

УНИФИЦИРОВАННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ФОРМИРОВАНИЯ ГАЗОВЫХ ПОТОКОВ

1. ВВЕДЕНИЕ

Элементы формирования газовых потоков работают в автоматизированных системах управления технологическими процессами и в приборах аналитического контроля в непрерывном режиме и должны обеспечить стабилизацию давления и расхода газов. Технические требования по стабилизации давления и расхода газов практически одинаковы для большинства приборов аналитического контроля и систем подготовки газовых потоков. Это открывает широкие возможности для создания типовых систем, составленных из отдельных узлов формирования газовых потоков: стабилизаторов давления и расхода газов, стабилизаторов перепада давления газов, постоянных пневматических сопротивлений (дросселей) и т.д. Давления при которых работают газовые узлы, могут изменяться в широких пределах: от минус 5 кПа до 40 МПа. При этом для исключения проникновения кислорода, азота и влаги из окружающей атмосферы через неметаллические детали (резиновые и фторопластовые прокладки, мембраны) в поток анализируемого газа, а также уменьшения влияния сорбционных процессов на динамические характеристики гигрометров и газоанализаторов используются специальные материалы: нержавеющая сталь 12Х18Н10Т, фторопласт Ф4, мембранное полотно, резина марок ИРП-1130, ИРП-1287 и НО-68-1.

С целью максимального удовлетворения требований потребителя, разработанные и серийно выпускаемые элементы формирования газовых потоков представляют собой фактически унифицированный ряд, состоящий из десяти стабилизаторов давления, четырех стабилизаторов расхода газа различных номиналов и трех стабилизаторов перепада давления. Для создания системы подготовки газовых потоков имеется широкий набор постоянных пневматических сопротивлений, штуцерно-ниппельных соединений, запорных и регулируемых вентилей.

2. НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗРАБОТКИ ЭЛЕМЕНТОВ ФОРМИРОВАНИЯ ГАЗОВЫХ ПОТОКОВ

Элементов формирования газовых потоков для систем и приборов аналитического контроля должны обеспечивать:

- работоспособность приборов при давлениях анализируемого газа наиболее часто встречающихся в промышленных и лабораторных условиях: от минус 0,005 МПа (разрежение) до избыточных давлений до 40 МПа;
- точное поддержание выходного давления анализируемого газа при отклонении входного давления от установленного значения в пределах заданной величины (обычно $\pm 30\%$);
- возможность удобной подстройки давления с контролем показаний по манометрам, что особо важно при подаче анализируемого газа из баллона;
- точное поддержание расхода анализируемого газа через измерительную ячейку в диапазоне от 1,25 до 3,25 см³/с в зависимости от измеряемого компонента, рода газа и условий окружающей среды. Для обеспечения необходимой точности измерения, в общепромышленных и лабораторных приборах расход анализируемого газа должен поддерживаться с точностью (2...3) % от номинального, принятого в расчетах, а в эталонах второго разряда – с точностью $\pm 0,5\%$;
- настройку через измерительную ячейку и в целом через прибор нормированного расхода газа с различной плотностью и динамической вязкостью;
- возможность фиксированной настройки расхода анализируемого газа постоянным пневматическим сопротивлением (дросселем) и корректировки расхода изменением перепада давления на дросселе.

Опыт использования серийно выпускаемых промышленностью регуляторов давления и расхода показал, что они мало подходят для аналитических приборов, измеряющих микроконцентрации компонентов в анализируемом газе. Регуляторы давления, стоящие по движению газового потока перед измерительной ячейкой, ухудшают динамические характеристики приборов вследствие того, что используемые в них материалы обладают значительной сорбционной емкостью, особенно по отношению к влаге, а также из-за значительных внутренних объемов.

Разработанные стабилизаторы давления снабжены устройством (диффузионным барьером), исключая проникновение влаги из окружающей атмосферы через неметаллические детали (прокладки, мембраны)

в поток анализируемого газа, а также уменьшающим влияние сорбционных процессов в объеме газового тракта.

К недостаткам серийных регуляторов расхода следует отнести недостаточную точность регулирования расхода газа и большую температурную погрешность.

Разработанные стабилизаторы расхода включают в себя устройство автоматической температурной коррекции путем изменения перепада давления на постоянном пневматическом сопротивлении. В качестве дроселирующих органов постоянных пневматических сопротивлений служат корундовые или рубиновые часовые камни со сквозным отверстием, завальцованные в оправки из нержавеющей стали. К достоинствам таких постоянных пневматических сопротивлений нужно отнести: широкий диапазон диаметров дроселирующих отверстий в часовых камнях (от 0,07 до 0,24 мм), высокую точность выполнения диаметров, высокую чистоту обработки стенок материала камня и абразивную стойкость. Особенно ценны постоянные пневматические сопротивления с малыми отверстиями для регулирования расхода газов с малой плотностью и вязкостью, например гелия или водорода, т.к. существующими доступными технологическими приемами отверстия в нержавеющей стали диаметром в несколько сотых миллиметров изготовить достаточно трудно.

С помощью разработанных и выпускаемых Ангарским ОКБА газовых узлов можно создавать схемы подготовки и формирования газовых потоков практически для всех установок по производству продуктов разделения воздуха, систем газового анализа и контроля, гигрометров, влагомеров, газоанализаторов и хроматографов.

3. СТАБИЛИЗАТОРЫ ДАВЛЕНИЯ ГАЗА

Требования, сформулированные в предыдущем разделе реализованы в конструкциях стабилизаторов давления газа, основные технические характеристики которых приведены в таблице 1.

Стабилизаторы СДГ-116А и СДГ-116Г предназначены для регулирования и стабилизации давления газа в линии “до себя”, остальные стабилизаторы – в линии “после себя”.

В стабилизаторе СДГ-100М в качестве чувствительного элемента используется сильфон, а в остальных стабилизаторах – мембраны из ткане-резинового полотна. В конструкции этого стабилизатора также предусмотрен предохранительный клапан, срабатывающий при давлении в подсильфонной

камере от 1,2 до 2 МПа, а также гнезда для установки двух манометров, измеряющими давление газа на входе и выходе.

Таблица 1. Технические характеристики стабилизаторов давления газа

Тип стабилизатора давления	Давление на входе, МПа	Стабилизируемое давление, МПа	Расход газа (по воздуху), л/ч
СДГ-111А	0,16...1	0,01...0,1	1...200
СДГ-111Г	0,6...1	от минус 0,03 до +0,04	1...200
СДГ-121	0,6...1	0,1...0,5	0,2...30
СДГ-131А	0,6...15	0,025...0,16	1...250
СДГ-131Б	1,0...15	0,05...0,5	1...250
СДГ-131В	0,16...40	0,05...0,1	25...120
СВДГ	1...15	0,5...13	0...60
	1,5...15	0,5...13	60...250
СДГ-100М	1,2...2	0,05...1	1...250
	св. 2...15	0,05...1	1...1200
СДГ-116А	-	0,01...0,06	3...60
	-	0,06...0,1	3...200
СДГ-116Г	-	от минус 0,03 до +0,04	3...200

Стабилизаторы СДГ-100М, СВДГ, СДГ-131Б устанавливаются на баллоне с помощью накидной гайки с трубной цилиндрической резьбой G 3/4-А, а в конструкции стабилизаторов СВДГ и СДГ-131Б имеется гнездо для установки манометра, измеряющего давление на входе.

Кроме унифицированных стабилизаторов давления газа, разработаны и выпускаются стабилизаторы, расширяющие область их применения в приборах аналитического контроля.

Стабилизатор давления газа (рис. 1) предназначен для преобразования высокого входного давления в низкое стабилизированное.

Стабилизатор представляет собой мембранный регулятор прямого действия. В установившемся режиме усилие пружины 1, уравнивается усилием от давления газа под мембраной 2. При изменении давления газа на входе в стабилизатор давление под мембраной 2 изменяется, вызывая больший или меньший прогиб мембраны, вследствие чего связанный с мембраной клапан 3 перемещается относительно сопла. При этом изменяется кольцевой зазор между соплом и клапаном так, что выходное давление принимает прежнюю величину.

Регулирующий винт 4 воздействует через пружину 1 на мембрану 2, обеспечивая тем самым регулировку давления анализируемого газа на выходе из стабилизатора. Для предотвращения попадания влаги из окружающей среды в анализируемый газ через прокладки, узел сопло-клапан защищается втулкой 5, вследствие чего, каналы входа и выхода газа около клапана находятся под постоянным обдувом анализируемым газом. Часть анализируемого газа через зазор “δ” между втулкой 5 и корпусом 6, а затем через дроссель 7 и штуцер 8 БАЙПАС уходит в дренажную систему. Анализируемый газ поступает через штуцер 9 ВХОД ГАЗА в подклапанное пространство, загерметизированное крышкой 10, а затем через каналы в корпусе 6 поступает к штуцеру 11 ВЫХОД ГАЗА и сбрасывается в дренажную систему.

В стабилизаторе применен упругий элемент в виде мембраны с жестким центром и гофрированной рабочей поверхностью, обеспечивающий максимальную чувствительность, оптимизацию термомеханических характеристик и улучшение динамических параметров. В конструкции мембранного узла реализованы требования, предъявляемые к упругому элементу: стойкость к воздействию анализируемого газа, отсутствие нелинейности и гистерезиса нагрузочной характеристики, стабильные механические характеристики.

Для стабилизации параметров мембранного упругого элемента применяются термоциклические воздействия и механические тренировки. Это обеспечивает получение следующих технических параметров:

- давление на входе, МПа от 0,05 до 40
- стабилизируемое давление на выходе, МПа 0,035±0,001
- расход газа (по воздуху), л/ч 600
- температура газа, °С от минус 60 до +50
- рабочая температура, °С от минус 50 до +50
- относительная влажность окружающей среды 98 % при температуре +35 °С.

4. СТАБИЛИЗАТОРЫ РАСХОДА ГАЗА

При разработке стабилизаторов расхода газа была поставлена и успешно решена задача по унификации конструктивных решений. При этом учитывалось, что стабилизатор расхода газа является составной частью газовой

схемы датчика, через него проходит поток анализируемого газа и поступает на чувствительный элемент. Поэтому при разработке стабилизаторов расхода газа была поставлена задача создать конструкцию, которая обеспечит нормальное функционирование этих узлов в составе приборов аналитического контроля.

На работу стабилизатора расхода газа не должны оказывать влияние окружающая среда (температура, давление и влажность воздуха), производственные вибрации, техническое состояние газовых коммуникаций. Элементы конструкции стабилизатора расхода не должны взаимодействовать не только с представительной частью анализируемой среды, но и со всем составом анализируемого газа. Для обеспечения хороших динамических характеристик приборов в направлении движения газового потока не должно быть застойных областей и зон. После проведения многочисленных исследований и испытаний была отработана технология изготовления узлов, позволившая получить технические характеристики стабилизаторов расхода газа, которые приведены в таблице 2.

Точность поддержания расхода составляет:

- для СРГ-21А...СРГ-21Д - ± 2 %;
- для СРГ-22А...СРГ-22Г - ± 3 %;
- для СРГ-23А...СРГ-23М - $\pm 2,5$ %;
- для СРГ-28А...СРГ-28Л - $\pm 2,5$ %.

Разность давлений между входом и выходом составляет:

- для СРГ-23А...СРГ-23Л – не менее 0,004 МПа;
- для СРГ-23М – не менее 0,01 МПа;
- для СРГ-28А...СРГ-28Л – не менее 0,01 МПа.

Расширить технические характеристики стабилизаторов расхода газа позволяют конструктивные решения, реализация которых приведена ниже.

Стабилизатор расхода (рис. 2) включает корпус 1, входной 2 и выходной 3 штуцеры. В корпусе 1 расположен чувствительный элемент (мембрана) 4, разделяющий корпус на две камеры, надмембранную 5 и подмембранную 6, соединенные между собой постоянным пневматическим сопротивлением (дросселем) 7. Сверху чувствительный элемент связан с пружиной задания 8, для регулирования поджатия которой служит винт 9. Снизу чувствительный элемент связан через тяги 10 и планку 11 с регулирующим органом (иглой) 12. Между регулирующим органом 12 и планкой 11 расположен термокомпенсатор, состоящий из двух термобиметаллических скоб 13,

обращенных активными слоями наружу и соединенными гибкими пластинами
 14. Такая конструкция термокомпенсатора, состоящая из двух термобиметаллических скоб, соединенных сверху и снизу гибкими пластинами, более компактна по сравнению с другими устройствами аналогичного типа.

Таблица 2. Технические характеристики стабилизаторов расхода газа

Тип стабилизатора	Давление на входе, МПа	Давление на выходе, МПа	Расход газа (по воздуху), л/ч
СРГ-21А	0,02...0,16	0...0,003	2
СРГ-21Б			3
СРГ-21В			6
СРГ-21Г			12
СРГ-21Д			20
СРГ-22А	0,02...0,16	0...0,003	30
СРГ-22Б			40
СРГ-22В			50
СРГ-22Г			60
СРГ-23А	0,004...0,06	от минус 0,005 до +0,005	1
СРГ-23Б			1,6
СРГ-23В			2,5
СРГ-23Г			4
СРГ-23Д			6
СРГ-23Е			10
СРГ-23Ж			16
СРГ-23И			25
СРГ-23К			40
СРГ-23Л			60
СРГ-23М	0,02...0,06		200
СРГ-28А	от минус 0,005 до +0,005	от минус 0,02 до минус 0,04	1
СРГ-28Б			1,6
СРГ-28В			2,5
СРГ-28Г			4
СРГ-28Д			6
СРГ-28Е			10
СРГ-28Ж			16
СРГ-28И			25
СРГ-28К			40
СРГ-28Л			60

Повышение и понижение температуры анализируемого газа вызывает уменьшение или увеличение высоты “Н” термокомпенсатора. Так как при этом положение регулирующего органа 12 должно оставаться неизменным, то чувствительный элемент 4 поднимается или опускается, дополнительно

поднимая или ослабляя пружину задания 8, что, в свою очередь, вызывает соответствующее изменение перепада давления на дросселе.

Геометрические размеры и марка материала термобиметаллических пластин выбраны такими, что отклонение расхода, вызванное изменениями плотности газа и перепада давления полностью компенсируют друг друга. При этом в установившемся режиме на термокомпенсатор воздействуют уравнивающие силы пружины задания и реакции мембраны.

При работе стабилизатора расхода на термокомпенсатор воздействует только усилие входного давления на регулирующий орган. Но так как площадь сопла незначительна, то усилие имеет небольшую величину, в несколько десятков раз меньшую усилия пружины задания. Поэтому при эксплуатации в термокомпенсаторе практически не возникает остаточных деформаций, и установленный расход с течением времени не сбивается.

При отсутствии воздействия входного давления газа регулирующий орган отжат от сопла и на термокомпенсатор не воздействуют никакие силы.

Таким образом, при указанной конструкции термокомпенсатора после длительной эксплуатации или хранения в пластинах термокомпенсатора не возникают остаточные деформации, что позволяет поддерживать первоначально установленный расход с достаточной точностью, а в итоге обеспечить стабильную работу автоматизированных систем контроля технологических газов или приборов аналитического контроля.

5. СТАБИЛИЗАТОРЫ ПЕРЕПАДА ДАВЛЕНИЯ ГАЗА

Унификация, достигнутая при разработке стабилизаторов давления и расхода, позволила создать конструкцию стабилизаторов перепада давления, которые предназначены для автоматического поддержания заданного перепада между давлением в рабочей камере и опорным давлением в надмембранной камере. Они могут использоваться в схемах стабилизации расхода при работе совместно с постоянными и регулируемым дросселями. При соединении камеры опорного давления с атмосферой, стабилизаторы перепада давления работают как стабилизаторы избыточного давления или разряжения. Технические характеристики унифицированных стабилизаторов перепада давления приведены в таблице 3.

Расширить технические характеристики стабилизаторов перепада давления позволяет конструкция, описание которой приведено ниже.

Таблица 3. Технические характеристики стабилизаторов перепада давления

		Тип стабилизатора		
		СПД-11	СПД-16	СПД-21
1.	Давление на входе, кПа	0...250	от минус 20 до плюс 100	5...60
2.	Опорное давление, кПа	0...60	от минус 20 до плюс 30	0...25
3.	Стабилизирующий перепад давления на мембране, кПа	от минус 20 до плюс 30	от минус 20 до плюс 30	1...4
4.	Расход газа, л/ч	1...60	1...60	0,1...250*

*Зависит от давления на входе.

Стабилизатор перепада давления (рис. 3) включает корпус 1 с входным 2 и выходным 3 каналами. Сопло 4 входного канала перекрывается клапаном 5. Клапан 5 с помощью шарового шарнира 6 соединен с упругой направляющей 7 и через нее с винтом регулировки 8. Винт регулировки расположен в резьбовом отверстии 9 скобы 10, связывающей клапан с чувствительным элементом 11 в виде поршня, связанным с пружиной 12. Сверху корпус 1 закрыт крышкой 13, образующей с чувствительным элементом полость опорного давления 14. В крышке 13 имеется канал 15. Снизу корпус закрыт крышкой 16, образующей с корпусом и чувствительным элементом рабочую полость 17. Через нижнюю крышку 16 пропущена ось ручки настройки 18 перепада давления. Для герметизации ручки служит уплотнительное кольцо 19. Ось ручки настройки заканчивается муфтой 20, служащей для передачи вращения от ручки настройки к винту 8 регулировки расстояния от клапана до мембраны.

Рабочий газ через входной канал 2 поступает к узлу “сопло-клапан” 4, 5. Здесь происходит снижение входного давления до давления в рабочей полости 17.

Давление в рабочей полости 17 на определенную величину превышает опорное давление в полости 14. Этот перепад давления в полостях 17 и 14 определяется из условия равновесия чувствительного элемента 11:

$$\Delta P = P_p - P_{оп} = \frac{F_{пр} + P_{вх} \cdot S_c}{S_{ч.э.}}, \quad (1)$$

где P_p – давление в рабочей полости 17;
 $P_{оп}$ – давление в полости опорного давления 14;
 $P_{вх}$ – давление газа во входном канале 2;
 $S_{ч.э.}$ – площадь чувствительного элемента 11;
 S_c – площадь сопла 4;
 $F_{пр}$ – усилие пружины 12.

В случае, если полость опорного давления 14 через канал 15 соединяется просто с атмосферой, устройство является стабилизатором избыточного давления.

Если же полость 14 через канал 15 соединена с источником давления другого газа, то в этом случае устройство является стабилизатором перепада давления двух газов.

Из выражения (1) видно, что настройку перепада давления можно производить изменением усилия пружины $F_{пр}$, как это делается в существующих стабилизаторах перепада давления и стабилизаторах давления газа. Но, как было показано выше, при больших перепадах давления это усилие очень велико, что затрудняет настройку, понижает точность настройки и ограничивает верхний предел диапазона настройки.

В представленной конструкции необходимый перепад давления настраивается регулированием расстояния “А” от клапана до мембраны. Необходимое усилие поджатия пружины обеспечивается чувствительным элементом 11, на который воздействует перепад давления ΔP .

В этом случае необходимо преодолеть только усилие, с которым воздействует входное давление на клапан, которое значительно меньше усилия пружины.

В рассматриваемом устройстве усилие настройки в сотни раз меньше усилия настройки существующих стабилизаторов перепада давления и стабилизаторов давления. Это влечет за собой также повышение точности настройки. При этом значительно увеличивается верхний предел диапазона настройки.

Шаровой шарнир 6 обеспечивает точную самоустановку клапана 5 к плоскости прилегания. Упругая направляющая 7 предотвращает сдвиг клапана относительно сопла, а также его вращение при вращении винта 8. Вращение винта 8 регулировки расстояния от клапана до чувствительного элемента

осуществляется ручкой настройки 18 через муфту 20. Муфта 20 позволяет компенсировать осевое перемещение винта 8 вместе с клапаном 5.

Стабилизаторы перепада давлению газа используются в схемах систем стабилизации давления воздуха, подаваемого в камеры задания пневмоповторителей. Это особенно важно при разработке автоматизированных систем аналитического контроля, способных работать в условиях химически агрессивных сред. Такие схемы не обеспечивают решения всего многообразия задач автоматизации газоаналитического контроля, но они могут быть положены в основу создания любой автоматизированной системы анализа технологических газов и парогазовых смесей.

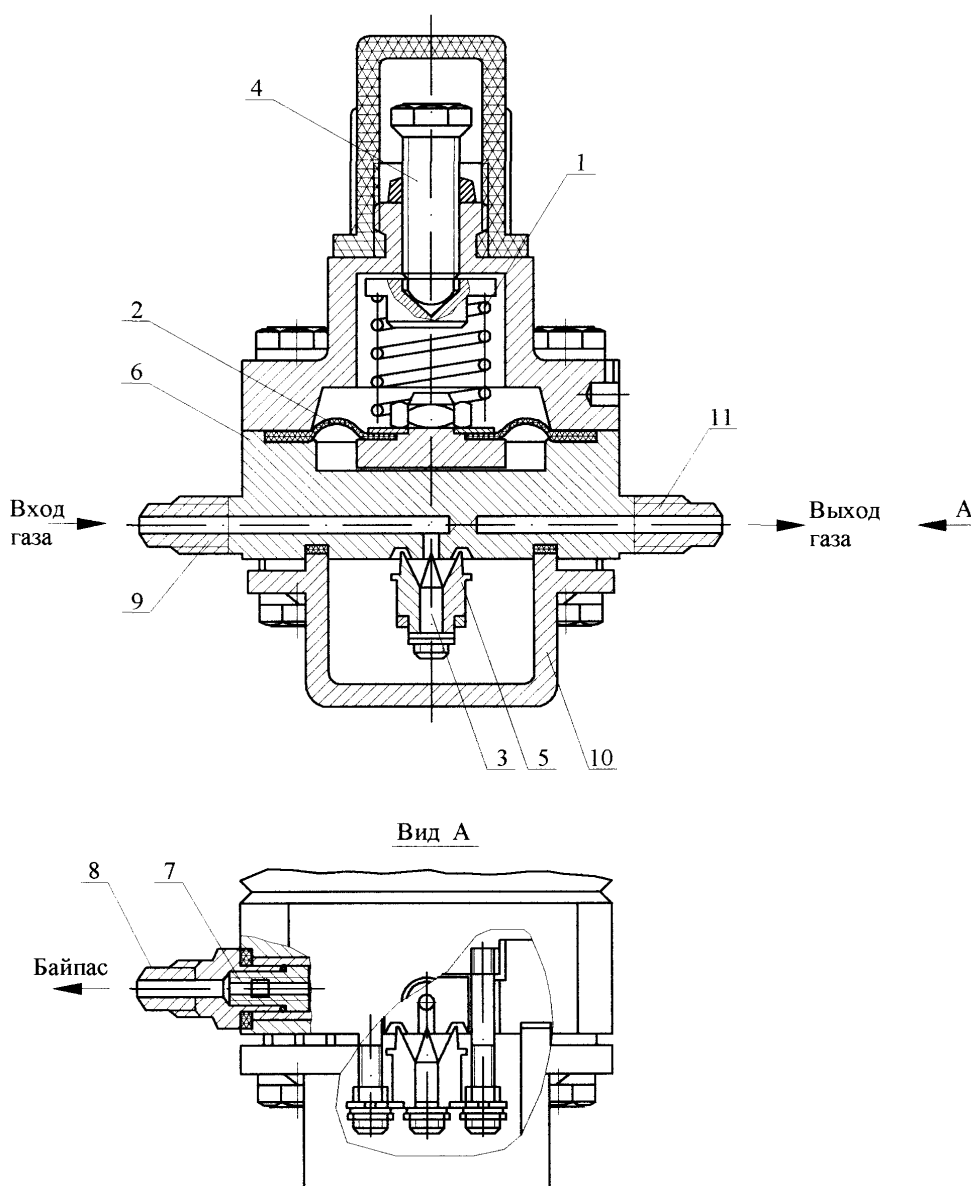


Рисунок 1- Стабилизатор давления газа

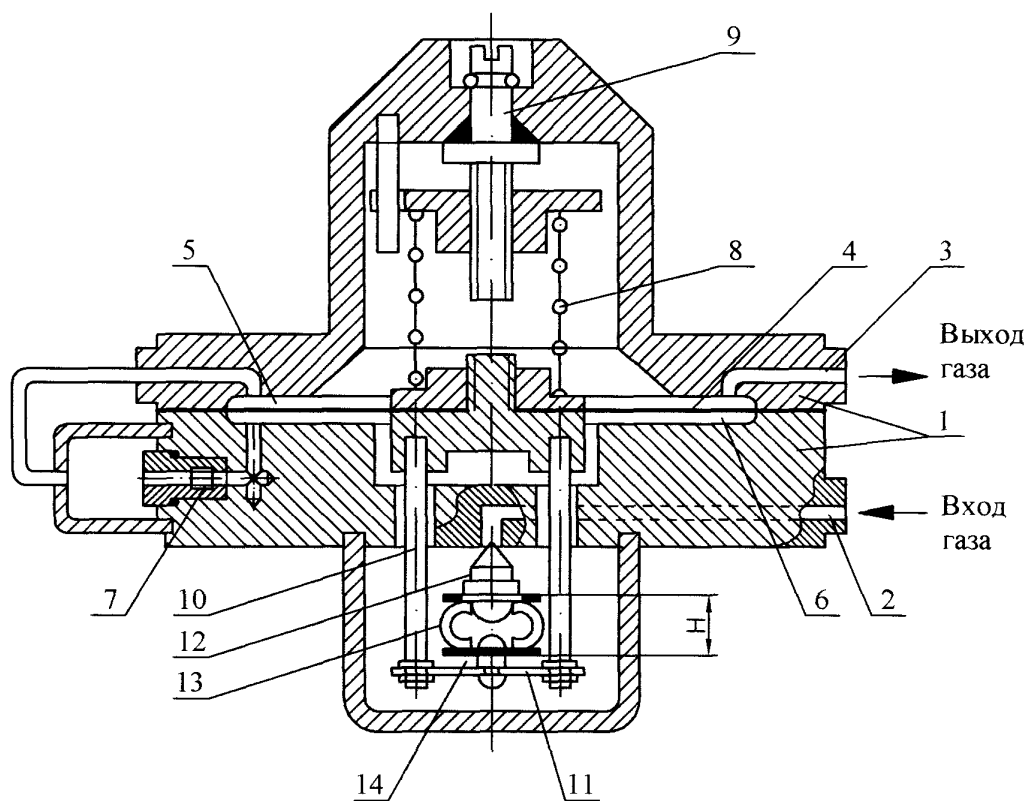


Рисунок 2 - Стабилизатор расхода газа

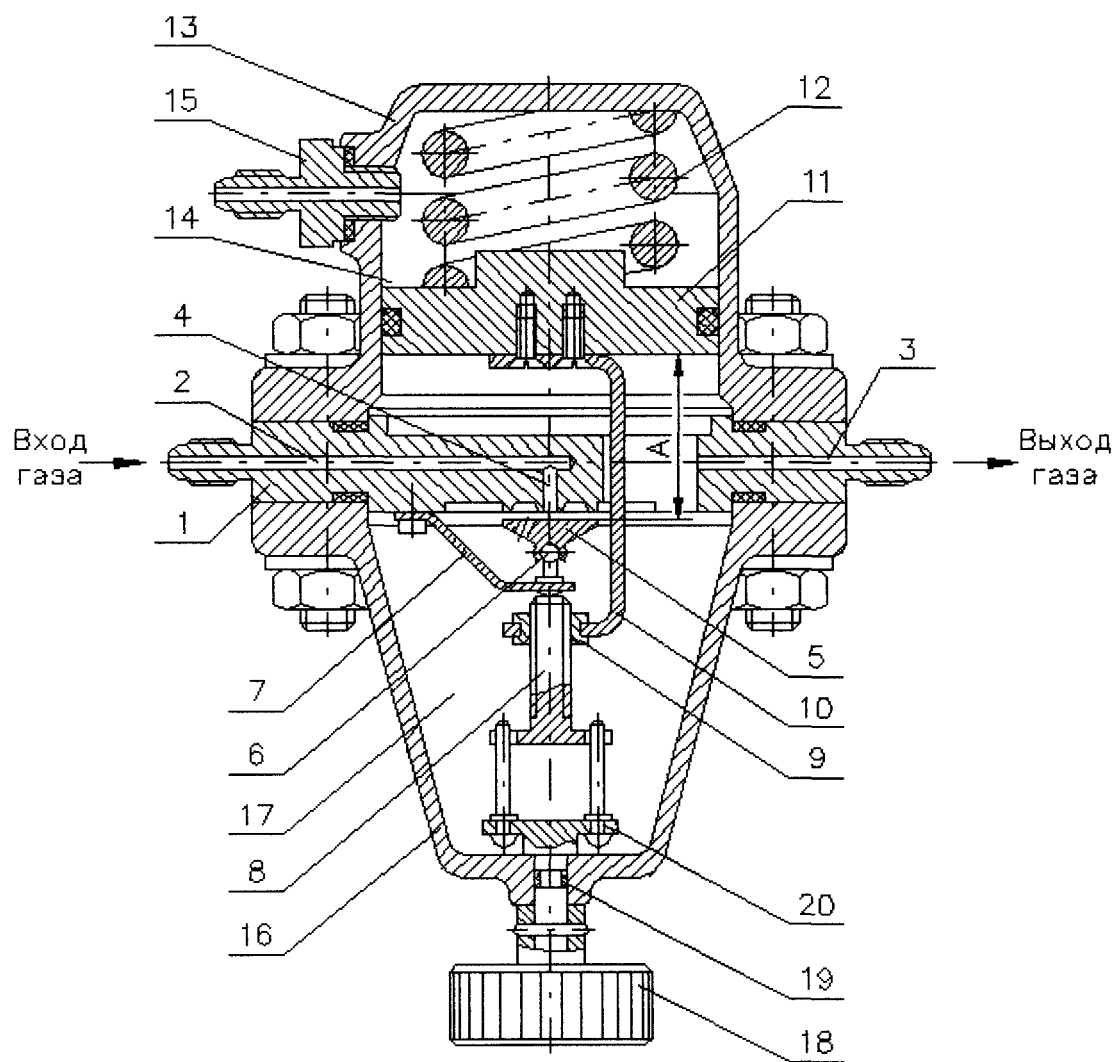


Рисунок 3 – Стабилизатор перепада давления газа