

Устройство автоматической одоризации природного газа для магистральных газопроводов и газораспределительных станций

11, ноябрь 2015

авторы: Антонов Ю. В.^{1,*}, Новиков А. В.¹, Антипова О. В.¹

УДК: 622.691.4.052; 665.612.035.7

¹Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана

*antonov@bmstu.ru

Введение

Одоризация - процесс придания природному газу в газопроводе характерного предупреждающего запаха для повышения безопасности его применения и обнаружения утечек. Является обязательной технологической операцией при подготовке природного газа и осуществляется, как правило, путём подачи в газ жидких одорантов, в качестве которых применяются сераорганические соединения типа этилмеркаптан (C_2H_6S), метилмеркаптан (CH_4S), диэтилсульфид ($C_4H_{10}S$) и др. В Российской Федерации природные меркаптаны, получаемые из газового конденсата, в частности, Оренбургского месторождения, не фракционируются и поставляются на одоризационные установки в виде смеси природных меркаптанов (СПМ).

Некоторые теплофизические характеристики меркаптанов приведены в таблице 1.

Таблица 1. Свойства одорантов (по ТУ51-82-82)

Наименование вещества	Этилмеркаптан (ЭМК)	СПМ
Плотность при 20°C, кг/м ³	850	810÷840
Температура кипения, °C	34,4	—
Температура кристаллизации, °C	-144	—
Температура самовоспламенения, °C	298	250
Температура вспышки, °C	-49	-29
Концентрационные пределы (объемные доли) воспламенения с воздухом, %	2,8÷18,2	
Токсичность	Токсичны, действуют на центральную нервную систему, ПДК 1 мг/м ³	

Общепринята мировая практика одоризации газа непосредственно перед потребителем, т.к. транспорт одорированного газа на дальние расстояния связан с экологическими и техническими проблемами (износ трубопроводной арматуры, загрязнение окружающей среды при дренаже газа и т.д.). В связи с этим большинство разработок зарубежных фирм направлено на одоризацию локальных газовых сетей низкого давления, причем эти сети,

как правило, находятся в ведении частных компаний. Каждая из этих компаний отвечает за подготовку газа на своем узком участке.

Большинство российских производителей также идет по пути одоризации природного газа на стороне газораспределительных станций (ГРС) с низким давлением. Однако при этом упускается из виду, что российская газовая система формировалась в других условиях, а именно - как централизованная система снабжения и транспорта газа одновременно. По этой причине, важным компонентом газовой сети РФ являются распределительные газопроводы, которые по своей структуре являются поставщиками природного газа конечным потребителям, но по своим характеристикам (расходы и давления) приближаются к магистральным газопроводам. Такие газопроводы осуществляют транспорт газа на малые и средние расстояния, но снабжают при этом крупных потребителей (населенные пункты городского типа, производственные комплексы). Это отличие диктует необходимость особого подхода к одоризации газопроводов РФ, поскольку кустовая одоризация распределительных газопроводов в отечественных условиях обуславливает ряд преимуществ, связанных с уменьшением количества пунктов одоризации. В частности, современные одоранты на основе меркаптана и серы являются агрессивными и токсичными веществами, их централизованное использование повышает экологическую безопасность и возможность проведения мероприятий по защите окружающей среды, что является одним из основных приоритетов работы. Кроме того, введение пунктов кустовой одоризации на крупных объектах упростит централизованный контроль за соблюдением технологии и качеством подготовки транспортируемого газа. Это особенно важно ввиду постоянно ужесточающихся требований к безопасности предприятий-потребителей газа. В частности, наличие на крупных объектах диспетчерских с обязательной передачей информации на верхний уровень позволяет обеспечить автоматический режим одоризации и свести к минимуму влияние человеческого фактора.

При подаче газа в крупные населенные пункты или регионы наиболее простым и дешевым является размещение установок одоризации газа (УОГ) непосредственно на ветках высокорасходных (от 10 до 85 млн. нм³ в сутки) магистральных газопроводов (МГП), подходящих к этим объектам, что требует минимального количества УОГ и соответственно минимальных затрат на их строительство, содержание и эксплуатацию. Однако такой подход связан с рядом технических и эксплуатационных трудностей. Транспорт одорированного газа на большие расстояния отрицательно влияет на работу узлов и агрегатов газовых магистралей - компрессоров, редукторов, клапанов, уплотнений арматуры и т.д. В частности, усиливается коррозия металлических стенок газопроводов (ГП), особенно в местах скопления жидкого одоранта, что обуславливает снижение концентрации паров одоранта в газе вследствие химической реакции этих паров с металлом. Следует так же учесть возможность кипения легких фракций и выпадения конденсированных осадков, усложняющих функционирование органов регулирования, контактирующих с одорантом. Кроме того, размещение УОГ на МГП делает невозможной дифференцированную одоризацию газа, если требования по степени одоризации и химическому составу одоранта раз-

личны для различных потребителей газа, например, при поставках газа за рубеж.

К перечисленным трудностям относятся и особенности транспортировки газа в пределах РФ, поскольку широкий диапазон изменения температур окружающей среды ($\pm 55^{\circ}\text{C}$) еще более усугубляет работу исполнительных органов одоризаторов.

В связи с изложенными выше обстоятельствами, основную цель работы можно сформулировать в виде разработки одоризационных установок для кустовой одоризации природного газа, способных работать при давлениях газа до 75 ати и адаптированных к эксплуатации в жестких климатических условиях.

Принимая во внимание изложенные ранее технические и эксплуатационные трудности, создаваемой серии одоризаторов были предъявлены следующие требования:

- автоматический режим одоризации газа с возможностью организации обратной связи по концентрации одоранта в природном газе;
- отсутствие в составе одоризатора регулирующих органов, уплотнений, подвижных частей, сопел малого диаметра, установленных на магистралях жидкого одоранта (перечисленные элементы являются причиной преждевременного выхода оборудования из строя);
- использование арматуры и узлов высокого давления для агрессивных и токсичных сред, с условием комплектации этого оборудования на российской базе;
- возможность работы на одорантах без их предварительной фильтрации, ввиду сложности и токсичности для обслуживающего персонала операции по ремонту/замене фильтрующих элементов.

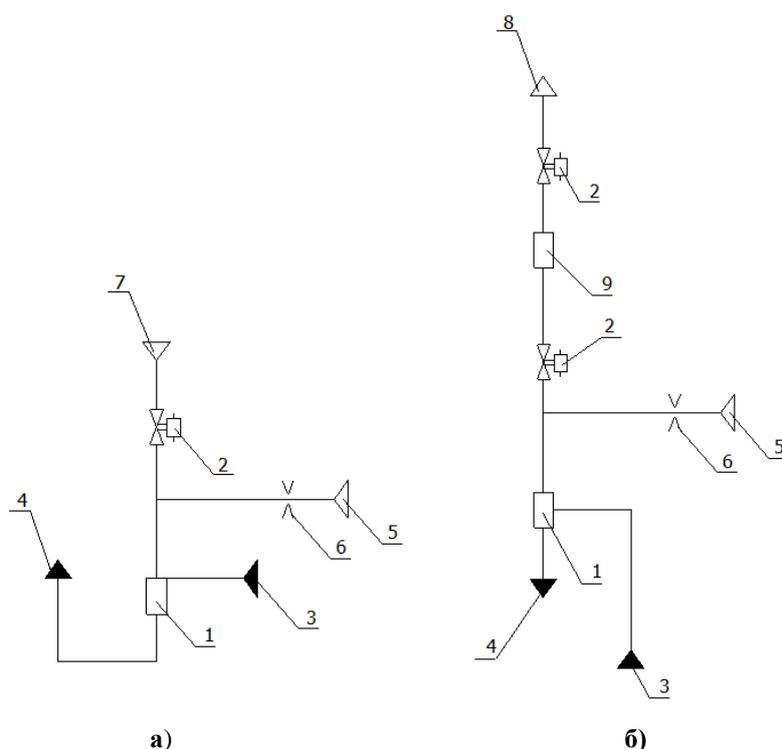


Рис.1. Принципиальная пневмогидравлическая схема дозирующих устройств одоризаторов УОГ 05М/1 (а) и УОГ 05М/2 (б): 1 - мерная емкость; 2 – электропневматический клапан (ЭПК); 3 – подвод одоранта из расходной емкости; 4 – впрыск одоранта в газопровод; 5 – сообщение с газовой подушкой расходной емкости; 6 - газовый дроссель; 7 – подвод газа высокого давления; 8 – отвод газа в дренажную свечу; 9- дренажная емкость.

Одним из основных функциональных узлов одоризатора, вокруг которого строится пневмогидравлическая система установки в целом, является дозатор. Основываясь на опыте научной школы кафедры «Ракетные двигатели» МГТУ им. Н.Э. Баумана по проектированию и экспериментальной отработке установок одоризации природного газа [1, 2] были разработаны две пневмогидравлические схемы узлов дозирования (см. рисунок 1 а, б), функционирование которых построено на использовании запатентованного [2] способа дозированной подачи жидкости. Физическую основу указанного способа составляет принцип сообщающихся сосудов.

Работу устройств, представленных на рисунке 1, можно описать следующим образом. Подача порции одоранта в газопровод осуществляется из мерной емкости постоянного объема 1 через штуцер 4. Эта же емкость является регулирующим органом одоризатора и опорожняется в газопровод с переменной частотой, регулируемой количеством срабатываний ЭПК 2 и зависящей от величины расхода газа в газопроводе. Мерная и расходная (на рисунке 1 условно не показана) емкости установлены на одном уровне и образуют систему сообщающихся сосудов, связанных посредством подводов 3 и 5, которые обеспечивают возможность перетечки одоранта между ними на стадии заполнения мерной емкости. При этом собственно переток жидкости осуществляется через магистраль 3, концевые участки которой соединены с днищами рассматриваемых емкостей. Выравнивание давлений в газовых подушках сосудов в статичном состоянии пневмогидросхемы происходит через магистраль 5, концевые участки которой соединяются с верхними частями расходной и мерной емкостей. Штуцеры на сосудах для стыковки магистралей 3 и 5, гарантированно находятся соответственно ниже и выше уровня одоранта. Подача порции одоранта, содержащегося в объеме емкости 1, в поток обеспечивается либо импульсом газа высокого давления 7, либо избыточным давлением, накопленным в дренажной емкости 9. Дроссель 6 установлен с целью демпфирования воздействия импульса давления на газовую подушку расходной емкости.

Управление дозированной подачей одоранта в газопровод в обеих модификациях осуществляется с помощью сдвоенного электро-пневматического узла управления (ЭПУУ). Одно срабатывание ЭПУУ сопровождается поступлением в газопровод порции одоранта, равной объему мерной емкости. Частота импульсов напряжения, подаваемых на привод

ЭПК 2, генерируется блоком управления одоризатора по сигналу от системы измерения расхода газа пропорционально величине этого расхода, что наряду с подбором объема мерной емкости обеспечивает поддержание постоянной заданной концентрации одоранта в газе. Управляющий сигнал расхода газа может поступать на блок управления как от штатного измерителя расхода газа, входящего в состав объекта монтажа, так и от собственного сужающего устройства (мерной шайбы с датчиками давления, перепада давления и температуры).

Следует отметить, что следствием действия импульсов давления является возникновение высокоэнергетичных потоков в магистралях одоранта, движущихся в прямом и обратном направлениях, что обеспечивает постоянную промывку этих магистралей при работе одоризаторов и предохраняет их от засорения.

В модификации УОГ 05М/1 (см. рисунок 1, а) источником и приёмником газа являются ветви газопровода соответственно до и после регулятора давления газа. В модификации УОГ 05М/2 (см. рисунок 1, б) источником газа является газопровод высокого давления, в

который подают одорант, а приёмником ветвь газопровода более низкого давления или дренажная свеча 8 объекта монтажа с дезодоратором.

С целью проверки правильности подбора гидравлических сопротивлений и других настроечных параметров, а также общей оценки работоспособности дозирующего устройства, являющегося основным узлом одоризатора, был изготовлен экспериментальный стенд, технические характеристики которого представлены в таблице 2. Пневмогидравлическая схема стенда и фотография рабочего участка показаны на рисунках 2, 3 соответственно.

Таблица 2. Характеристики стенда для испытаний узлов дозирования

№ п/п	Показатели и единицы измерения	Норма
1.	Рабочее давление, МПа	1,6
2.	Задаваемая норма одоризации, мг/нм ³	16
3.	Максимальная относительная погрешность поддержания заданной нормы одоризации, в %	± 12
4.	Температурный диапазон эксплуатации, °С	От – 40 до +50
5.	Электрическое питание клапана	24 В постоянное
6.	Рабочие компоненты	Воздух, вода, растворы этилового спирта

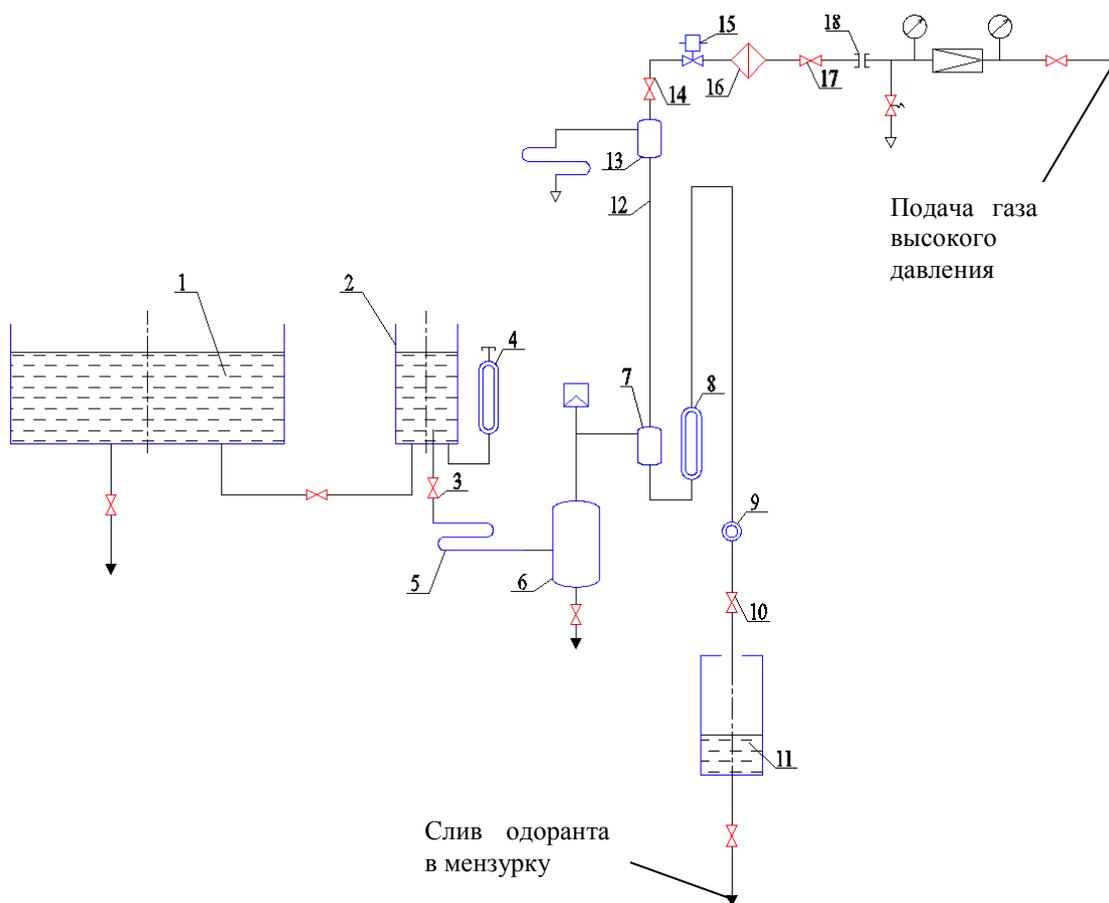


Рис. 2. Пневмогидравлическая схема испытательного стенда: 1 - рабочая жидкость; 2 - мерный сосуд рабочей жидкости; 3, 10, 14, 17 – вентили; 4, 8 – уровнемеры; 5 - дроссель гидравлический; 6 - баллон-компенсатор; 7 - баллон – дозатор; 9 - смотровое стекло; 11 - приемный сосуд рабочей жидкости; 12 - уравнивающая трубка; 13 - разделительный баллон; 15 – клапан; 16 - фильтр очистки газа; 18 - штуцер входа газа

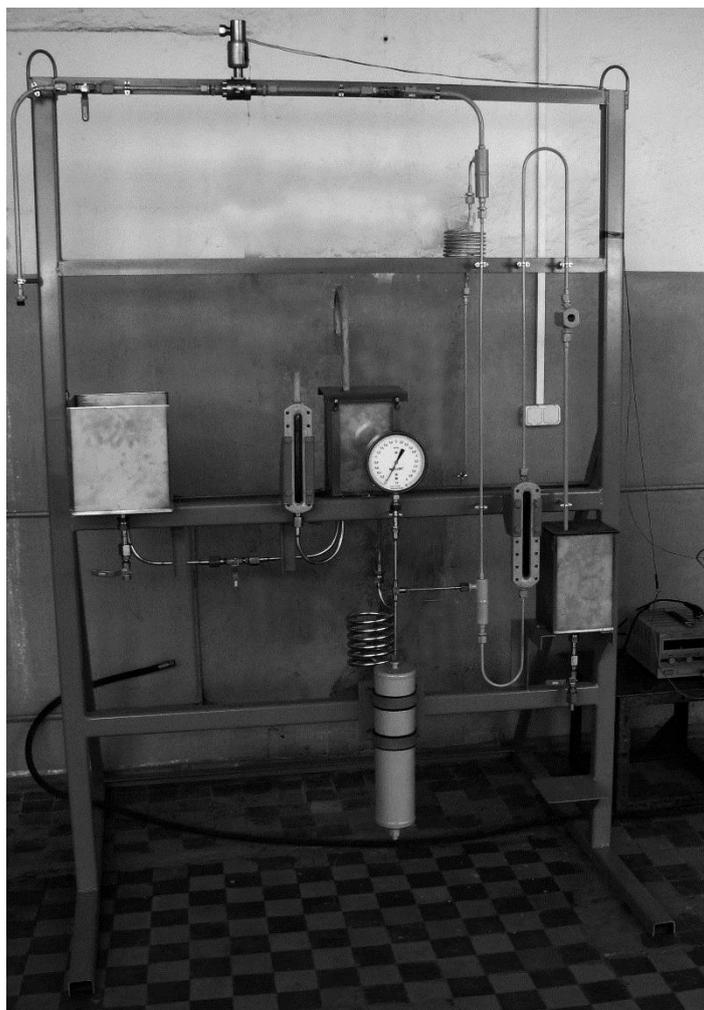


Рис. 3. Стенд для испытаний дозирующего устройства на рабочем участке

Стенд в комплекте с дозатором работает следующим образом.

Блок управления одоризатором (в стендовом варианте источник напряжения) вырабатывает электрические импульсы управления клапаном 15 в соответствии с расходом газа и заданной концентрацией одоранта. При этом электрические импульсы формируются так, чтобы частота следования этих импульсов (частота переключения клапана 15) была прямо пропорциональна величине расхода газа в газопроводе.

В момент открытия клапана 15 верхняя точка трубки 12 соединена со штуцером 18 через элементы 14, 16, 17.

В результате газ из штуцера 18 поступает в баллон 7, что приводит к возникновению перепада давления газа между баллоном 7 с одной стороны и сосудами 2 и 11 - с другой стороны. При этом с одной стороны рабочая жидкость 1 под действием перепада давления между входом штуцера 18 и сосудом 11 поступает из баллона 7 через элементы 9 и 10 в сосуд 11 до полного опорожнения баллона 7. С другой стороны, рабочая жидкость 1 под действием перепада давления между входом штуцера 18 и сосудом 2 поступает из баллона 6 через элементы 5 и 3 в сосуд 2.

В дальнейшем вновь происходит закрытие клапана 15 и выравнивание уровней жидкости в элементах 2 и 8.

Каждый цикл переключения клапана 15 соответствует одному циклу полной заправки баллона 7 жидкостью из сосуда 2 и полного слива жидкости из баллона 7 в сосуд 11.

Поскольку объем баллона 7 постоянен, а объем трубки 12 мал по сравнению с объемом баллона 7, каждый цикл переключения клапана 15 сопровождается поступлением в сосуд 11 одинаковой порции жидкости.

Контроль поступления жидкости в сосуд 11 осуществляется визуально по смотровому стеклу 9.

На рисунке 4 представлена характерная форма сигнала, поступающего на привод клапана 15.

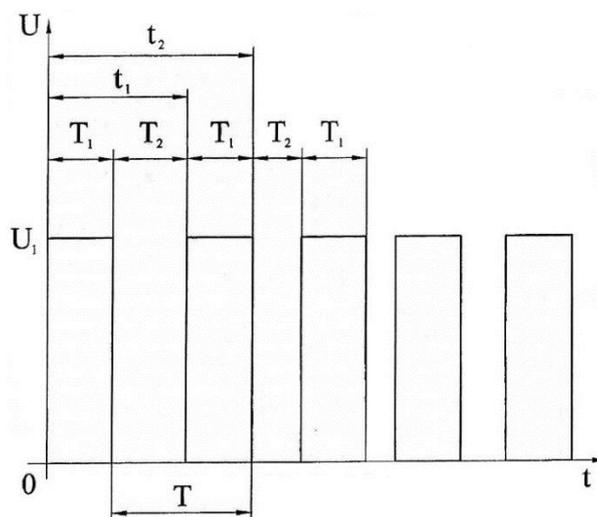


Рис. 4. Характерная форма сигналов от блока управления

Учитывая типовую форму сигнала, поступающего на управляющий клапан, одной из задач испытаний дозирующего устройства являлась оценка количественных параметров схемы, представленной на рисунке 4, а именно времени, в течение которого клапан должен находиться в открытом состоянии (T_1) и длительности паузы между его двумя последовательными включениями (T_2).

При этом для величин T_1 и T_2 должны выполняться неравенства

$$T_1 \geq T_{1\text{потр}}; T_2 \geq T_{2\text{потр}}; T_1 < T_{3\text{потр}},$$

где $T_{1\text{потр}}$, $T_{2\text{потр}}$ - времена, потребные соответственно для полного опорожнения и заполнения дозирующей ёмкости; $T_{3\text{потр}}$ - время опорожнения компенсационной ёмкости; $T_1 = \text{const}$ - период времени, когда на привод клапана поступает напряжение срабатывания привода U_1 ; $T_2 = \text{var}$ - период времени, когда напряжение на приводе клапана отсутствует.

Из рисунка 4 видно, что

$$T = T_1 + T_2; t_2 = t_1 + T_1,$$

где t_1 - момент времени подачи напряжения на электропривод клапана, t_2 - момент времени снятия напряжения с электропривода клапана.

Таким образом, для штатного функционирования устройства должны соблюдаться следующие условия.

Время открытого состояния клапана должно гарантированно обеспечить полное опорожнение баллона-дозатора, что определяет величину T_{1min} .

Время открытого состояния клапана должно быть меньше времени полного опорожнения баллона-компенсатора. Это определяет величину T_{1max} . Условием работоспособности дозатора является выполнение неравенства $T_{1max} > T_{1min}$.

Время закрытого состояния клапана должно быть больше времени заполнения баллона – дозатора и баллона – компенсатора после полного опорожнения баллона-дозатора, что определяет величину T_{2min} .

Остановимся подробнее на некоторых особенностях методики проведения и обработки результатов испытаний.

Измерения проводятся для двух значений давления на входе в клапан 15, а именно 5 ати (минимально допустимый перепад давления) и 15 ати (максимально допустимый перепад давления).

При проведении эксперимента в качестве времени полного опорожнения баллона-дозатора T_{1min} принимается время между моментом открытия клапана и моментом опорожнения баллона-дозатора по показаниям уровнемера 4 и стекла 9. При этом критерием опорожнения баллона – дозатора является прекращение движения жидкостных включений в элементах 8 и 9. Время T_{1min} предварительно определяется вручную, по показаниям секундомера. Включение и выключение клапана осуществляется так же вручную тумблером на электрической линии питания привода клапана. Отсчет показаний секундомера ведется от момента подачи напряжения на привод клапана 15. Замеры для каждого режима проводятся не менее 10 раз, на основании чего определяется осредненное время опорожнения баллона-дозатора. Время опорожнения баллона - дозатора для промежуточных значений перепадов давления определяется путем линейной аппроксимации времен для крайних случаев. При настройке циклограммы срабатывания клапана за действительное время опорожнения баллона-дозатора T_{1min} принимается наибольшее из полученных значений при стендовой отработке. В качестве времени полного опорожнения баллона-компенсатора T_{1max} принимается время между моментом открытия клапана и моментом опорожнения баллона-дозатора по прохождению газовых пузырьков в сосуд 2 (при снятой крышке сосуда). При этом критерием опорожнения баллона – компенсатора является начало движения газовых включений в емкости 2. В остальном алгоритм определения параметра T_{1max} аналогичен вышеописанному. При этом в процессе настройки циклограммы срабатывания клапана за действительное время опорожнения баллона-компенсатора T_{1max} принимается наименьшее из полученных значений при стендовой отработке. При выполнении условия $T_{1max} > T_{1min}$ за время открытого состояния клапана принимается величина $T_1 = T_{1min}$.

За время T_{2min} при стендовой отработке принимается интервал между моментом закрытия клапана и моментом полного заполнения баллона-дозатора по показаниям

уровнемера 4. При этом критерием заполнения является подъем зеркала жидкости в уровнемере 8 до верхней точки. Измерение и обработка параметра T_{2min} выполняется по аналогии с приведенным выше алгоритмом для T_{1min} . При настройке циклограммы срабатывания клапана за действительное время заполнения T_{2min} принимается наибольшее из полученных значений.

Период $T_{min} = T_1 + T_{2min}$ определяет наименее возможную продолжительность цикла работы дозатора. Максимальное количество переключений клапана за 1 час определяется из соотношения

$$N_{max} = 3600 / T_{min}.$$

Затем вычисляется потребный максимальный расход одоранта

$$Q_{o,max}^n = Q_{г,max} \eta / \rho,$$

где $Q_{г,max}$ – максимальный расход газа через магистраль, $nm^3/час$; $Q_{o,max}^n$ потребный максимальный расход одоранта, $см^3/час$; η – требуемая степень одоризации, $г/nm^3$. ρ – плотность одоранта, $г/см^3$.

Действительный максимальный расход одоранта определяется по формуле

$$Q_{o,max}^d = N_{max} Q_{1o},$$

где $Q_{o,max}^d$ – действительный максимальный расход одоранта, $см^3/час$; Q_{1o} – расход одоранта за одно переключение клапана, $см^3/час$.

В качестве критерия штатного функционирования одоризатора является выполнение неравенства $Q_{o,max}^d \geq Q_{o,max}^n$. В ином случае объем баллона – дозатора увеличивается и цикл испытаний повторяется.

После определения циклограммы срабатывания клапана (времен T_1 и T_{2min}) измеряются действительные расходные характеристики дозатора в зависимости от текущего расхода газа и перепада давления.

На основании не менее 10 измерений определяется осредненная порция жидкого одоранта, поступающая в газопровод за одно срабатывание клапана.

Поскольку дозатор является установкой объемного дозирования, то величина порции жидкого одоранта, поступающей в газопровод за одно срабатывание клапана, определяется по мензурке как объем слитой воды из емкости 11. При нормальной работе установки в емкость 11 должно поступать 20 см^3 воды на 1000 nm^3 газа. Соответственно, расход жидкости из емкости 2 должен быть равен этой же величине. Осреднение порции жидкого одоранта проводится на основании не менее 10 измерений. Аналогичным образом проверяется весь диапазон изменения расхода газа в газопроводе, вплоть до верхней границы этого диапазона.

Результаты испытаний дозатора на модельных компонентах приведены в таблице 3. При этом в качестве имитатора природного газа использовался воздух, а одоранта – вода.

Таблица 3. Результаты стендовых испытаний дозирующего устройства

Задаваемый расход газа, тыс. нм ³ /час	Перепад давления, ати	Расход рабочей жидкости по емкости 2, см ³ /час	Расход рабочей жидкости по емкости 11, см ³ /час
10	5	190	190
20	5	380	380
30	5	570	570
40	5	760	760
50	5	950	950
10	15	210	210
20	15	420	420
30	15	630	630
40	15	840	840
50	15	1050	1050

Выполненный объем стендовых испытаний и их результаты подтвердили функциональные и расходные характеристики дозирующих устройств, а также обусловили создание на их основе двух модификации одоризаторов нового типа, в которых дозированная подача одоранта обеспечивается пневматическими элементами:

- одоризатор УОГ 05М/1 предназначен для работы в составе централизованных пунктов редуцирования, замера расхода и одоризации газа с расходом до 500 тыс. нм³/ч и давлением газа до 55 атм. [3]. Одоризатор устанавливается после узлов редуцирования газа и использует для своей работы перепад давления между газопроводами до и после узла редуцирования газа.

- одоризатор УОГ 05М/2 предназначен для работы в составе магистральных газопроводов на объектах, где отсутствует редуцирование газа. Данная модификация одоризатора использует для своей работы перепад давления между газопроводом и дренажной свечой объекта. В конструкции УОГ 05М/2 реализован способ использования промежуточной емкости для обеспечения непрерывности процесса одоризации при заправке одоризатора [4, 5].

Заключение

Подводя итог выполненному объему работ, можно сделать следующие выводы. Разработаны пневмогидравлические схемы двух дозирующих устройств для применения на газовых одоризаторах распределительных станций и перспективных установках, входящих в состав пунктов кустовой одоризации природного газа, соответственно. Испытания дозаторов на специально разработанном и изготовленном для этих целей экспериментальном стенде на модельных компонентах (воздух, вода) подтвердили функциональные характеристики устройств, а именно соответствие порции рабочей жидкости, поступающей из дозатора, задаваемой норме одоризации на нормальный кубометр газа; правильность выбора сопротивлений гидравлического и газового дросселей; объемов баллона-

компенсатора, баллона – дозатора, разделительного баллона; размеров уравнивающей трубки.

Описанные в работе дозирующие устройства реализованы в одоризаторах УОГ 05М/1 и УОГ 05М/2, которые прошли комплекс приемочных испытаний и рекомендованы в серийное производство.

Список литературы

- [1]. Новиков А.В., Новиков В.И., Помылев В.А., Рахматуллин Н.М., Рубинский М.И., Сивочалов А.Ю., Томак В.И. Способ дозированной подачи жидкости и устройство для его реализации. Пат. 2150319 Российская Федерация. 1999. 11 с. Заявка №99119078. Оpubл. 10.06.2000.
- [2]. Абдуллин Н.М., Антонов Ю.В., Есин Ю.И., Клищевская В.М., Мкртычев Э.А., Новиков А.В. Способ автоматической подачи одоранта газа в газопровод и устройство для его реализации. Пат. 2381415 Российская Федерация. 2008. Бюл. № 3. 10 с. Заявка №2008149920. Оpubл. 10.02.2010.
- [3]. Вольский Э.Л., Россеев Н.И., Сирота В.И., Кондратьев Ю.П. Повышение промышленной безопасности и эффективности одоризации природного газа на ГРС // Газовая промышленность. 2001. Март. С. 67-69.
- [4]. Новиков В.И., Новиков А.В., Чернов В.А., Есин Ю.И., Клищевская В.М., Цыбулько Н.И. Разработка и испытания автоматического одоризатора природного газа с пневматическим дозатором // Материалы отраслевого совещания «Эксплуатация, диагностика, проектирование и изготовление распределительных станций магистральных газопроводов». М: ООО «ИРЦ Газпром». 2005. С. 46-51.
- [5]. Новиков А.В., Шабля С.Г., Фроимчук С.М., Есин Ю.И., Клищевская В.М., Данильянц И.А., Абдуллин Н.М., Скачков В.А. Опыт использования промежуточной емкости для заправки баллонов с токсичными компонентами // Территория нефтегаз. 2009. № 10. С. 22 – 27.