895	1,979	2,089	2,089	2,312	2,343	2,540
25	1,802	1,979	1,979	2,089	2,206	2,206	2,343	2,463
35	1,788	1,788	1,895	1,979	2,089	2,089	2,204	2,463
45	1,795	1,788	1,895	1,979	1,979	2,089	2,089	2,343
70	1,678	1,788	1,895	1,895	1,979	1,979	2,089	2,206
105	1,678	1,788	1,788	1,895	1,895	1,979	1,979	2,089

При начале подачи площадь контакта седел и шибера в 1,451 раза меньше, чем в закрытом положении, поэтому удельные давления при начале подачи в 1,451 раза больше, чем в закрытом положении при всех перепадах давления. Из таблицы 1.1 видно, например, в рассматриваемом ШЗРУ МКTR DN 150 PN 250 при перепаде давления 25 МПа и скорости воды в патрубке 2 м/с максимальное удельное давление в 1,979 раза больше, чем в закрытом положении: $75,8 \times 1,979 = 150$ МПа, где 75,8 МПа – удельное давление в закрытом положении при перепаде давления $\Delta P = 25$ МПа. Данные таблицы 1.1 можно использовать для расчета удельных давлений в геометрически подобных затворах.

На основе расчетных исследований определены максимальные значения удельных давлений в ШЗРУ МКTR DN 150 PN 250 в зависимости от перепада давления, положения шибера и скорости жидкости в патрубке (расхода при известном сечении патрубка).

1.2.3 Рекомендации по расчету удельных давлений на уплотнительных полях затвора шиберных запорно-регулирующих устройств, задвижек шиберных и клиновых

Разработанная методика расчета удельных давлений в затворе шиберных запорно-регулирующих устройств может использоваться для расчета удельных давлений в задвижках шиберных и клиновых.

Из результатов исследований, представленных на рисунках 1.1–1.7 и в таблице 1.1 очевидно, что величина удельных давлений в затворе шиберных запорно-регулирующих устройствах зависит:

- от площади контакта уплотнительных полей седел и шибера, которая различна на разных стадиях открытия (закрытия) задвижки;
- от перепада давлений на ШЗРУ и задвижках;
- от расхода и плотности рабочей среды;
- от пропускной характеристики.

После расчета удельного давления в закрытом положении по известной методике [5] необходимо определить максимальное значение удельного давления. При течении несжимаемой рабочей среды через ШЗРУ максимальное значение удельного давления в процессе движения шибера с погрешностью не более 15 % можно определить по формуле:

$$P_r = 2,0 \cdot P_c, \quad (1.12)$$

где P_c – удельное давление, рассчитанное в закрытом положении по методике [6].

При течении сжимаемой рабочей среды (газа) максимальное значение удельного давления в процессе движения шибера с погрешностью не более 15 % можно определить по формуле:

$$P_r = 2,2 \cdot P_c, \quad (1.13)$$

где P_c – удельное давление, рассчитанное в закрытом положении по методике [6].

Более точные значения удельных давлений приведены в таблицах 6.2, 6.3 в работе [6], их также можно определить по формулам на рисунках 6.21–6.42 [6]. Во второй колонке таблицы 6.2 даны значения удельных давлений в закрытом положении в диапазоне перепада давлений от 10 до 105 МПа. В таблице 6.3 показано, во сколько раз удельные давления при рассматриваемых условиях больше, чем в закрытом положении.

Например, в шиберном запорно-регулирующем устройстве DN 150 PN 250 при перепаде давления 25 МПа в закрытом положении удельное давление на уплотнительных полях затвора – 75,5 МПа (таблицы 6.2 и 6.3). При ходе шибера $h_4=0,10$, когда еще нет расхода, но площадь контакта уплотнительных полей уже меньше, чем в закрытом состоянии, удельное давление на полях составляет 110 МПа, т. е. в 1,451 раза больше, чем в закрытом положении.

При максимальном расходе 51 м³/с (скорость в патрубке 1 м/с), который достигается уже при относительном ходе $h_7=0,13$, сохраняющийся пока еще значительным перепад давления при еще более уменьшившейся площади контакта уплотнительных полей создает удельное давление на полях 137 МПа, что в 1,788 раза больше, чем в закрытом положении.

При максимальном расходе 510 м³/с (скорость в патрубке 10 м/с), который достигается при ходе $h_{12}=0,18$, удельное давление на полях 187 МПа, что в 2,463 раза больше, чем в закрытом положении.

Для затворов, геометрически подобных затвору запорно-регулирующего устройства МКTR DN 150 PN 250, полученные результаты исследований применимы без изменений.

1.3 Способы снижения кавитации

До недавнего времени для регулирования рабочей среды использовались запорные клиновые задвижки, основное назначение которых заключается в запираании потока, а не в регулировании. Перед запира-

ющим элементом задвижки и после него возникает турбулизация потока, его завихрение, и это является причиной разрушения деталей затвора (рисунок 1.10).



1

2

1 – клин; 2 – седло

Рисунок 1.10 – Тыльная сторона клина и выходное седло клиновой задвижки после шести месяцев эксплуатации в режиме регулирования

Как показали исследования, основными причинами разрушения являются кавитационный износ и эрозионный износ от примесей, находящихся в РС. Износ происходит в начальный момент открытия затвора, когда между уплотнительным полем шибера и седлами образуется минимальный зазор [4, 7]. В образовавшемся зазоре между шибером и седлами увеличивается скорость РС и понижается давление до давления насыщенного пара, когда появляются пузырьки пара. После выхода из зазора давление повышается и происходит схлопывание пузырьков в зоне уплотнительных полей клина (или шибера), седла и в выходном патрубке задвижки. Более других подвержены износу зоны уплотнительных полей, расположенные в нижней части затвора задвижек, испытывающие на себе воздействие кавитации в самом начале процесса открытия, т. е. в процессе «тонкого регулирования» – процесс регулирования малых расходов РС при больших перепадах давления на ТПА.

С целью снижения кавитационного износа необходимо струи, движущиеся с большой скоростью, направить посредством конструктивных элементов затвора в толщу потока РС, где произойдет схлопывание кавитационных пузырьков при снижении скорости потока и повышении давления, а не у внутренних стенок затвора.

Во избежание опасности возникновения кавитации в ТПА и снижения ее разрушительного воздействия авторами предложен способ, заключающийся в том, что в затвор ТПА вводится конструктивный элемент, определяющий процесс тонкого регулирования и поле скоростей жидкости, в котором ее частицы, движущиеся после затвора с максимальной скоростью, направлены в толщу потока, патент на изобретение № 2819248 «Способ снижения кавитации в регулирующей трубопроводной арматуре» [8]. Реализация способа снижения кавитации позволила разработать и запатентовать двухфункциональную трубопроводную арматуру – шибберные запорно-регулирующие устройства (ТПА), представленные в следующем разделе.

Контрольные вопросы

- 1 Типы трубопроводной арматуры.
- 2 Перечислите основные способы определения пропускной способности трубопроводной арматуры, их преимущества и недостатки.
- 3 Удельное давление – это...
- 4 Почему удельное давление зависит от хода шиббера?
- 5 Почему удельное давление зависит от расхода РС?
- 6 Почему удельное давление зависит от перепада давления?
- 7 Почему удельное давление зависит от вида пропускной характеристики?
- 8 Рекомендация по расчету удельных давлений.
- 9 Кавитация – это...
- 10 Вред от кавитации.
- 11 Причины возникновения кавитации.
- 12 Почему нельзя запорную арматуру (например, клиновую задвижку) использовать для регулирования РС?
- 13 Способы снижения кавитационного и эрозионного износов.

2 СОЗДАНИЕ ДВУХФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ТПА, ШИБЕРНЫХ ЗАПОРНО-РЕГУЛИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ

Поток жидкости – это часть неразрывно движущейся жидкости, ограниченной деформируемыми или недеформируемыми стенками. В зависимости от того, какого рода поверхностями или их сочетаниями ограничена движущаяся жидкость, различают следующие виды потоков:

– безнапорные, когда поток ограничен твердой и свободной поверхностями, например, река, канал (искусственное русло для воды), незаполненная труба, в которой частицы жидкости соприкасаются с внутренней поверхностью не по всему периметру сечения, а только по части периметра;

– напорные, когда частицы жидкости соприкасаются с внутренней поверхностью трубопровода по всему периметру сечения.

Одним из основных параметров потока в арматуре является пропускная способность K_v ($\text{м}^3/\text{ч}$), величина, численно равная расходу рабочей среды с плотностью $1000 \text{ кг}/\text{м}^3$, протекающей через арматуру при перепаде давления $0,1 \text{ МПа}$ ($1 \text{ кгс}/\text{см}^2$). Не менее важный параметр регулирующей арматуры – пропускная характеристика: зависимость (обычно графическая) пропускной способности от хода регулирующего элемента арматуры.

Многие технологические процессы с участием жидкостей и газов требуют поддержания заранее заданных параметров, определяемых температурой, давлением, концентрацией компонентов.

В ходе исследовательской работы проведены ревизии более 70 клиновых задвижек DN100 и DN150 PN 25 МПа, эксплуатировавшихся на месторождениях Ханты-Мансийского автономного округа. В подавляющем большинстве у клина и седла запорных клиновых задвижек, эксплуатировавшихся в режиме регулирования на высоконапорных трубопроводах, питающих нагнетательные скважины (НС), при ревизии был выявлен значительный износ.

Такая эксплуатация противоречит требованию использовать запорную арматуру в качестве запирающих, а не регулирующих

устройств. Использование клиновых задвижек в режиме регулирования, т. е. не по назначению, приводит к полному разрушению не только уплотнительных полей клина и седла, но и основного материала деталей затвора (см. рисунок 1.10).

При исследованиях в научно-испытательной лаборатории ООО НПФ «МКТ-АСДМ» установлено, что причиной такого разрушения при использовании запорной клиновой задвижки в режиме регулирования (не по назначению) являются возникающие под клином и после клина турбулизация потока и его завихрения, как факторы кавитации и износа по этой причине.

Для регулирования подачи воды под пласт необходимы регулирующие устройства, выполняющие функции: полное перекрытие высоконапорного трубопровода; регулирование расхода нагнетаемой воды; обеспечение полнопроходности,

Для этих целей предложена двухфункциональная ТПА со свойством снижения кавитационного износа в затворе.

2.1 Шиберное запорно-регулирующее устройство со стабилизатором потока, патент на изобретение RU 2464470

Во избежание разрушительного воздействия кавитации необходимо в затвор ШЗРУ установить конструктивный элемент, определяющий процесс тонкого регулирования и поле скоростей жидкости, в котором ее частицы, движущиеся после затвора с максимальной скоростью, направлены в толщу потока. Для решения поставленной задачи в затвор установлен стабилизатор, занимающий пространство под шибером и закрывающий нижнюю часть уплотнительных полей седел от воздействия потока РС (рисунок 2.1).

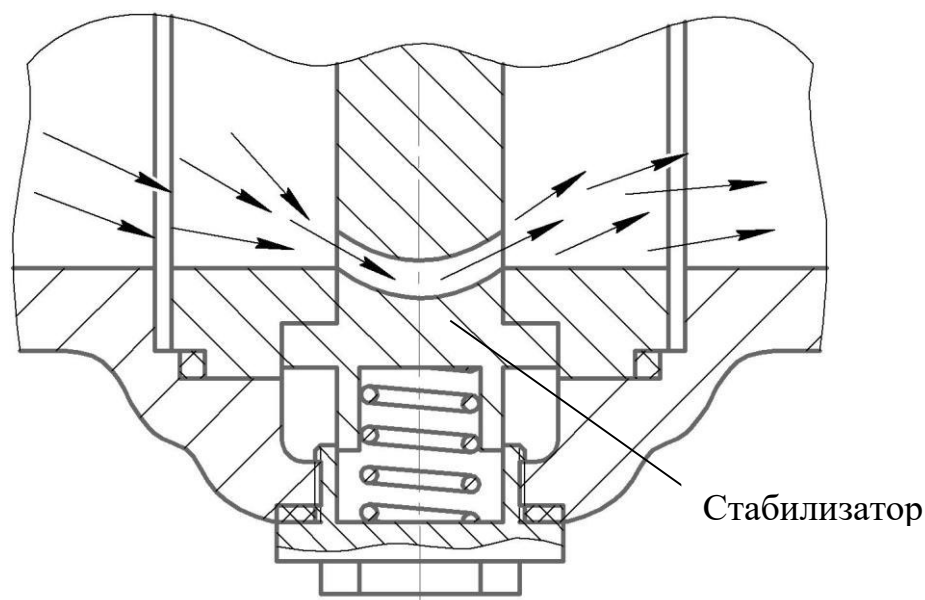
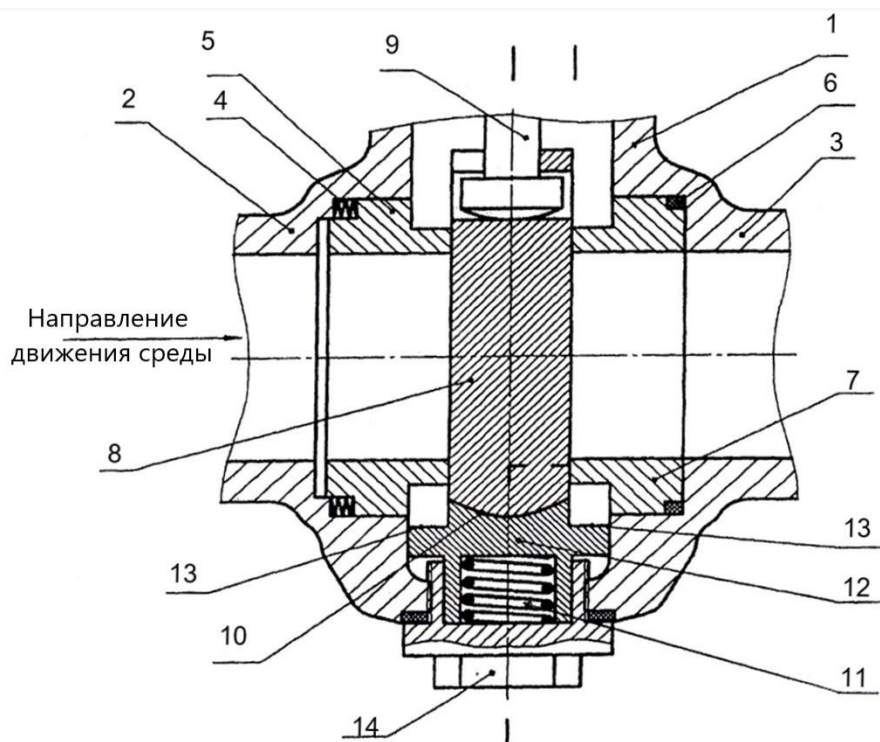


Рисунок 2.1 – Схема ШЗРУ со стабилизатором потока

На рисунке 2.1 стрелками показаны векторы скоростей частиц РС, проходящих через затвор ШЗРУ в период тонкого регулирования. Из рисунка 2.1 видно, что векторы скоростей частиц, выходящих из канала между шибером и стабилизатором и движущихся с максимальной скоростью, направлены к центру потока. При этом схлопывание пузырьков происходит не непосредственно за шибером, а на определенном удалении от него в зависимости от скорости РС, что уменьшает кавитационные разрушения выходного седла и обратной стороны шиберов. На основе схемы разработано и запатентовано ШЗРУ со стабилизатором потока (рисунок 2.2) [9].

Подпружиненные седла 5 и 7 постоянно на протяжении всего цикла «открыто–закрыто» взаимодействуют с шибером 8 и тем самым исключают вибрацию последнего при течении РС. Нижняя торцевая поверхность шиберов, взаимодействующая с ответной поверхностью стабилизатора 12, выполнена по радиусу, равному радиусу внутреннего проходного канала седла, что обеспечивает при открытии проходного канала закрытие зоны под шибером между седлами, чем исключается завихрение РС под шибером и за шибером. Стабилизатор поджат к торцевой поверхности шиберов пружиной 11. Поджатие обеспечивает совместное их перемещение вплоть до упора заплечиков 13 стабилизатора в седла 5 и 7.



1 – корпус задвижки; 2, 3 – подводящий и отводящий патрубки; 4 – пружины седла; 5, 7 – седла; 6 – уплотнение; 8 – шибер; 9 – шпindelь; 10 – поверхность пяты, сопрягаемая с рабочей поверхностью шибера (как вариант, поверхности профилированные); 11 – пружина стабилизатора; 12 – стабилизатор; 13 – заплечики стабилизатора; 14 – пробка (номера позиций деталей соответствуют описанию патента)

Рисунок 2.2 – Продольный разрез ШЗРУ со стабилизатором потока, патент RU 2464470 [7]

При этом стабилизатор занимает пространство под шибером и закрывает нижнюю часть уплотнительных полей седел от воздействия потока РС. Нижняя торцевая радиусная поверхность шибера и ответная поверхность стабилизатора снабжены рядом канавок (рисунок 2.3). Радиусные канавки на торцевых поверхностях как шибера, так и стабилизатора, выполняют роль разделителей потока в начальной стадии открытия, что обеспечивает проход через эти каналы РС.

При этом схлопывание пузырьков, возникающих в РС, происходит не непосредственно за шибером, а на определенном удалении от него в зависимости от скорости РС, что уменьшает кавитационные разрушения выходного седла и обратной стороны шибера. Это особенно важно в начальной стадии открытия. Продольные канавки выполняют функцию стабилизации (снижение турбулентности) потока РС.

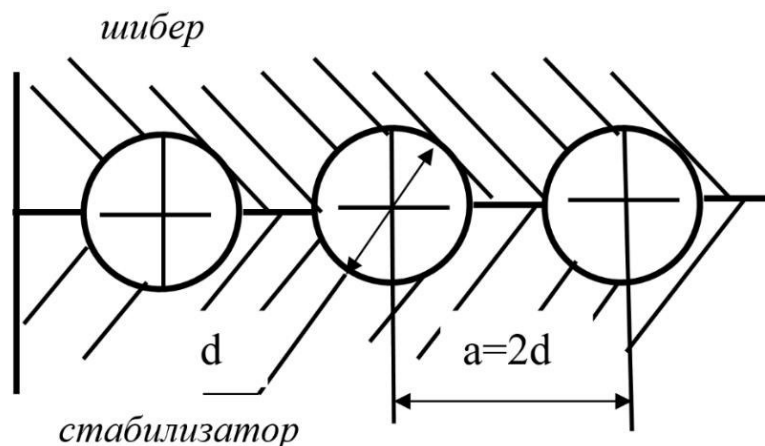
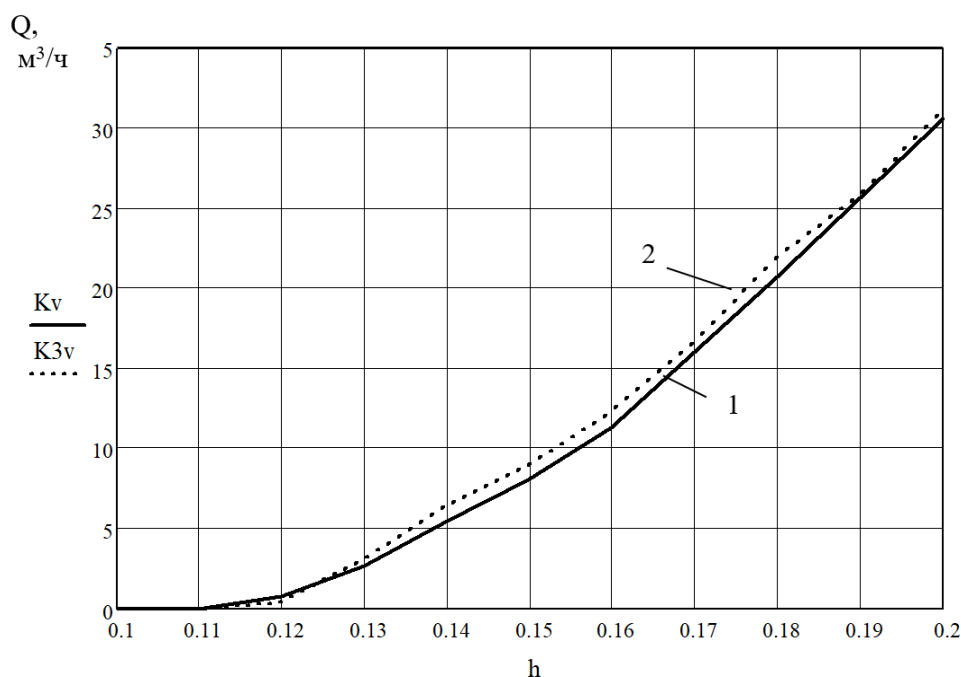


Рисунок 2.3 – Схема расположения канавок между шибером и стабилизатором

Уменьшение сечения (высоты) канавок приводит к уменьшению диапазона хода шибера тонкого регулирования расхода РС, что будет иметь значение при больших перепадах давления. При перепаде давления 100 кПа разница в расходе при диаметре канавок пять и три миллиметра незначительная (рисунок 2.4).



1 – диаметр канавок 5 мм; 2 – диаметр канавок 3 мм
 Рисунок 2.4 – Зависимость пропускной способности от хода шибера в диапазоне относительного хода шибера $h=0,1-0,2$ и диаметра канавок при перепаде давления 100 кПа

При уменьшении сечения канавок возрастает сопротивление по длине канавок и трудоемкость их изготовления, тонкие струи имеют меньшую суммарную кинетическую энергию и быстро рассеиваются. Шибер и стабилизатор показаны на рисунке 2.5.



Рисунок 2.5 – Шибер и стабилизатор

Рассмотренная конструкция обеспечивает, во-первых, защиту нижних участков уплотнительного поля седла задвижки за счет того, что выдвигаемый пружиной стабилизатор закрывает его от потока рабочей среды и, во-вторых, течение РС через совместные отверстия между стабилизатором и шибером обеспечивает перенос кавитационных пузырьков от узла затвора задвижки в зону выходного патрубка, что значительно снижает износ зоны уплотнения ШЗРУ.

Контрольные вопросы

- 1 Устройство и работа ШЗРУ со стабилизатором потока.
- 2 Назначение канавок на шибере и стабилизаторе.
- 3 Преимущества ШЗРУ со стабилизатором потока.
- 4 Недостатки ШЗРУ со стабилизатором потока.

2.2 Шиберное запорно-регулирующее устройство с защитой пружины стабилизатора от воздействия рабочей среды, патент на изобретение № 2506483

При эксплуатации ШЗРУ по патенту RU 2464470 выявлен недостаток: нахождение в РС пружины, взаимодействующей со стабилизатором, приводит к ее коррозии. Предложена схема ШЗРУ с защитой пружины от РС (рисунок 2.6).

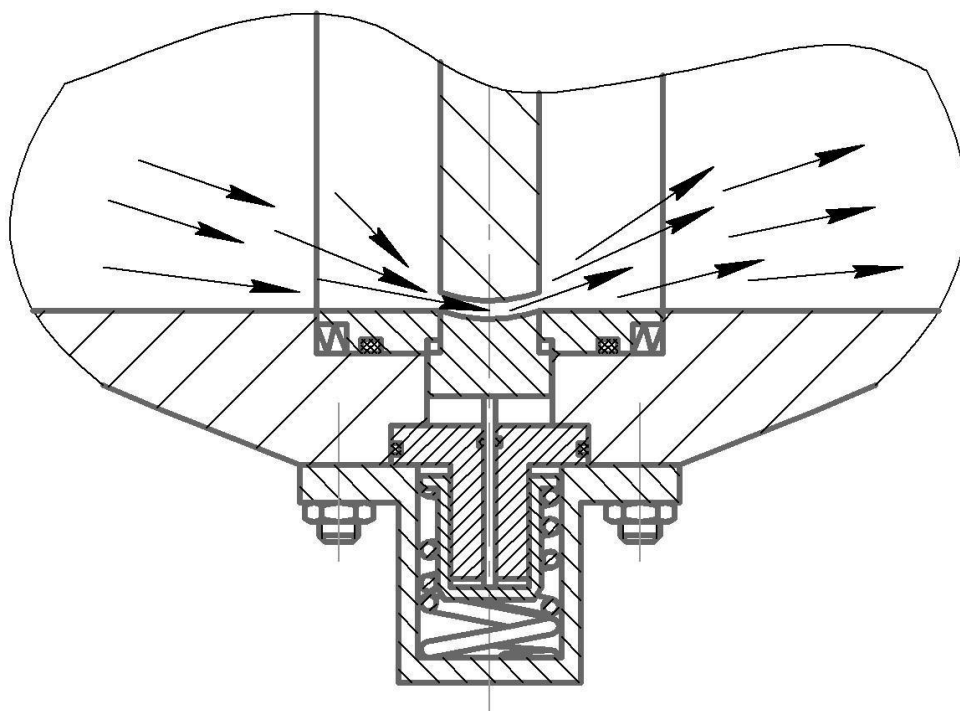
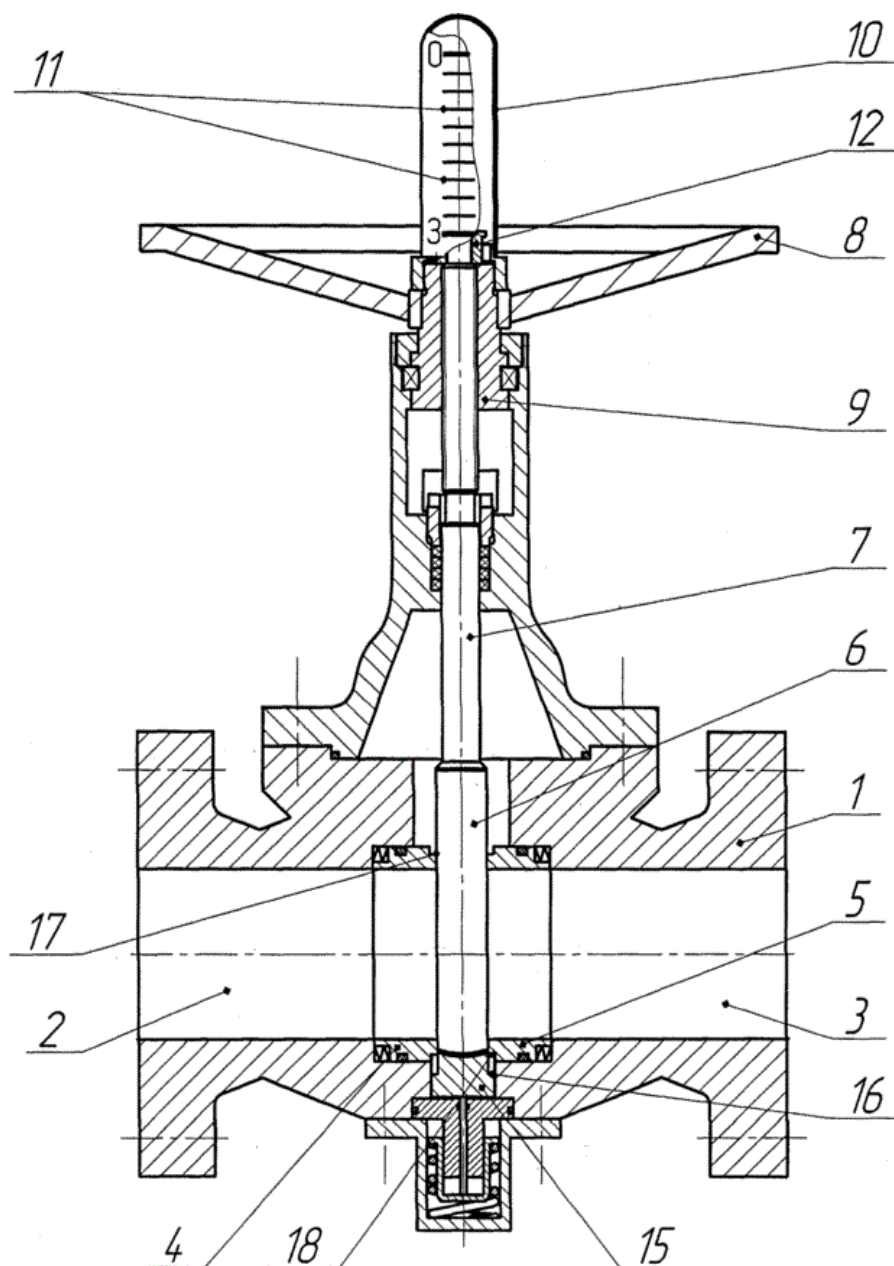


Рисунок 2.6 – Схема ШЗРУ со стабилизатором потока и защитой пружины от РС

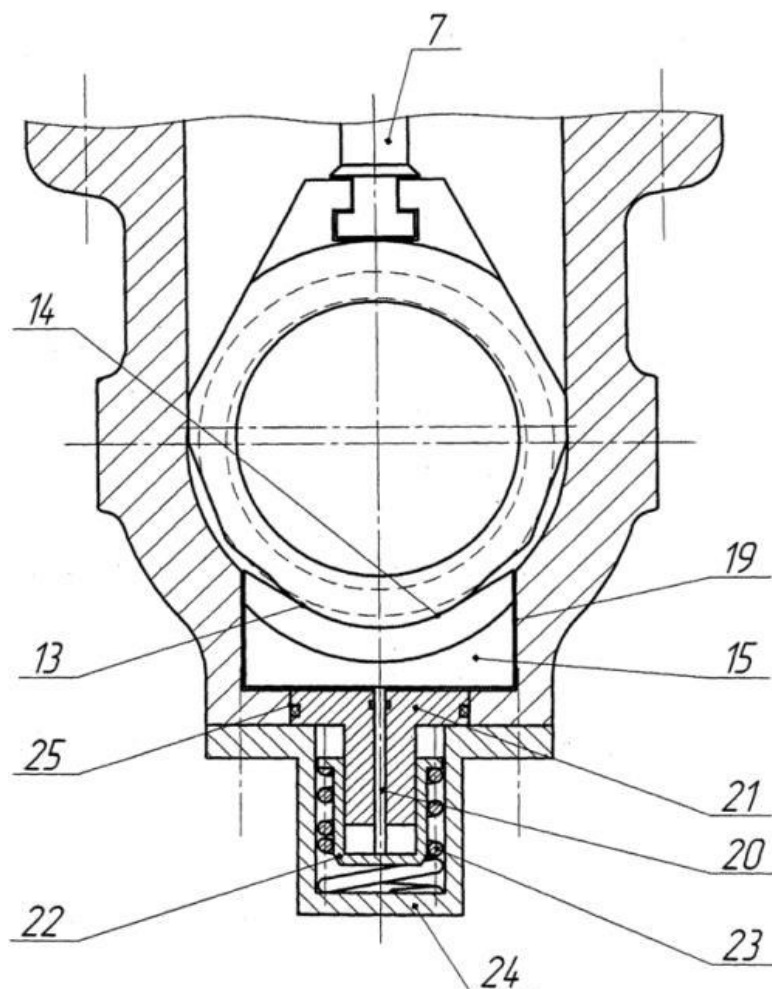
На основе схемы разработано и запатентовано ШЗРУ с защитой пружины от РС (рисунки 2.7 и 2.8) [10].



1 – корпус ШЗРУ; 2, 3 – подводящий и отводящий патрубки; 4, 5 – седла;
 6 – шибер; 7 – шпindel; 8 – маховик; 9 – ходовая втулка; 10 – кожух;
 11 – шкала; 12 – указатель; 15 – стабилизатор; 16 – заплечики;
 17, 18 – проточки седел

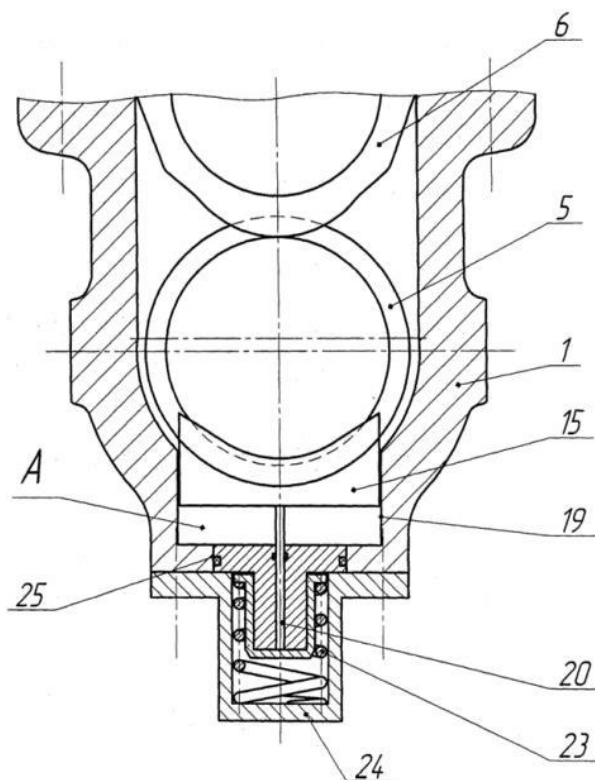
(номера позиций деталей соответствуют описанию патента)

Рисунок 2.7 – Продольный разрез ШЗРУ с защитой пружины от РС,
 патент на изобретение № 2506483 [8]



7 – шпindelь; 15 – стабилизатор
 (номера позиций деталей соответствуют описанию патента)
 Рисунок 2.8 – Затвор запорно-регулирующего устройства,
 положение «закрыто», патент на изобретение № 2506483

Рассмотрим работу механизма задвижки и взаимодействия его звеньев в режиме открытия (см. рисунки 2.7 и 2.8). Под управлением маховика через ходовую втулку шпindelь поднимает шибер 6. В начале движения под действием пружины 23 вслед за шибером поднимается стабилизатор 15 до соприкосновения заплечиков 16 с кольцевыми проточками 17 и 18 седел 4 и 5, соответственно. При этом профилированная верхняя часть стабилизатора 15 закрывает нижнюю часть уплотнительных полей седел 4 и 5, наиболее уязвимую для эрозийного износа при начальной стадии дросселирования. Степень открытия затвора отсчитывается по делениям 11 прозрачного кожуха 10. При полном открытии затвора указатель 12 показывает на шкале кожуха 10 маркировку «О»: открыто (рисунки 2.7 и 2.9).



1 – корпус ШЗРУ; 5 – седло; 6 – шибер; 15 – стабилизатор; 23 – пружина;
24 – крышка (номера позиций деталей соответствуют описанию патента)

Рисунок 2.9 – Затвор ШЗРУ, положение «открыто»,
патент на изобретение № 2506483

Благодаря тому, что в нижнем цилиндрическом окне установлена втулка, в которой коаксиально размещен толкатель, взаимодействующий через стакан с пружиной и опирающийся на нижнюю крышку, появилась возможность перенести пружину в зону, где исключено забивание межвиткового пространства частицами, находящимися в РС, и предотвращается коррозия от воздействия РС. В случае засорения зоны А между седлами она может быть очищена через нижнее цилиндрическое окно корпуса при снятой нижней крышке 24. Все это повышает работоспособность ШЗРУ.

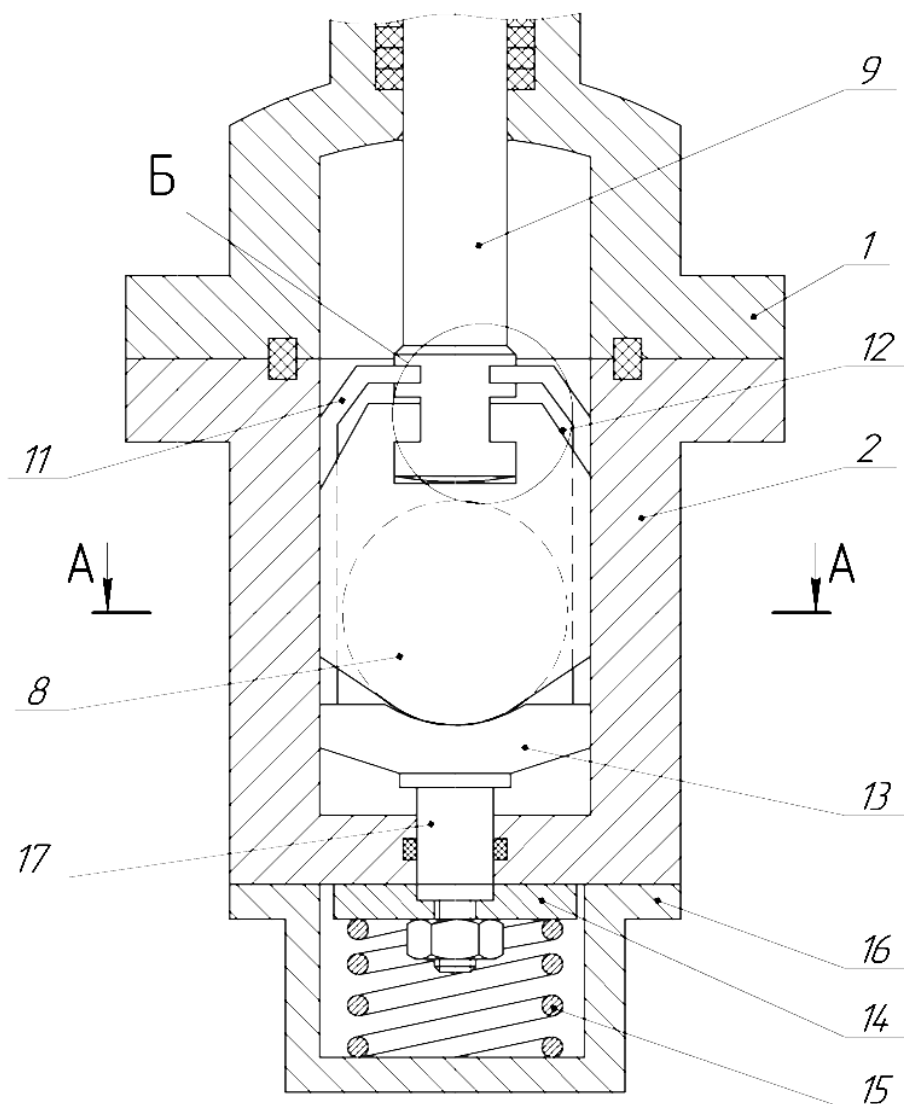
Контрольные вопросы

1 Устройство и работа ШЗРУ с защитой пружины стабилизатора потока от воздействия РС.

2 Для чего нужно знать положение шибера? Как определяется положение шибера?

2.3 Шиберное запорно-регулирующее устройство с упорами, соединенными со шпинделем, патент № 2502908

С целью надежной герметизации затвора разработано и запатентовано ШЗРУ с возможностью перемещения шибера вдоль оси корпуса (оси потока рабочей среды) (рисунки 2.10, 2.11 и 2.12) [11].



1 – крышка задвижки; 2 – корпус задвижки; 8 – шибер;
9 – шпиндель; 11 и 12 – упоры; 13 – стабилизатор; 14 – пластина;
15 – пружина; 16 – стакан; 17 – ось стабилизатора
(номера позиций деталей соответствуют описанию патента)

Рисунок 2.10 – Схема ШЗРУ, патент № 2502908 [11]

Работа ШЗРУ по функции «запирание» происходит следующим образом. Под действием шпинделя 9 шибер 8 с упорами 11 и 12 опускается вниз, при этом зазор «В» между шпинделем 9 и шибером 8 отсутствует, т. к. шибер 8 преодолевает силу трения, возникающую между седлами 6 и 7 и шибером 8. Но при этом упоры 11 и 12 опережают шибер 8 на величину зазора «В», который, как правило, меньше зазора «Г», и воздействуют на стабилизатор 13, сжимая пружину 15. При полностью закрытом затворе шпиндель 8 через упоры 11 и 12 гарантированно сохраняет зазор между стабилизатором 13 и шибером 8. Соединение шибера 8 со шпинделем 9 выполнено с зазорами, поэтому шибер 8 имеет возможность перемещаться в направлении вдоль потока и под действием перепада давления РС надежно герметизирует соединение уплотнительных полей седла 7 и шибера 8.

Работа ШЗРУ в режиме «регулирование». Под действием напора РС шибер 8 прижат к уплотнительному полю седла 7. При движении шпинделя 9 вверх сначала образуется зазор «В», при этом упоры 11 и 12 поднимаются вверх, как и стабилизатор 13 под действием пружины 15 до соприкосновения с шибером 8. При дальнейшем поднятии шибера стабилизатор 13 своими заплечиками контактирует с седлами и останавливает свое движение, а шибер 8 продолжает движение под действием шпинделя 9, образуя возрастающий зазор между стабилизатором и шибером. От величины образованного зазора и зависит расход.

Благодаря тому, что по бокам шибера выполнены продольные пазы, в которые помещены упоры, соединенные со шпинделем, последний, в свою очередь, соединен с гарантированными зазорами с шибером, обеспечивает опережающее действие упоров со стабилизатором при условии, что зазор Г больше зазора В, создавая свободу перемещения шибера по направлению вдоль потока и возможность надежной герметизации затвора под действием РС.

Контрольные вопросы

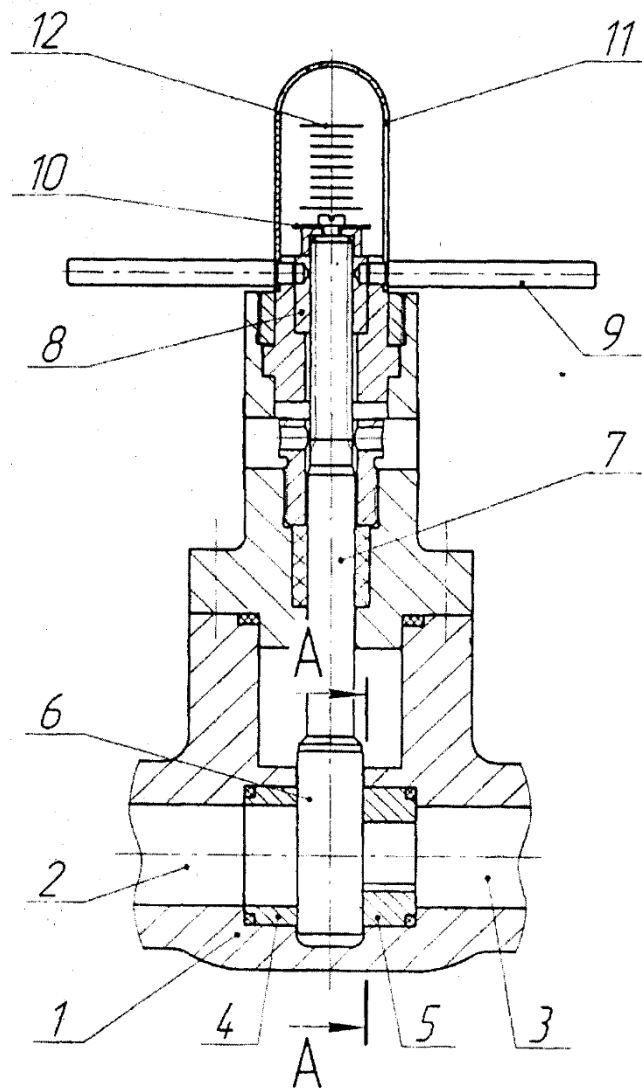
- 1 Устройство и работа ШЗРУ с упорами, соединенными с шпинделем.
- 2 Преимущество ШЗРУ с упорами, соединенными с шпинделем.

2.4 Шиберное запорно-регулирующее устройство с равнопроцентной пропускной характеристикой, патент на изобретение № 2618151

С целью получения требуемой пропускной характеристики разработаны и запатентованы ШЗРУ с профилированными сквозными каналами в седлах (рисунок 2.13) [12].

ШЗРУ состоит из корпуса 1, входного 2 и выходного 3 патрубков, в которых установлены соответственно седло 4 с круглым каналом и седло 5 с профилированным каналом. Между седлами 4 и 5 размещен шибер 6, управляемый через шпиндель 7 и ходовую гайку 8 ручным приводом 9. На верхнем торце шпинделя 7 установлен указатель 10 положения шибера. Привод закрыт прозрачным колпаком 11 с делениями 12, относительно которых производится считывание положения шибера, определяющего расход среды. В выходном седле 5 выполнен профилированный канал, обеспечивающий равнопроцентную пропускную характеристику.

Равнопроцентной является пропускная характеристика, при которой приращение относительной пропускной способности по ходу регулирующего элемента пропорционально текущему значению относительной пропускной способности. Это означает, например, если при относительном ходе 0,1 шибер приподняли на 1 мм и при этом расход увеличился в 1,03 раза, то и при ходе 0,5 подъем шибера на 1 мм тоже приведет к увеличению расхода в 1,03 раза. Достижение такой пропускной характеристики возможно при специально созданном профиле проходного сечения для РС.

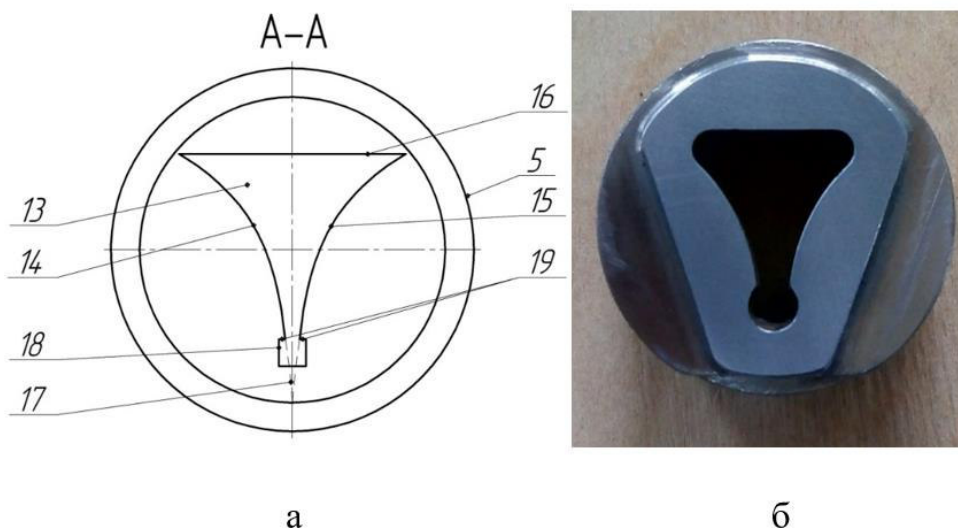


1 – корпус; 2 и 3 – входной и выходной патрубки; 4 – седло с круглым каналом; 5 – седло с профилированным каналом; 6 – шибер; 7 – шпindel; 8 – ходовая гайка; 9 – ручной привод; 10 – указатель положения шибера; 11 – прозрачный колпак; 12 – деления (номера позиций деталей соответствуют описанию патента)

Рисунок 2.13 – Продольный разрез ШЗРУ с равнопроцентной пропускной характеристикой, патент № 2618151 [12]

В седле 5 выполнен профилированный канал 13 (рисунок 2.14а – разрез по А-А на рисунке 2.13), образованный двумя криволинейными поверхностями 14 и 15, исходящими из одной линии. Поверхности в верхней части соединены горизонтальной плоскостью 16. Нижняя узкая часть 17 канала из-за малых величин расхода в регулировании не

используется и поэтому заменена выемкой 18 квадратного либо прямоугольного, либо круглого сечения, равной по площади с замещающей узкой частью 17 с замером по верхней поверхности 19. С целью увеличения условной пропускной способности канал во вставке смещен вниз (рисунок 2.14б), чем достигается увеличение площади канала при том же диаметре седла.



13 – профилированный канал; 14 и 15 – криволинейные поверхности;
 16 – горизонтальная плоскость; 17 – узкая часть профилированного канала;
 18 – выемка; 19 – верхняя плоскость выемки
 (номера позиций деталей соответствуют описанию патента)

Рисунок 2.14 – Канал в седле ШЗРУ с равнопроцентной пропускной характеристикой, патент № 2618151 [10]

Схема продольного разреза затвора в начале открытия ШЗРУ показана на рисунке 2.15.

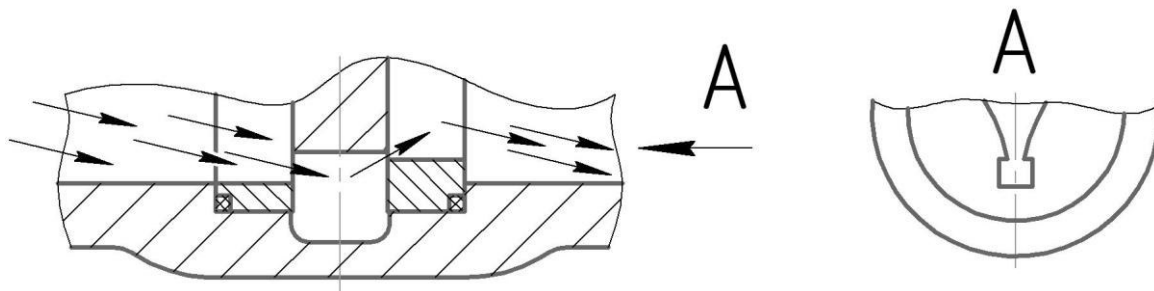


Рисунок 2.15 – Канал в седле в начале открытия ШЗРУ с равнопроцентной пропускной характеристикой

Контрольные вопросы

1 Устройство и работа ШЗРУ с равнопроцентной пропускной характеристикой.

2 Методика расчета канала в выходном седле для равнопроцентной пропускной характеристики.

3 В чем отличие конструкции от предыдущих и что этим достигнуто?

2.5 Шиберное запорно-регулирующее устройство с перфорированным шибером, патент на изобретение № 2357626

С целью уменьшения износа уплотнительного поля выходного седла при сохранении полнопроходности предложена схема ШЗРУ с перфорированным шибером (рисунок 2.16).

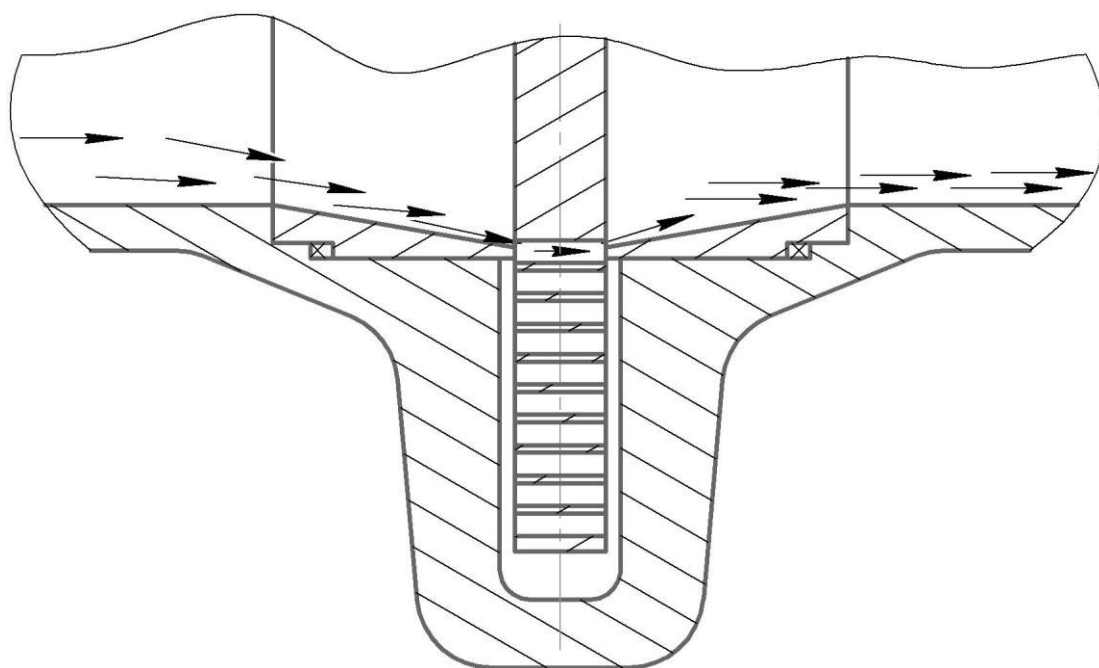
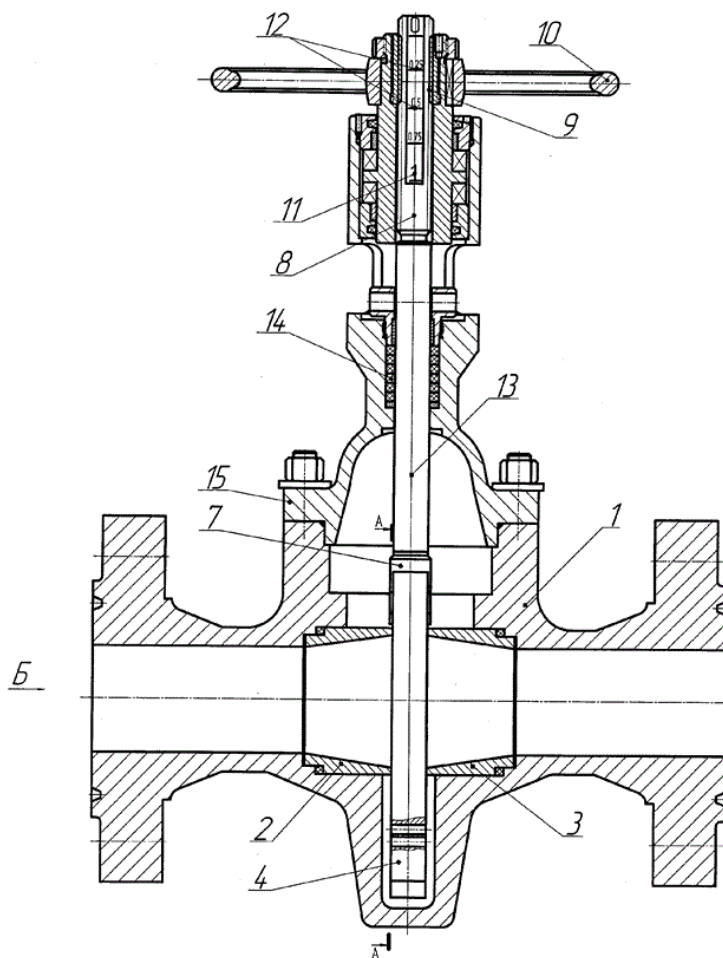


Рисунок 2.16 – Схема ШЗРУ с перфорированным шибером

Стрелками показаны векторы скоростей частиц РС, проходящих через отверстия в шибере в период тонкого регулирования. Из рисунка 2.16 видно, что векторы скоростей частиц, выходящих из отверстий в

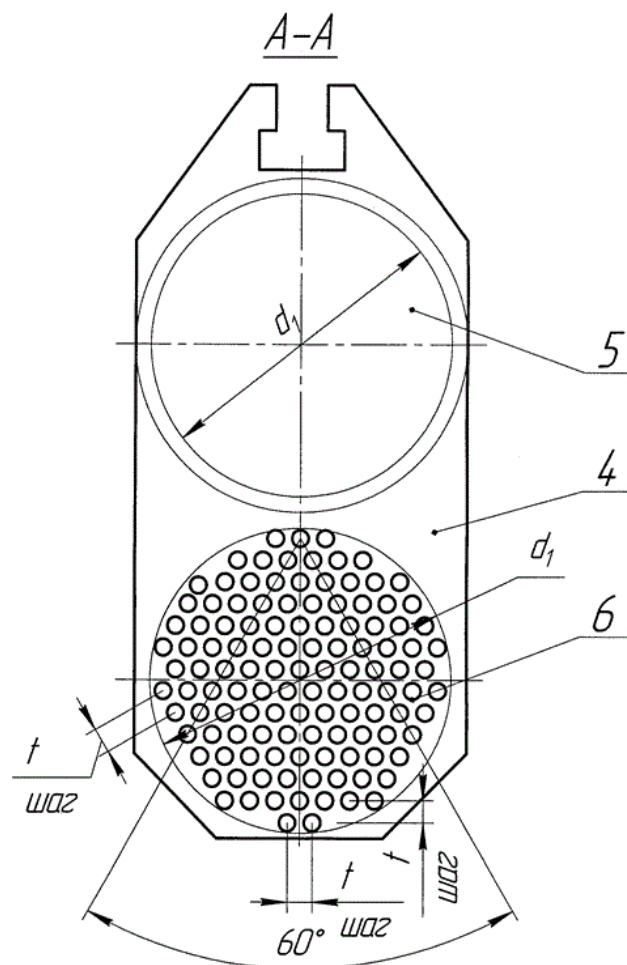
шибере, направлены вдоль стеки выходного патрубка. При этом схлопывание пузырьков происходит не непосредственно за шибером, а в выходном патрубке, что уменьшает кавитационные разрушения выходного седла и обратной стороны шибера. На основе схемы (рисунок 2.16) разработано и запатентовано ШЗРУ с перфорированным шибером (рисунок 2.17) [13].



1 – корпус; 2 и 3 – подводящее и отводящее седла; 4 – шибер; 5 – сплошная герметизирующая часть шибера; 6 – перфорированная регулирующая часть шибера; 7 – шпindel; 8 – резьбовая часть шпинделя; 9 – втулка; 10 – маховик; 11 – продольная лыска; 12 – шкала; 13 – цилиндрическая часть шпинделя; 14 – сальник; 15 – крышка (номера позиций деталей соответствуют описанию патента)

Рисунок 2.17 – Продольный разрез ШЗРУ с перфорированным шибером, патент № 2357626

Поставленная задача решается тем, что внутренний канал подводящего седла выполнен в форме диффузора, а внутренний канал отводящего седла в форме конфузора, при этом размеры диффузора и конфузора равны между собой и суммарная площадь отверстий в перфорированной части шибера равна площади меньшего сечения диффузора и конфузора, чем обеспечивается полнопроходность. На рисунке 2.17 изображен продольный разрез ШЗРУ; на рисунке 2.18 изображен фрагмент разреза по А-А на рисунке 2.17.



4 – шибер; 5 – сплошная герметизирующая часть шибера;
 6 – перфорированная регулирующая часть шибера
 (номера позиций деталей соответствуют описанию патента)
 Рисунок 2.18 – Фрагмент разреза по А-А на рисунке 2.17

ШЗРУ состоит из корпуса 1, подводящего седла 2 и отводящего седла 3, между которыми помещен шибер 4, содержащий две части: сплошную герметизирующую 5 и перфорированную регулирующую 6. Шибер управляется шпинделем 7, снабженным резьбовой частью 8, взаимодействующей со втулкой 9 с маховиком 10. На резьбовой части шпинделя выполнена продольная лыска 11, на которой нанесены деления 12 шкалы, показывающей положение шибера. Цилиндрическая часть 13 шпинделя загерметизирована сальником 14 крышки 15. Диаметр описанной окружности относительно перфорированных отверстий d равен внутреннему диаметру расширенной части седла 2 и 3.

Работа ШЗРУ.

При закрытой ШЗРУ сплошная часть 5 шибера взаимодействует с уплотнительным полем седла 3, и силой, создаваемой перепадом РС, герметизируется затвор. При этом на шкале 12 маркировка «0» (ноль). При открытой ШЗРУ шибер в верхнем положении и рабочая среда проходит через перфорированную часть шибера.

При выполнении ШЗРУ функции регулирования в проточной части корпуса находится перфорированная часть шибера. При совпадении диаметра d с внутренним диаметром расширенной части седла 3 на лыске 11 шпинделя маркировка «1» (единица), то есть затвор пропускает количество среды, равное полному проходу.

При опускании шибера перфорированная часть перекрывается седлами 2 и 3 и пропускает количество среды, соответствующее маркировкам, нанесенным на лыске 11 резьбовой части шпинделя, которое считывается относительно верхней плоскости втулки 9.

Контрольные вопросы

- 1 Устройство и работа ШЗРУ с перфорированным шибером.
- 2 Преимущества и недостатки длинного шибера.
- 3 Преимущества и недостатки перфорированного шибера.
- 4 Преимущества и недостатки применения седла в форме диффузора и конфузора.

2.6 Шиберное запорно-регулирующее устройство с перфорированными седлами, патент на изобретение № 2773821

С целью получения требуемой пропускной характеристики (линейной, равнопроцентной или специальной) с максимальной условной пропускной способностью и улучшения кавитационных характеристик предложена схема ШЗРУ с перфорированными седлами (рисунок 2.19).

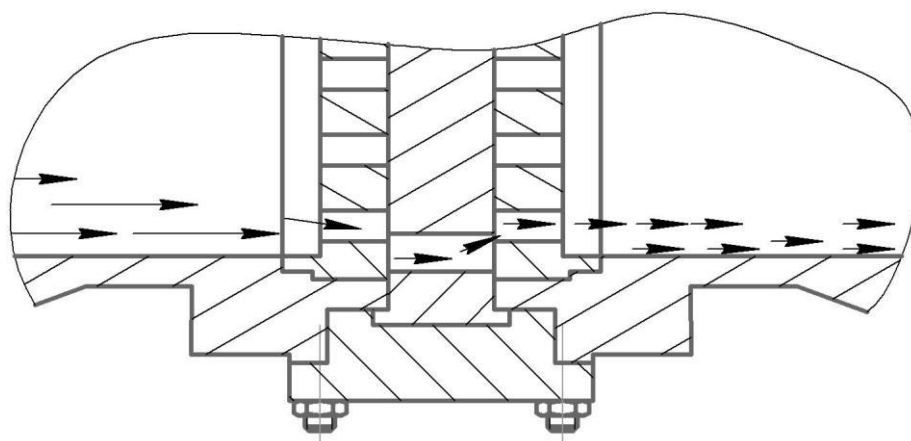
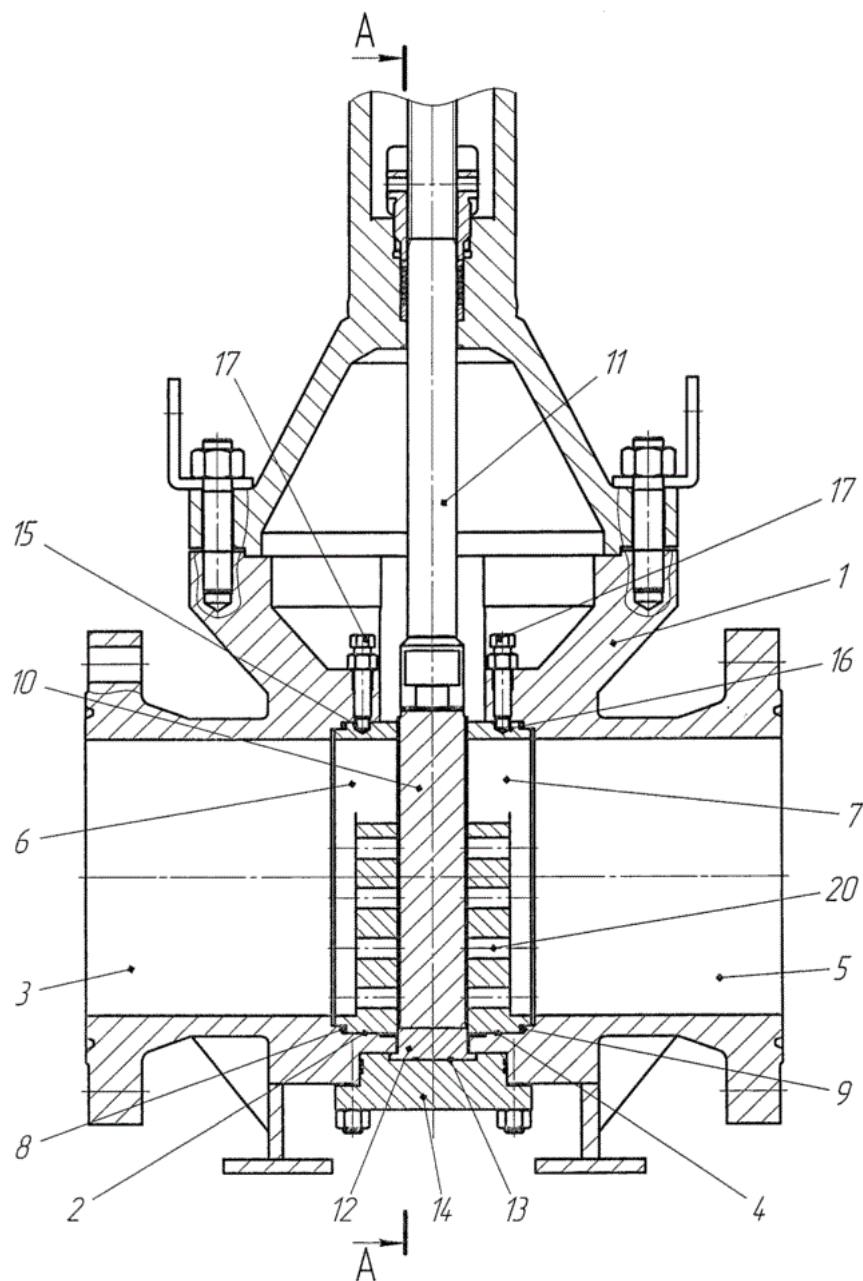


Рисунок 2.19 – Схема ШЗРУ с перфорированными седлами

На основе схемы (рисунок 2.19) разработано и запатентовано ШЗРУ с перфорированными седлами (рисунок 2.20) [14].

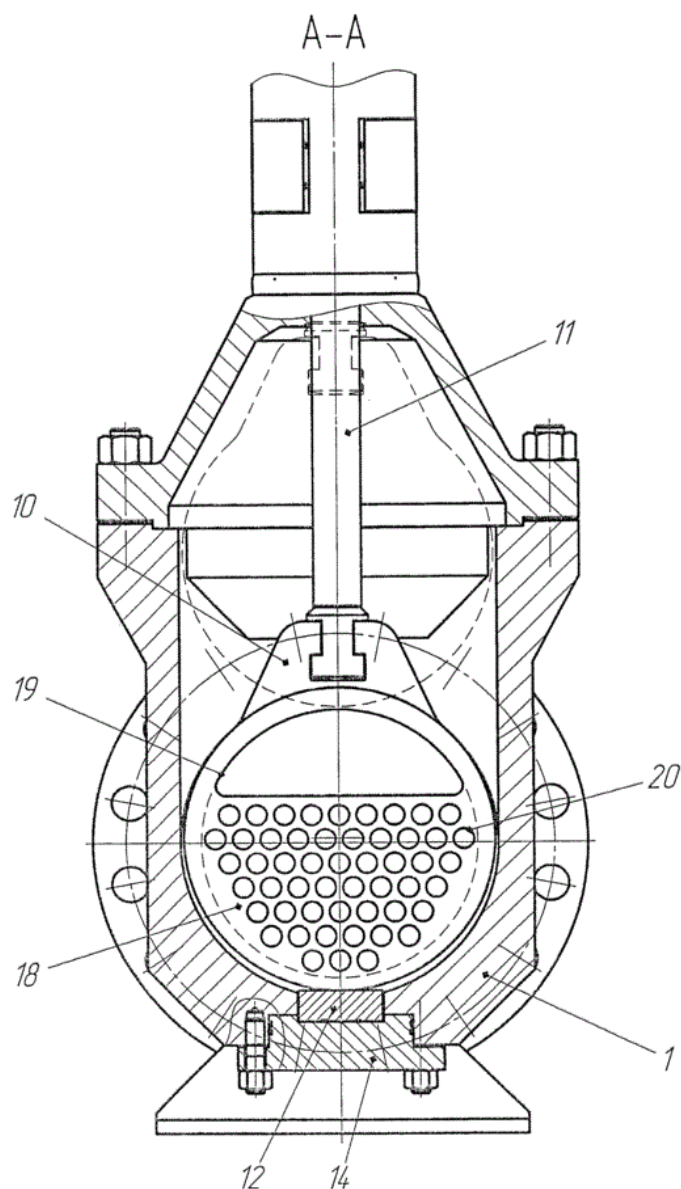
ШЗРУ содержит корпус 1, в расточке 2 подводящего патрубка 3 и в расточке 4 отводящего патрубка 5 установлены седла соответственно 6 и 7, опирающиеся на эластичные уплотнительные кольца 8 и 9. Между седлами 6 и 7 размещен плоский шибер 10, управляемый шпинделем 11 от привода (на рисунке не показан). При закрытии устройства шибер взаимодействует нижним торцом с контактирующей с седлами 6 и 7 распоркой 12, установленной в нише 13 нижней крышки 14 корпуса. В верхней части седел 6 и 7 имеются лунки 15 и 16 для фиксации болтами 17. Рабочая плоскость седел имеет две зоны: нижнюю перфорированную 18 и верхнюю сквозную 19, при этом диаметр отверстий 20 перфорации, их расположение и количество обеспечивают требуемую пропускную характеристику (рисунок 2.21).



1 – корпус; 2 – расточка в подводящем патрубке; 3 – подводящий патрубок;
 4 – расточка в отводящем патрубке; 5 – отводящий патрубок; 6 и 7 – седла;
 8 и 9 – эластичные уплотнительные кольца; 10 – шибер; 11 – шпindelь;
 12 – распорка; 13 – ниша; 14 – нижняя крышка; 15 и 16 – лунки;
 17 – болт; 20 – отверстия в седлах

(номера позиций деталей соответствуют описанию патента)

Рисунок 2.20 – Продольный разрез ШЗРУ с перфорированными седлами,
 патент № 2773821 [14]



1 – корпус; 10 – шибер; 11 – шпindelь; 12 – распорка; 14 – нижняя крышка; 18 и 19 – перфорированная и сквозная зоны седла; 20 – отверстия в седлах (номера позиций деталей соответствуют описанию патента)

Рисунок 2.21 – Разрез по А-А на рисунке 2.20

Седла и шибер показаны на рисунке 2.22.

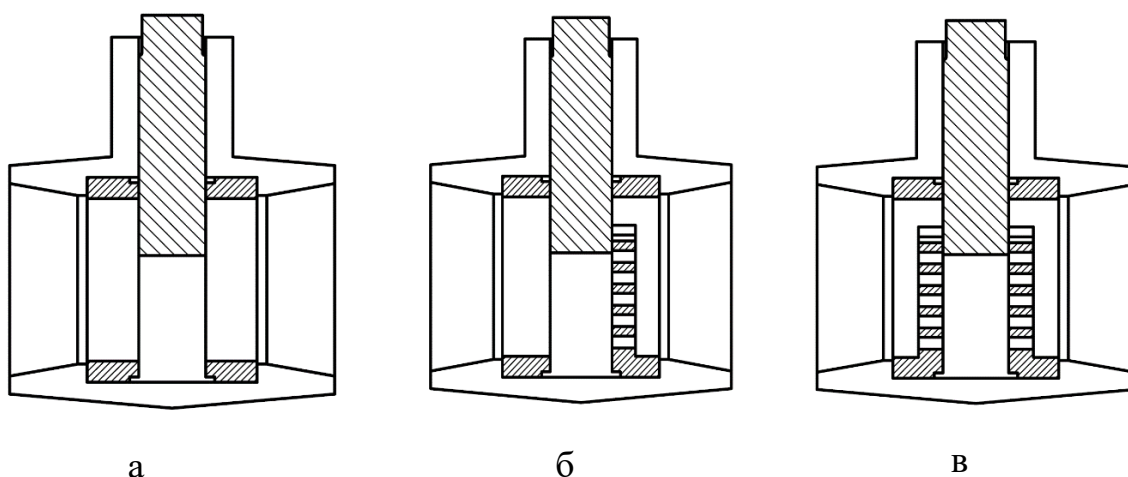
Работа ШЗРУ в режиме запираания. В положении «закрыто» шибер 10 (см. рисунок 2.21) опущен до упора в распорку 12. Давлением РС через патрубок 3 шибер плотно прижат к седлу 7. РС не поступает в патрубок 5.



Рисунок 2.22 – Шибер и седла с отверстиями
ШЗРУ MKTS DN150 PN250

В режиме регулирования. Посредством привода и шпинделя шибер поднимается на определенную расчетную величину, и РС через отверстия 20 перфорированной зоны поступает из патрубка 3 в патрубок 5. В зависимости от величины подъема шибера 10 меняется и объем РС, проходящей через устройство.

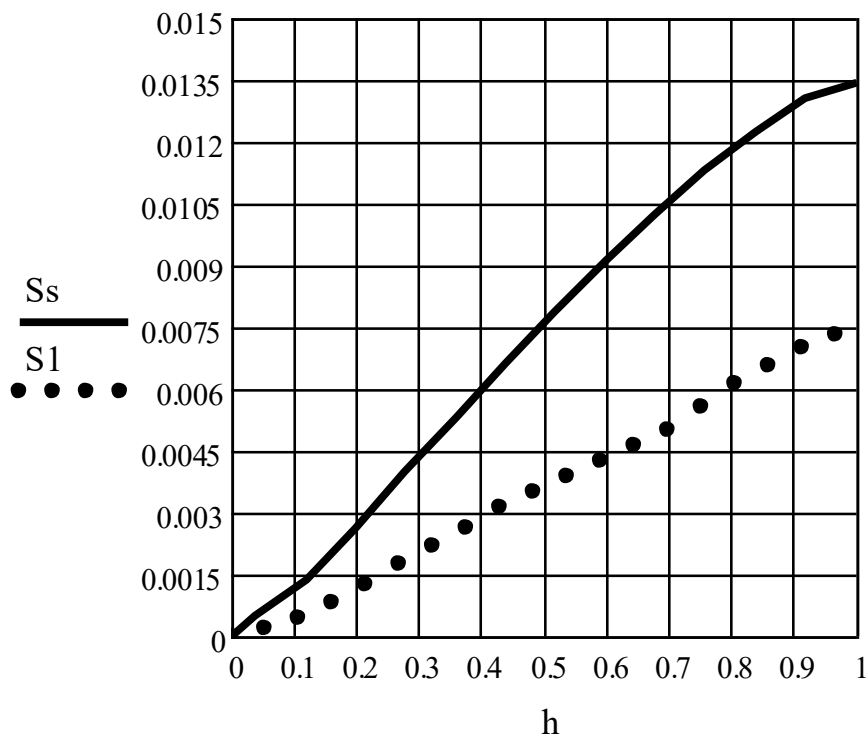
Производителем предусматривается три варианта сборки ШЗРУ, отличающихся комплектацией и компоновкой уплотнительных седел (рисунок 2.23).



а – с серийными седлами; б – смешанная; в – седла с отверстиями

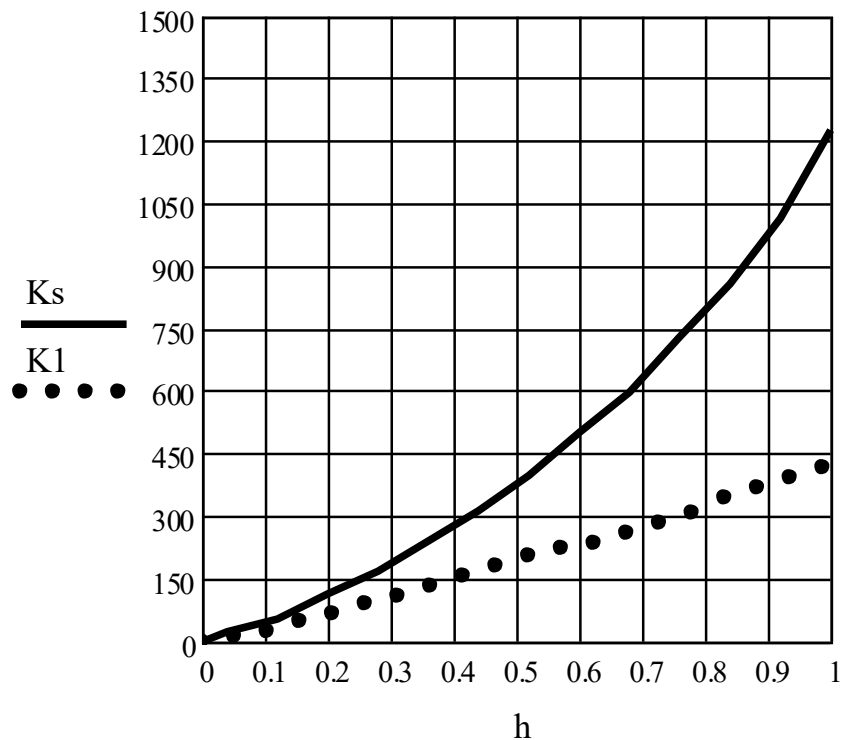
Рисунок 2.23 – Варианты исполнения ШЗРУ

В качестве седел ШЗРУ могут быть использованы: два серийных седла (рисунок 2.23а); одно серийное седло и одно седло с отверстиями (рисунок 2.23б); оба седла с отверстиями (рисунок 2.23в). Зависимости площади открытых каналов в седлах от хода шибера ШЗРУ с седлами по патенту RU 2464470 [31] и с перфорированным седлом по патенту RU 2773821 [31] показаны на рисунке 2.24.



S_s – ШЗРУ со стабилизатором потока (патент RU 2464470), м²;
 S_1 – перфорированное выходное седло (патент RU 2773821), м²
 Рисунок 2.24 – Зависимости площади открытых каналов в седлах от относительного хода шибера

Действительные пропускные характеристики ШЗРУ, определенные по ГОСТ 34437-2018 [4], показаны на рисунке 2.25.



K_s – ШЗРУ со стабилизатором потока (патент RU 2464470), м³/ч;

K_1 – ШЗРУ с перфорированным седлом (патент RU 2773821), м³/ч

Рисунок 2.25 – Действительные пропускные характеристики ШЗРУ

Контрольные вопросы

- 1 Устройство и работа ШЗРУ с перфорированными седлами.
- 2 Преимущества и недостатки применения перфорированных седел.
- 3 За счет чего можно получить требуемую пропускную характеристику?

2.7 Шиберное запорно-регулирующее устройство с пакетом пластин с наклонными каналами в выходном патрубке, патент на изобретение № 2464469

С целью увеличения коэффициента сопротивления ШЗРУ при многоступенчатом дросселировании и обеспечения минимального износа дроссельных пластин предложена схема ШЗРУ с наклонными каналами в пластинах, установленных в выходном патрубке (рисунок 2.26).

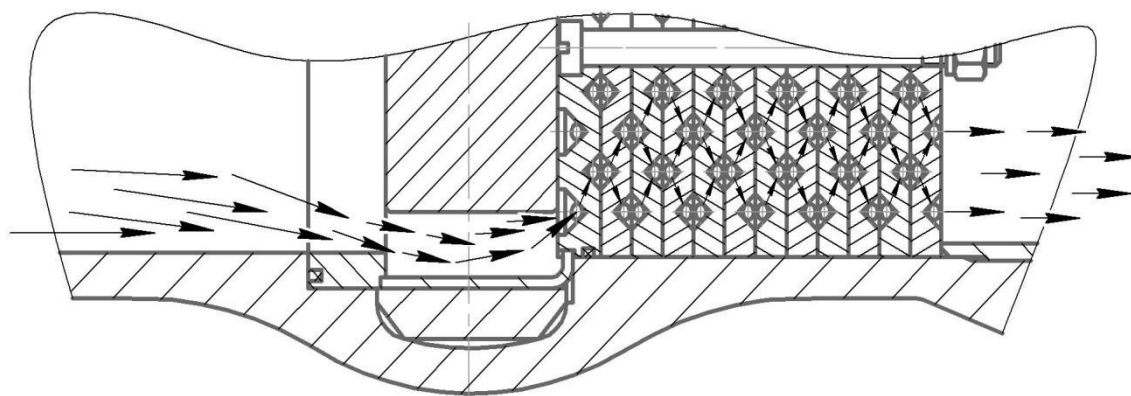
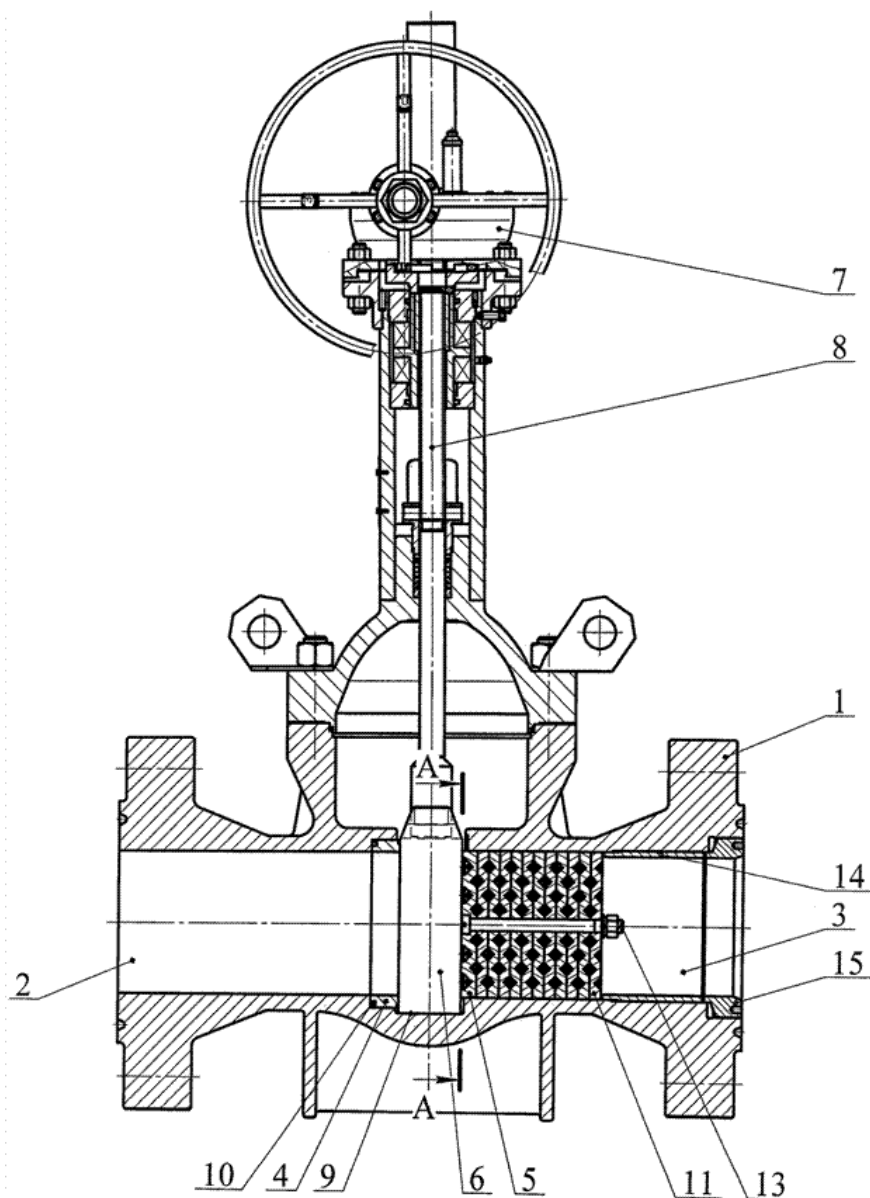


Рисунок 2.26 – Схема ШЗРУ с дроссельными пластинами с наклонными каналами в выходном патрубке

На основе схемы разработано и запатентовано ШЗРУ с наклонными каналами в пластинах, установленных в выходном патрубке (рисунки 2.27–2.29) [15].



1 – корпус; 2, 3 – подводящий и отводящий патрубки;
 4 – седло в подводящем патрубке; 5 – седло в отводящем патрубке;
 6 – шибер; 7 – привод; 8 – шпindelь; 9 – плоское основание шибера;
 10 – упругий элемент; 11 – дроссельные пластины со сквозными наклонными
 каналами 12; 13 – стяжной болт; 14 – гильза; 15 – гайка
 (номера позиций деталей соответствуют описанию патента)

Рисунок 2.27 – Продольный разрез ШЗРУ с пакетом дроссельных пластин
 в выходном патрубке, патент № 2464469 [15]

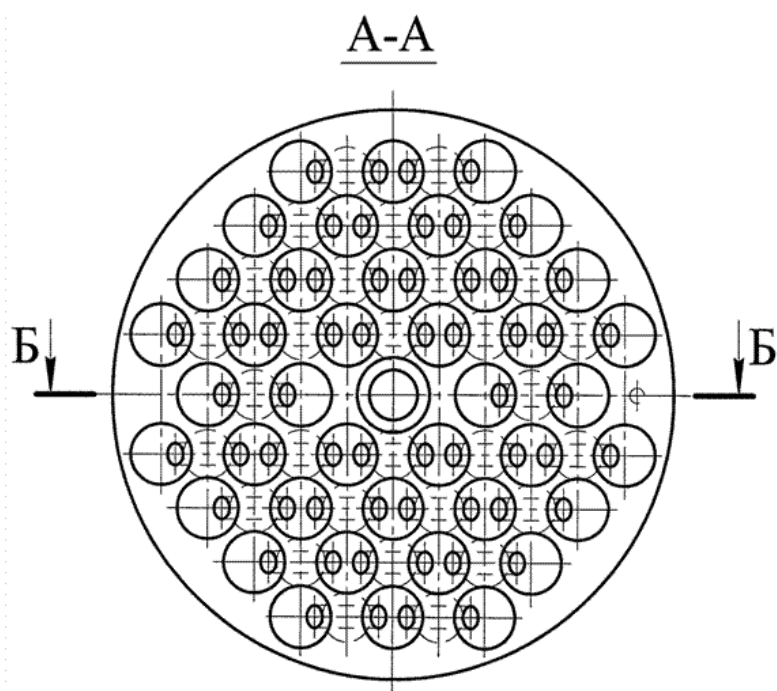
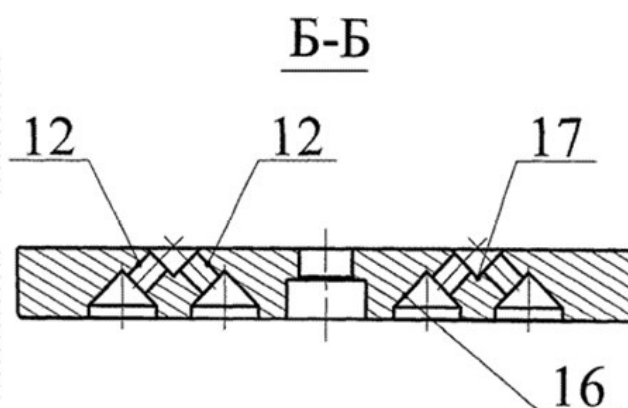


Рисунок 2.28 – Вид на дроссельные пластины со сквозными наклонными каналами (сечение А–А на рисунке 2.27)



12 – сквозные наклонные каналы; 16, 17 – выборки
(номера позиций деталей соответствуют описанию патента)
Рисунок 2.29 – Форма отверстий дроссельной пластины ШЗРУ
(разрез Б–Б, рисунок 2.28)

В функции запорной арматуры устройство работает следующим образом. РС по патрубку 2 поступает в корпус 1 при открытом затворе, когда шибер 6 поднят. РС проходит через дроссельные пластины 11 и

поступает в выходной патрубок 7. Для закрытия ШЗРУ шибер опускается приводом до соприкосновения с дном корпуса, при этом под действием РС шибер прижимается к седлу 5. Затвор закрыт.

Работа ШЗРУ в функции регулирования. РС по патрубку 2 поступает в корпус 1. При подъеме шибера 6 поступает в каналы 12 пластины 11. Так как пластины 11 каждая последующая установлены к предыдущей зеркально, то каналы 12 образуют попеременно сходящиеся и расходящиеся каналы, расположенные по рядам параллельно плоскому основанию 9 шибера. Проходя по каналам, РС испытывает резкие повороты и соударения, что создает большой коэффициент сопротивления. Необходимые коэффициент сопротивления, расход и перепад давления создаются количеством открытых пересекающихся каналов, их диаметром и длиной.

Значения коэффициентов сопротивления, приведенных к скорости в отверстиях, для восьми пластин [26]:

$\zeta_1 = 0,85$ – внезапное сужение потока при входе в пластину;

$\zeta_2 = 0,80$ – вход под углом в отверстие;

$\zeta_3 = 0,50$ – сужение на повороте, смешение двух потоков;

$\zeta_4 = 1,40$ – поворот потока в отверстие, разделение потока;

$\zeta_{5,7,9,11,13,15} = 0,50$ – сужение на повороте, смешение двух потоков;

$\zeta_{6,8,10,12,14,16} = 1,40$ – поворот потока в отверстие, разделение потока;

$\zeta_{17} = 0,30$ – поворот потока при выходе;

$\zeta_{18} = 0,63$ – внезапное расширение в трубопровод.

Коэффициент сопротивления восьми пластин $\varepsilon_c=15,88$.

Контрольные вопросы

1 Устройство и работа ШЗРУ с пакетом пластин с наклонными каналами в выходном патрубке.

2 Что такое дроссельная пластина?

3 Преимущества и недостатки применения наклонных каналов в пластинах.

4 От чего зависит выбор количества дроссельных пластин?

2.8 Шиберное запорно-регулирующее устройство с пакетами пластин с наклонными каналами во входном и выходном патрубках, патент на изобретение № 2696658

С целью получения максимального коэффициента сопротивления ШЗРУ при многоступенчатом дросселировании без увеличения его длины и обеспечения минимального износа дроссельных пластин предложена схема ШЗРУ с наклонными каналами в пластинах, установленных во входном и выходном патрубках (рисунок 2.30).

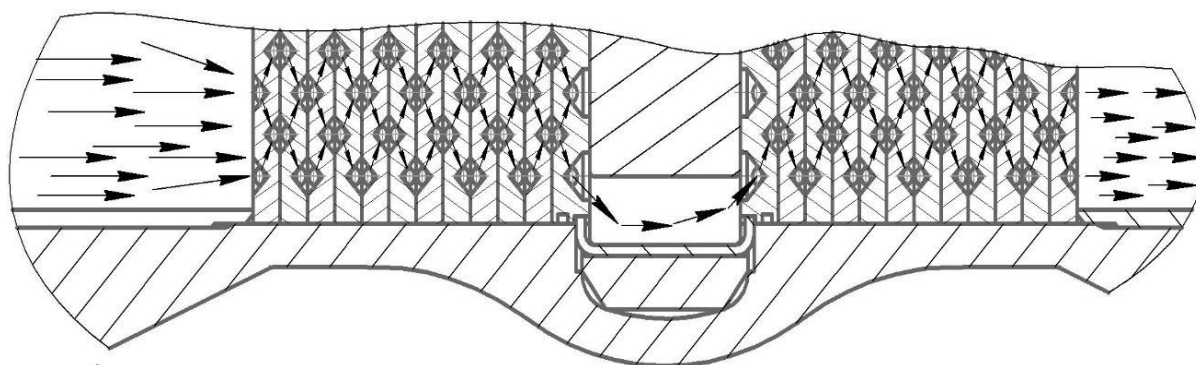
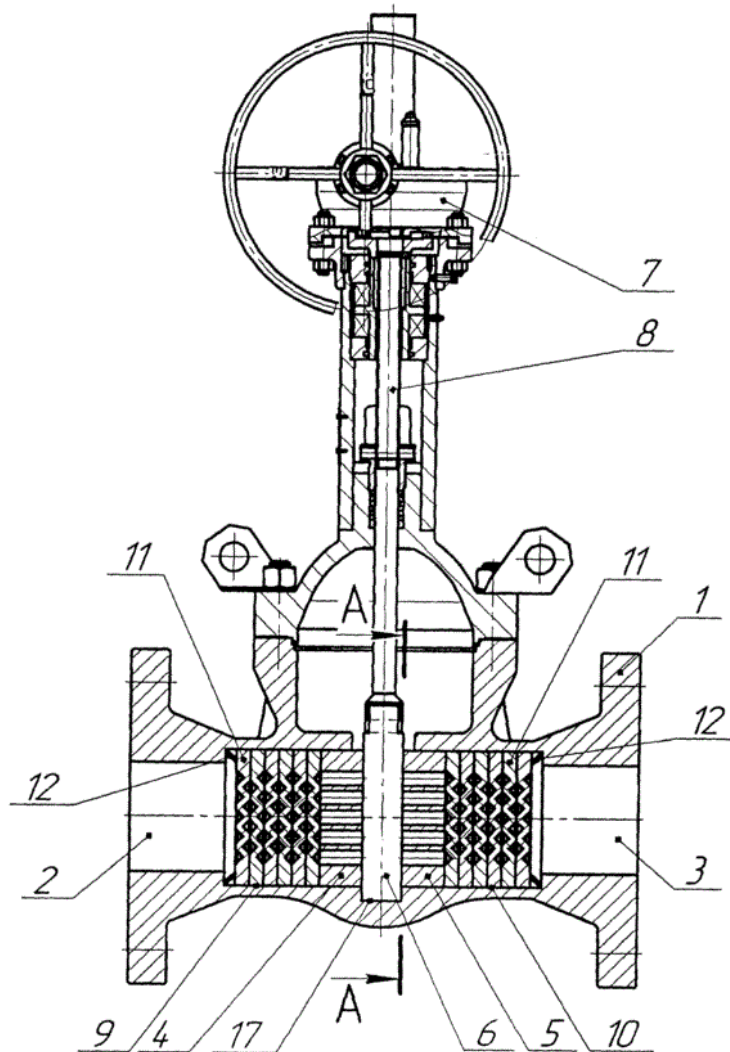


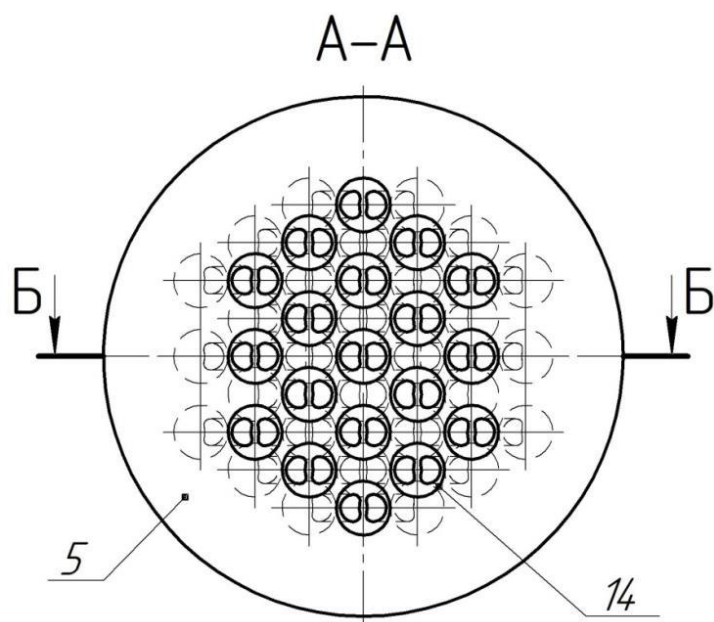
Рисунок 2.30 – Схема ШЗРУ с дроссельными пластинами с наклонными каналами во входном и выходном патрубках

На основе схемы разработано и запатентовано ШЗРУ с наклонными каналами в пластинах, установленных во входном и выходном патрубках (рисунки 2.31–2.33) [16].



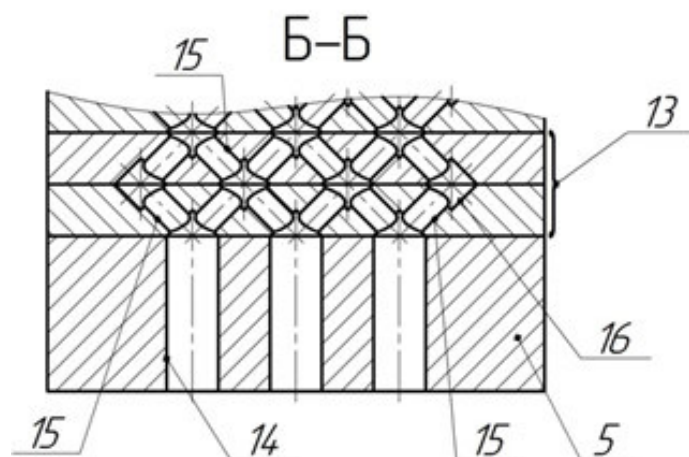
1 – корпус; 2 и 3 – входной и выходной патрубки; 4 – седло в подводящем патрубке; 5 – седло в отводящем патрубке; 6 – шибер; 7 – привод; 8 – шпindel; 9 и 10 – выемки; 11 – пакеты дроссельных пластин со сквозными наклонными каналами; 12 – пружины; 17 – основание шибера (номера позиций деталей соответствуют описанию патента)

Рисунок 2.31 – Продольный разрез ШЗРУ с пакетами дроссельных пластин во входном и выходном патрубках, патент № 2696658 [16]



5 – седло; 14 – отверстия с осями, перпендикулярными пластине (номера позиций деталей соответствуют описанию патента)

Рисунок 2.32 – Вид на пакет дроссельных пластин ШЗРУ (сечение А–А на рисунке 2.30)



5 – седло в отводящем патрубке; 14, 15 и 16 – каналы в пластине (номера позиций деталей соответствуют описанию патента)

Рисунок 2.33 – Форма отверстий в дроссельных пластинах (сечение Б–Б на рисунке 2.32)

Работа ШЗРУ при закрытии. РС при поднятом шибере 6 по входному патрубку 2 через каналы 15 и 16 дроссельных пластин 11 и седло 4 поступает во внутреннюю полость под шибера. Через отверстия вы-

ходного седла 5 и наклонные каналы дроссельных пластин 11 в выходной патрубке. При закрытии ШЗРУ шибер опускается до соприкосновения основания 17 шибера с дном корпуса. Затвор закрыт.

Работа ШЗРУ в режиме регулирования. Перемещением шибера меняется количество открытых каналов в пластине. При входе в узел соединения наклонных каналов потоки перемешиваются. При выходе из узла РС разделяется на два потока, каждый из которых попадает в выемки, а затем снова в наклонные каналы пластины, зеркально установленной к предыдущей пластине. Величина падения давления определяется количеством открытых каналов и количеством дроссельных пластин в пакете.

Благодаря тому, что пакеты дроссельных пластин вместе с перфорированными седлами установлены симметрично относительно шибера, подача РС может осуществляться в любой патрубок. Снижение давления в пакете дроссельных пластин, установленных во входном патрубке, позволяет уменьшить давление на шибер при подаче среды, значит, уменьшить момент на приводе, необходимый для управления шибером.

На рисунке 2.34 изображена фотография дроссельной пластины со стороны лунок для сверления двух противоположных отверстий.



Рисунок 2.34 – Фотография пластины с наклонными каналами

Контрольные вопросы

1 Устройство и работа ШЗРУ с пакетом пластин с наклонными каналами во входном и выходном патрубках.

2 Преимущества и недостатки применения пакетов пластин во входном и выходном патрубках.

2.9 Шиберное запорно-регулирующее устройство с внутренним байпасом, патент на изобретение № 2586958

С целью обеспечения полнопроходности на просвет, получения требуемой пропускной характеристики (линейной, равнопроцентной или специальной) с максимальной условной пропускной способностью, улучшения кавитационных характеристик и уменьшения сил на шпинделе предложена схема ШЗРУ с внутренним байпасом (рисунок 2.35).

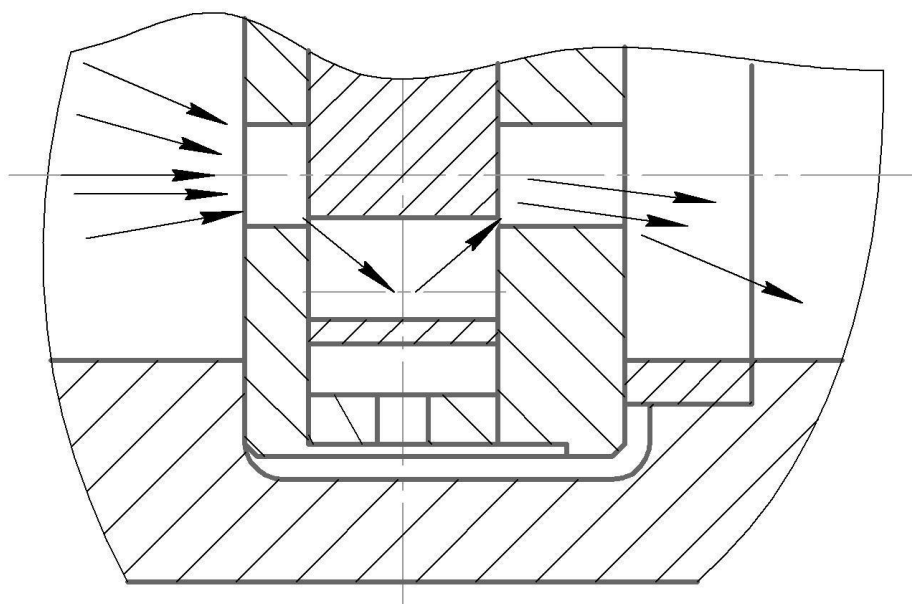
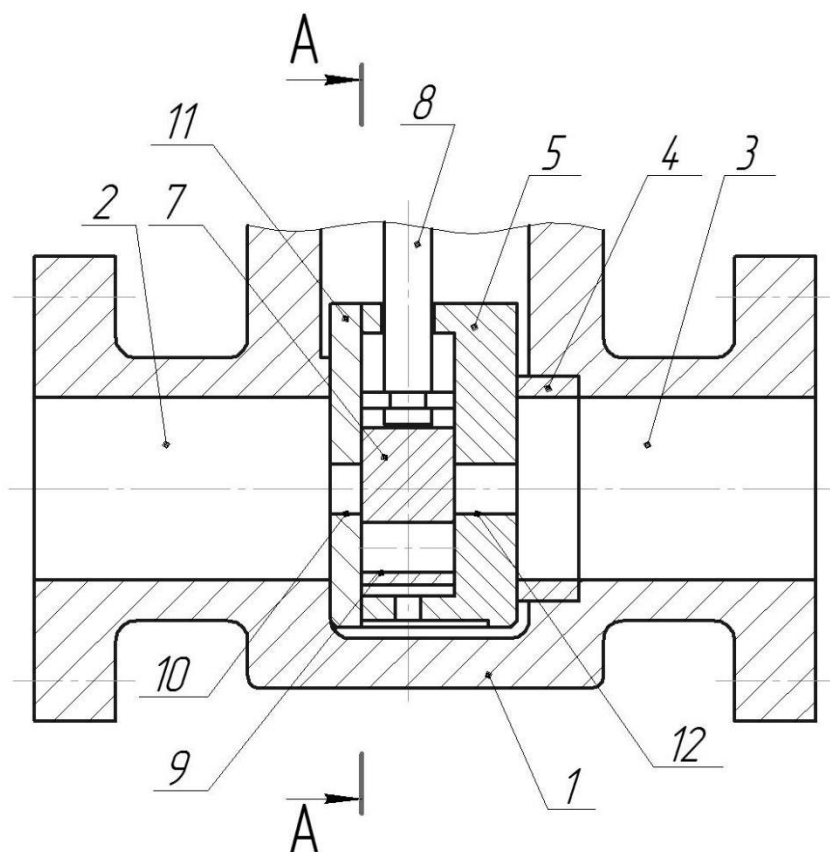


Рисунок 2.35 – Схема ШЗРУ с внутренним байпасом

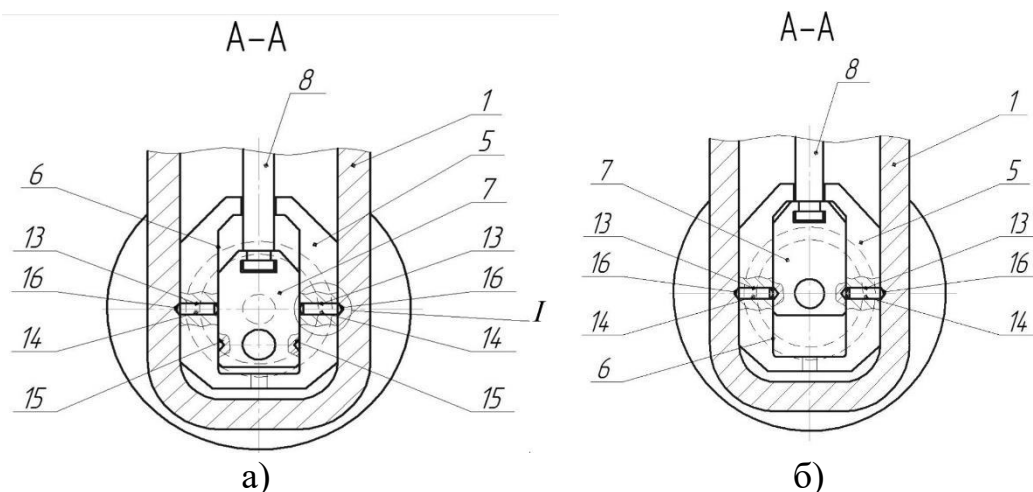
На основе схемы разработано и запатентовано ШЗРУ с внутренним байпасом (рисунок 2.36) [17].



1 – корпус; 2 и 3 – входной и выходной патрубки; 4 – седло; 5 – шибер;
 7 – шибер байпаса; 8 – шпindelь; 9 – проходной канал в шибере байпаса;
 10 – проходной канал в плите; 11 – плита; 12 – проходной канал в шибере
 (номера позиций деталей соответствуют описанию патента)

Рисунок 2.36 – Продольный разрез ШЗРУ с внутренним байпасом ШЗРУ при закрытом положении шибера и шибера байпаса, патент на изобретение № 2586958 [17]

На рисунке 2.37а – разрез по А–А на рисунке 2.36; на рисунке 2.37б – разрез по А–А на рисунке 2.36 при открытом положении шибера байпаса и закрытом положении шибера (проходные каналы шибера и шибера байпаса находятся на одной оси).

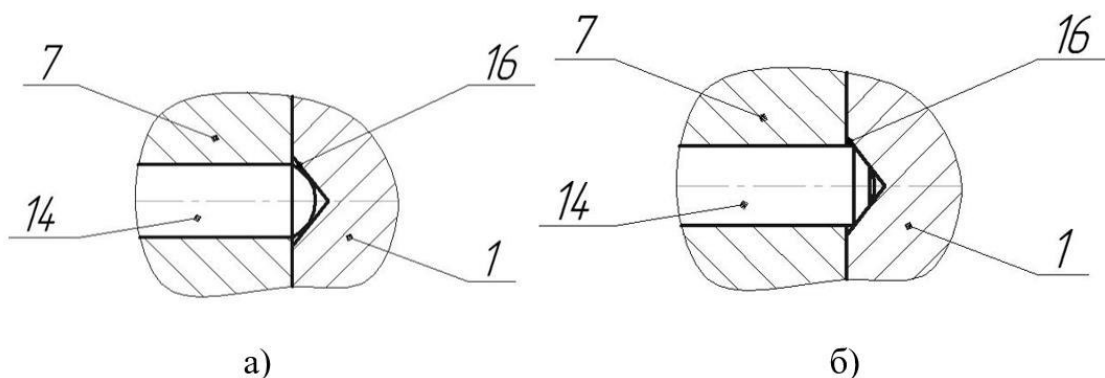


а – шибер байпаса в нижнем положении, проходной канал в шибере закрыт;
 б – заслонка в верхнем положении, проходной канал, соединяющий входной и выходной патрубки корпуса ШЗРУ в шибере, открыт

1 – корпус; 5 – шибер; 6 – выемка в шибере; 7 – шибер байпаса;
 8 – шпindelь; 13 – каналы фиксаторов; 14 – фиксаторы; 15 – лунки в шибере байпаса; 16 – лунки на направляющих поверхностях (номера позиций деталей соответствуют описанию патента)

Рисунок 2.37 – Схема затвора ШЗРУ с внутренним байпасом, патент на изобретение № 2586958 [15]

На рисунке 2.38 изображена выноска I на рисунке 2.37а.



а – сферический конец фиксатора; б – конический конец фиксатора
 1 – корпус; 7 – шибер байпаса; 14 – фиксаторы;
 16 – лунки на направляющих поверхностях (номера позиций деталей соответствуют описанию патента)

Рисунок 2.38 – Схема взаимодействия фиксатора и лунки ШЗРУ с внутренним байпасом, патент на изобретение № 2586958 [15]

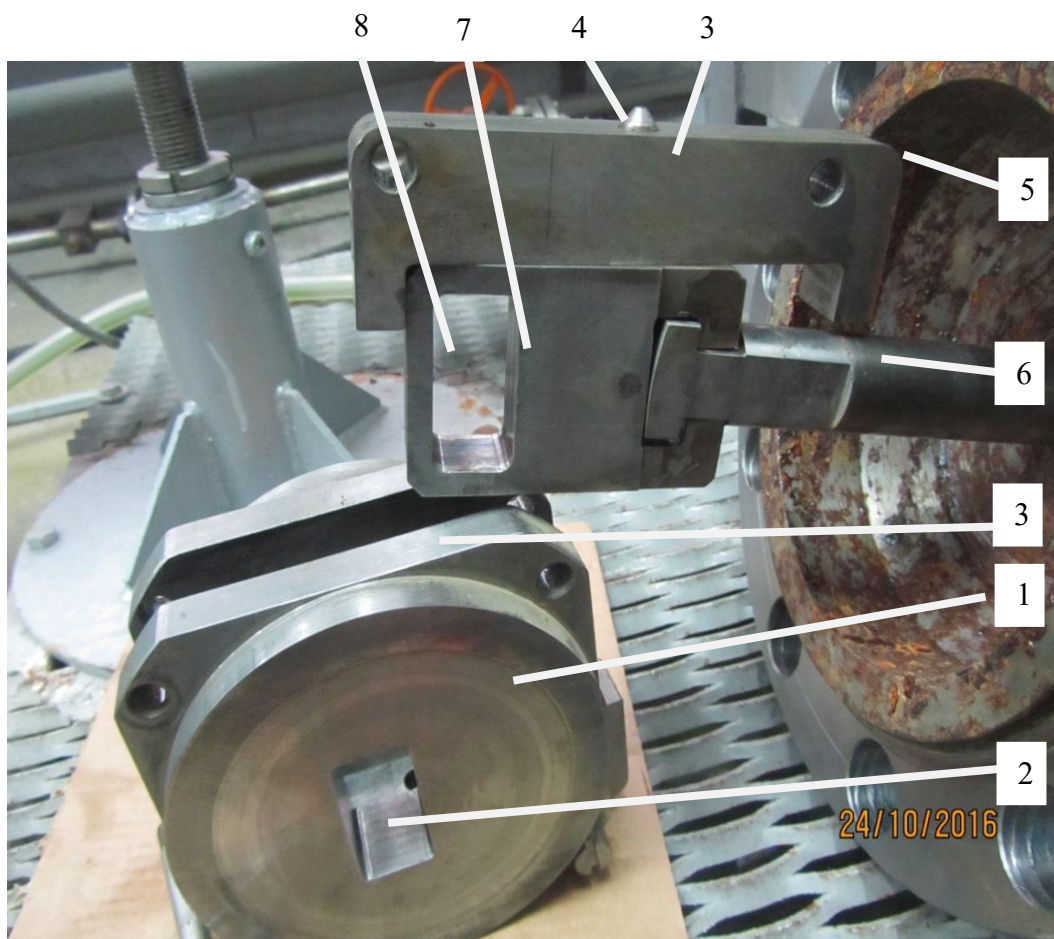
ШЗРУ состоит из корпуса 1 с входным 2 и выходным 3 патрубками, в канале выходного патрубка установлено седло 4, взаимодействующее с шибером 5 [50].

В выемке 6 шибер 5 установлен шибер байпаса 7, соединенный со шпинделем 8. Шибер байпаса имеет проходной канал 9, совпадающий при открытии ШЗРУ с проходным каналом 10 в плите 11 и проходным каналом 12 в шибере 5. В шибере с двух сторон выполнены каналы 13, в которых установлены фиксаторы 14, взаимодействующие с конусными лунками 15, выполненными в шибере байпаса и с лунками 16, выполненными на направляющих поверхностях шибера в корпусе.

Открытие ШЗРУ. От привода через шпиндель шибер байпаса движется вверх. При этом шибер находится в неподвижном состоянии, так как фиксаторы 14 концом, дальним от шибера байпаса, находятся в лунках 16 корпуса и препятствуют движению шибера. Шибер байпаса открывает каналы 10 и 12 и регулирует расход и перепад давления при движении до упора в верхний край выемки 6 шибера. При этом положении лунки 15 шибера байпаса совпадают с осью фиксаторов 14. Канал 10 плиты 11, канал 9 шибера байпаса и канал 12 шибера совпадают между собой полностью. Перепад давления на ШЗРУ уменьшается. Шпиндель продолжает движение вверх, при этом концы фиксаторов скользят по наклонным поверхностям лунок 16 корпуса и противоположным концом перемещаются в лунки 15 шибера байпаса, тем самым фиксируя между собой шибер и шибер байпаса. После этого шибер и шибер байпаса как единое целое движутся вверх, соединяя между собой входной и выходной каналы корпуса. Устройство открыто.

Закрытие ШЗРУ. Под действием шпинделя шибер с шибером байпаса, зафиксированные между собой фиксаторами, перемещаются вниз до упора шибера в дно корпуса, при этом фиксаторы будут находиться напротив лунок 16. Шибер байпаса продолжает движение вниз, при этом наклонные поверхности лунок 15 перемещают фиксаторы 14 в лунки 16. Шибер байпаса продолжает движение вниз перекрывая канал 10 в плите и канал 12 в шибере. Устройство закрыто [50].

Регулирование потока происходит при открытии и закрытии ШЗРУ. В зависимости от формы каналов в седлах, шибере и шибере байпаса может быть получена любая пропускная характеристика ШЗРУ (рисунок 2.39).



- 1 – шибер; 2 – канал в шибере; 3 – направляющие шибера байпаса;
 4 – фиксатор; 5 – крышка; 6 – шпindel; 7 – шибер байпаса;
 8 – канал в шибере байпаса

Рисунок 2.39 – Детали затвора ШЗРУ с байпасом

Шибер байпаса является длинным шибером с каналом в нижней части, поэтому при открытии площадь контакта между шибером байпаса и шибером до начала прохождения РС не изменяется, а при дальнейшем открытии площадь увеличивается. Удельное давление в затворе между шиберами не возрастает при открытии шибера байпаса (рисунок 2.40).

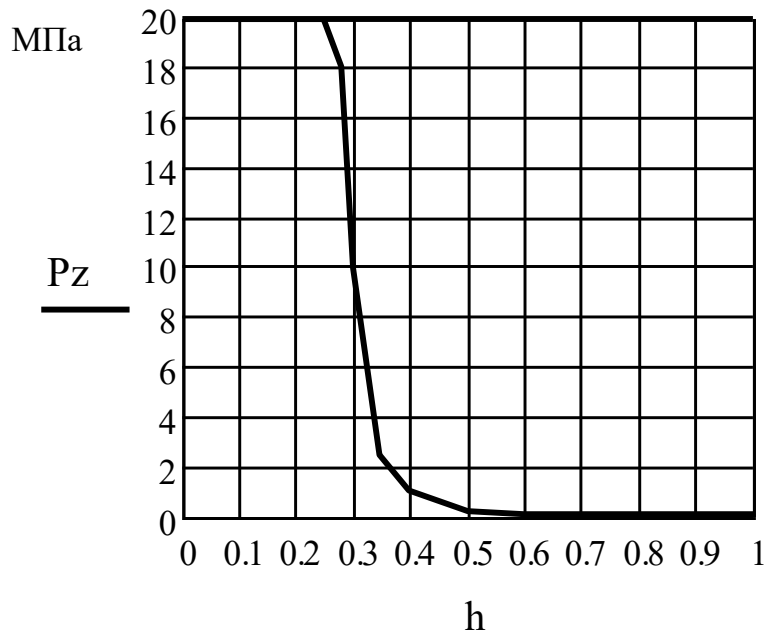


Рисунок 2.40 – Зависимость удельных давлений на уплотнительных полях затвора «шибер байпаса – шибер» при перепаде давления 25 МПа и скорости воды в патрубке 1 м/с

Преимущества ШЗРУ с внутренним байпасом

Все конструкции ШЗРУ, рассмотренные выше, обладают следующими достоинствами:

- полнопроходность;
- получение любой пропускной характеристики;
- точность регулирования;
- снижение кавитационных характеристик.

ШЗРУ с внутренним байпасом обладают дополнительными полезными свойствами, определяющими их преимущества:

- низкое значение крутящего момента и, значит, мощности привода для движения шпинделя; уменьшение сил на шпинделе, крутящего момента и мощности привода в 3–5 раз по сравнению с серийной задвижкой такого же прохода;
- низкое удельное давление на уплотнительных полях затвора;
- малый ход шпинделя (а значит и затрачиваемого времени) от закрытого положения затвора до начала регулирования;

– высокая точность регулирования благодаря наличию большого диапазона «тонкого» регулирования, что особенно важно при больших перепадах давления.

Контрольные вопросы

1 Как изменяется давление в проточной полости трубопроводной арматуры при увеличении скорости РС?

2 Физический смысл пропускной способности K_v .

3 Физический смысл условной пропускной способности K_{vu} .

4 Пропускная характеристика трубопроводной арматуры – это...

5 Виды гидравлических характеристик.

6 Преимущества и недостатки аналитического метода расчета пропускной способности.

7 Преимущества и недостатки численного метода расчета пропускной способности.

8 Методика экспериментального определения пропускной характеристики.

9 Преимущества и недостатки экспериментального метода определения пропускной способности.

10 Преимущества ТПА с байпасом.

11 Недостатки ТПА с внешним байпасом.

12 Преимущества ШЗРУ с внутренним байпасом.

13 Устройство и работа ШЗРУ с внутренним байпасом.

14 Что такое тонкое регулирование? Как оно осуществляется?

ПОСЛЕСЛОВИЕ

Во введении изложены в хронологической последовательности появление двухфункциональной трубопроводной арматуры в патентных и нормативных документах.

В 1-м разделе представлены ключевые результаты научно-исследовательской работы, проведенной в научно-испытательной лаборатории научно-производственной фирмы «МКТ-АСДМ», являющиеся основой для опытно-конструкторских работ по созданию двухфункциональных шибберных запорно-регулирующих устройств.

Во 2-м разделе приведены схемы шибберных запорно-регулирующих устройств различных конструкций, решающих конкретные задачи отраслевых предприятий с указанием стрелками векторов скоростей рабочей среды в момент тонкого регулирования. Каждая приведенная схема шибберных запорно-регулирующих устройств решает конкретную производственную задачу по получению требуемых характеристик.

Для правильного ответа на поставленные контрольные вопросы не исключаются обращения к первоисточникам, указанным в ссылках текста.

Авторы учебного пособия считают, что научная информация, изложенная в нем, послужит своеобразной ступенькой для дальнейшего развития и совершенствования разновидностей трубопроводной арматуры, так как без совершенствования трубопроводной арматуры невозможно совершенствование отраслей промышленности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 Арматура-2006. Номенклатурный каталог-справочник трубопроводной арматуры, выпускаемой предприятиями СНГ : в 2 т. – Москва : ТЕКСКОМП-КИТЭМА, 2006.

2 ГОСТ Р 52720-2007. Арматура трубопроводная. Термины и определения. – Москва : Стандартиформ, 2007.

3 ГОСТ 24856-2014. Арматура трубопроводная. Термины и определения. – Москва : Стандартиформ, 2014. – 30 с.

4 ГОСТ 34437-2018. Арматура трубопроводная. Методика экспериментального определения гидравлических и кавитационных характеристик. – Москва : Стандартиформ, 2018. – 32 с.

5 Стандарт ЦКБА 002-2003. Арматура трубопроводная. Задвижки. Методика силового расчета. – Санкт-Петербург : Изд-во ЦКБА, 2017. – 69 с.

6 Чиняев И. Р. Управление потоками жидкостей и газов. Ч I. Шибберные запорно-регулирующие устройства / А. Л. Шанаурин, А. В. Фоминых. – Курган : Изд-во КГУ, 2022. – 248 с.

7 Чиняев И. Р. Управление потоками жидкостей и газов. Ч II. Способ снижения кавитации в трубопроводной арматуре / А. Л. Шанаурин, А. В. Фоминых. – Курган : Изд-во КГУ, 2024. – 164 с.

8. Способ снижения кавитации в регулирующей трубопроводной арматуре : патент на изобретение № 2819248 РФ: МПК F16K 47/02 (2006/01) / Фоминых А. В., Чиняев И. Р., Шанаурин А. Л.; заявл. 19.07.2013; опубл. 15.05.2024. Бюл. № 14.

9 Запорно-регулирующая задвижка : пат. 2464470 Рос. Федерация : МПК F16K 3/12 (2006.01), F16K 3/32 (2006.01), F16K 39/04 (2006.01) / Заславский Г. А., Рязанов В. А., Чиняев И. Р. [и др.] ; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью Научно-производственная фирма «МКТ-АСДМ» : заявл. 29.06.2010 : опубл. 20.10.2012. – 2 с.

10 Запорно-регулирующая задвижка : пат. 2506483 Рос. Федерация : МПК F16K 3/02 (2006.01), F16K 3/14 (2006.01) / Ерошкин В. С., Заславский Г. А., Рязанов В. А. [и др.]; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью Научно-производственная фирма «МКТ-АСДМ» : заявл. 22.05.2012 : опубл. 10.02.2014. – 2 с.

11 Запорно-регулирующая задвижка : пат. 2502908 Рос. Федерация : МПК F16K 3/02 (2006.01), F16K 3/14 (2006.01) / Ерошкин В. С., Заславский Г. А., Рязанов В. А. [и др.]; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью Научно-производственная фирма «МКТ-АСДМ» : заявл. 08.02.2012; опубл. 27.12.2013. Бюл. № 36. – 2 с.

12 Запорно-регулирующее устройство : пат. 2618151 Рос. Федерация : МПК F16K 3/02 (2006.01), F16K 3/32 (2006.01) / Белокрылов В. Н., Ильиных Е.А., Пошивалов Е. А. [и др.]; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью «МАШНЕФТЕГАЗ» : заявл. 01.02.2016 : опубл. 02.05.2017. – 2 с.

13 Запорно-регулирующая задвижка : патент на изобретение № 2357626 РФ, МПК F16K 3/02 (2006/01) F16K 3/32 (2006/01) / Заславский Г. А., Караев Р.М., Рязанов В. А., Шанаурин А. Л., Чиняев И. Р.; заявл. 14.07.2008; опубл. 10.12.2009. Бюл. № 34.

14 Запорно-регулирующее устройство : пат. 2773821 Рос. Федерация : МПК F16K 3/02 (2006.01), F16K 3/14 (2006.01) / Заславский Г. А., Рязанов В. А., Фоминых А. В. [и др.]; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью Научно-производственная фирма «МКТ-АСДМ» : заявл. 08.12.2020 : опубл. 10.06.2022. – 2 с.

15 Запорно-регулирующая задвижка : пат. 2464469 Рос. Федерация : МПК F16K 3/02 (2006.01), F16K 3/14 (2006.01) / Заславский Г. А., Ионайтис Р. Р, Рязанов В. А. [и др.]; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью Научно-производственная фирма «МКТ-АСДМ» : заявл. 23.11.2010; опубл. 20.10.2012. Бюл. № 29. – 2 с.

16 Запорно-регулирующее устройство : патент на изобретение № 2696658 РФ, МПК F16K 3/02 (2006/01). / Заславский Г. А., Матвеев А. В., Рязанов В. А., Чиняев И. Р., Шанаурин А. Л.; заявл. 30.07.2018; публ. 05.08.2019. Бюл. № 22.

17 Запорно-регулирующее устройство : пат. 2586958 Рос. Федерация : МПК F16K 3/02 (2006.01), F16K 3/14 (2006.01), F16K 39/04 (2006.01) / Заславский Г. А., Рязанов В. А., Сухов С. А. [и др.] ; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью Научно-производственная фирма «МКТ-АСДМ» : заявл. 21.11.2014 : опубл. 10.06.2016. – 2 с.

Учебное издание

Фоминых Александр Васильевич

Чиняев Ильгиз Рашитович

Шанаурин Анатолий Леонтьевич

**ДВУХФУНКЦИОНАЛЬНАЯ
ТРУБОПРОВОДНАЯ АРМАТУРА
ШИБЕРНЫЕ ЗАПОРНО-РЕГУЛИРУЮЩИЕ
УСТРОЙСТВА**

Учебное пособие

Редактор В. А. Лисина

Подписано в печать 06.05.2026
Печать цифровая
Заказ 25

Формат 60x84 1/16
Усл. печ. л. 4,62
Тираж 100

Бумага 80 г/м²
Уч.-изд. л. 4,62

Библиотечно-издательский центр КГУ.
640020, г. Курган, ул. Советская, 63/4.
Курганский государственный университет.