

## Малогабаритный вентиль высокого давления

Ю.Ф. Кияченко\*, В.Э. Поднек

Институт проблем нефти и газа РАН, г. Москва

E-mail: \*kiyatchenko@mail.ru

**Аннотация.** Разработана и испытана простая конструкция малогабаритного вентиля высокого давления, продемонстрировавшая надежную и устойчивую работу в интервале температур 0–110 °С при давлениях до 30 МПа. Описываемая конструкция вентиля может быть полезна для использования в теплофизической аппаратуре при предъявляемых к ней требованиях малых габаритов и малого веса.

**Ключевые слова:** вентиль, высокое давление, малый размер и вес, плавающая игла, резино-фторопластовое уплотнение.

**Для цитирования:** Кияченко Ю.Ф., Поднек В.Э. Малогабаритный вентиль высокого давления // Актуальные проблемы нефти и газа. 2020. Вып. 3(30). С. 86–92. <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2020-30.art8>

При создании экспериментальной аппаратуры часто возникает необходимость в ventилях высокого давления небольшого размера и веса. В данном случае такая потребность изначально появилась при разработке оптической ячейки [1] для исследования фазового поведения углеводородных смесей в околокритической области [2]. По оптическим и тепловым соображениям ячейка должна иметь малый размер, а для возможности пользоваться аналитическими весами при определении массы находящегося в ячейке флюида – малый вес. Соответственно, и вентиль, являющийся частью ячейки, должен иметь небольшие габариты и массу. Предполагается эксплуатация ячеек и, соответственно, ventилей в интервале температур 0–110 °С при давлениях до 30 МПа.

Конструкция разработанного авторами ventиля, удовлетворяющего этим требованиям, представлена на рис. 1.

Поскольку ставилась задача максимально упростить и удешевить конструкцию, при изготовлении ventиля были исключены такие операции, как термическая обработка и шлифовка. Для этого иглы (1) были сделаны сборными, состоящими из запорной части (шпильки, по терминологии Д.С. Циклиса [3]) и резьбовой втулки. Запорные части изготовили из закаленных и отшлифованных заводским способом цилиндрических фрез (сталь Р6М5) диаметром 3 мм. Конические поверхности вытачивались на токарном станке широко доступными сейчас эльборовыми резцами, позволяющими обрабатывать закаленную сталь. После токарной обработки эти поверхности полировались шлифовальными шкурками Р400–Р3000 без пропуска номеров. Резьбовые втулки были изготовлены из пластичной стали 12Х18Н10Т, позволяющей производить сварку с закаленной сталью иглы. Сборка производилась с помощью лазерной сварки.

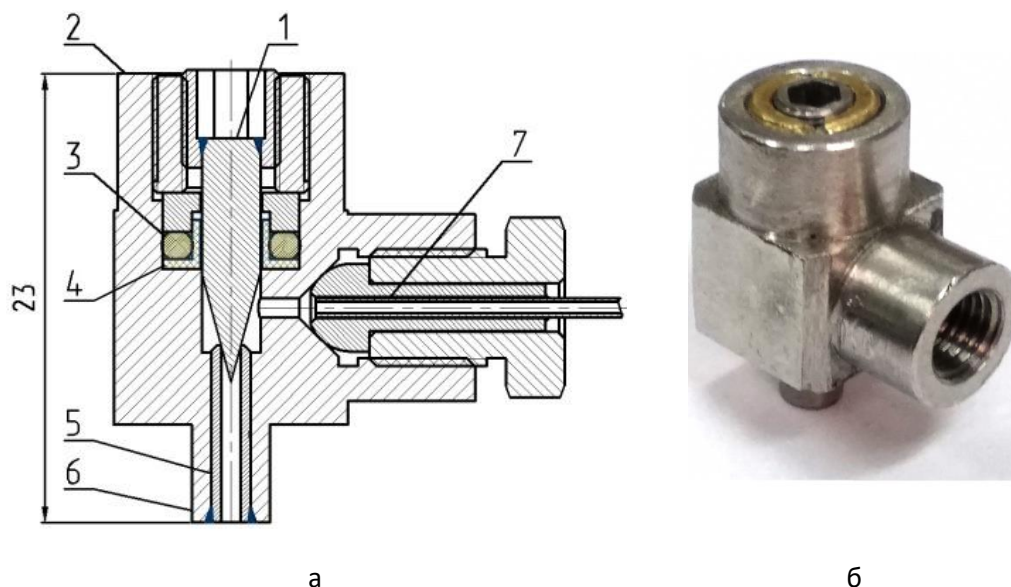


Рис. 1. Конструкция (а) и внешний вид (б) вентиля

Авторы отказались от традиционной конфигурации иглы со штоком и маховичком [3]. Вместо этого, в резьбовой втулке было сделано внутреннее шестигранное отверстие для имбусового ключа, которым игла и приводилась во вращение. Это позволило существенно уменьшить длину иглы и вписать ее в габариты корпуса вентиля (см. рис. 1).

Достоинством конструкции является то, что она позволяет работать с вентилем, когда оптическая ячейка находится в рабочем положении внутри термостата. Для этого крышки блоков термостата имеют сквозное осевое отверстие, через которое проходит имбусовый ключ соответствующей длины.

Корпус вентиля (2) изготовлен из нержавеющей стали 12Х18Н10Т. Первоначально [1] корпус являлся и седлом иглы, однако впоследствии в качестве седла (5) использовался отрезок нержавеющей капилляра, сваренный в корпус вентиля.

Следует отметить, что это упростило изготовление корпуса.

Сверление тонкого (диаметром 1 мм) отверстия седла в глубине детали при высоких требованиях к соосности было определенной проблемой. Сверление же отверстия под капилляр с внешним диаметром 2 мм проблем не вызывало.

Не маловажно, что такая конструкция позволяет производить ремонт вентиля при повреждении седла.

В отличие от обычной [3] сальниковой набивки из фторопластовых колец, было использовано комбинированное, резино-фторопластовое уплотнение. Резиновое кольцо (3) в этой конструкции аккумулирует упругую энергию, обеспечивая постоянное прижатие фторопластового элемента (4) к соответствующим поверхностям.

Конструкция обладает несколькими достоинствами.

Во-первых, благодаря малой длине уплотнения (в данном случае это 3,5 мм), она дает возможность значительно уменьшить длину иглы, а, следовательно, и вентиля.

Во-вторых, позволяет сохранять герметичность уплотнения при взаимных деформациях элементов вентиля, сделанных из разнородных материалов, в рабочем диапазоне давлений и температур. Благодаря такой конструкции уплотнения иглу можно вынимать и вставлять, не трогая сальниковое уплотнение, то есть можно использовать иглу как пробку ячейки, что удобно для обслуживания ячейки и контроля за состоянием иглы без разборки ячейки и вентиля. Можно, например, вводить через открывающееся отверстие иглу шприца для промывки ячейки.

Заметим, что для обычного набивного сальникового уплотнения [3] извлечение иглы приводит, как правило, к необходимости переборки сальника.

Для приваривания к ячейке вентиль имеет присоединительный патрубок (6). Соединение с системой заполнения осуществляется с помощью уплотнения «металл-металл» стандартной конфигурации «сфера – внутренний конус» (7).

При многих достоинствах в процессе эксплуатации у вентиля обнаружился существенный недостаток.

Многочисленные открытия вентиля ячейки [1] при выпусках образца приводили к быстрому изнашиванию седла вентиля. Опыт показал [2], что вращательное «затирающее» движение иглы по седлу при больших усилиях приводит к стиранию материала седла даже для закаленных и отполированных игл. Это хорошо было видно при использовании в качестве материала седла бронзы. Материал седла «намазывался» на иглу, оставляя хорошо видимый желтый след.

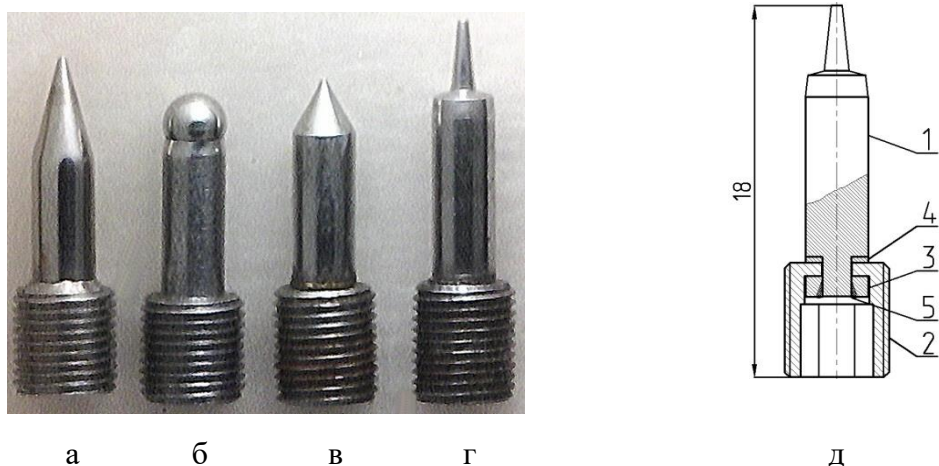
Отсутствие объективного признака закрытия вентиля приводило к интуитивному

желанию «еще подтянуть», чтобы избежать утечек образца из малой по объему ячейки. Это, соответственно, вело ко все большей деформации седла. Последовательная деформация седла приводила к увеличению площади контакта иглы с седлом, а это, в свою очередь, к необходимости прикладывать все большее усилие на ключ для закрытия вентиля. В результате резьбовая втулка с внутренним шестигранным отверстием раздавливалась изнутри и ключ в ней начинал проворачиваться. Это также приводило к заклиниванию втулки в ответной резьбовой детали вентиля. Игла приходила в негодность, ее приходилось менять на новую. Возникновение такой ситуации в середине серии измерений приводило к необходимости разгерметизации ячейки для замены иглы и потере образца.

Было испытано несколько вариантов формы иглы (см. рис. 2): с разной величиной угла конуса, со сферической запорной поверхностью (использовался подшипниковый шарик диаметром 3 мм). Было испытано также вставное седло из бериллиевой бронзы. Все эти изменения не привели к существенному улучшению ситуации.

Решением проблемы стало радикальное изменение конструкции иглы. Новая конструкция иглы приведена на рис. 2г и рис. 2д.

Игла сделана плавающей [3], то есть запорная часть (1) – шпилька – свободно вращается в толкающей резьбовой втулке (2). В результате, игла, удерживаемая от вращения трением в сальнике, совершает лишь возвратно-поступательное движение. При этом устраняется «затирающее» движение иглы по седлу, и игла при многократных открытиях-закрытиях контактирует с одним и тем же местом седла.



**Рис. 2.** Иглы вентиля: а – исходная конструкция, с углом конуса  $30^\circ$ , б – со сферической запорной поверхностью, в – с углом конуса  $60^\circ$ . Вид (г) и конструкция (д) плавающей иглы

Игла имеет двойную коническую поверхность. Для плавного открытия вентиля, необходимого для контролируемого выпуска малых количеств образца из ячейки сделан узкий конус с углом  $12^\circ$ . Запорный, широкий конус с углом  $150^\circ$  позволяет плотно запирать вентиль без существенной деформации седла. Большая площадь соприкосновения при этом обуславливает большое усилие до возникновения пластической деформации седла, игла «упирается» в седло. Этот момент, означающий достижение закрытого положения вентиля, достаточно четко ощущается оператором. Третья коническая поверхность иглы, видимая на рисунках, играет вспомогательную роль. Она предотвращает перекрытие бокового отверстия вентиля телом иглы.

Для устранения люфта шпильки в резьбовой втулке (2), приводящего к рывкам запорной части (1) при открывании вентиля, и, соответственно, нежелательному резкому его открытию, конструкция снабжена пружинным элементом (4) в виде профилированной шайбы из бериллиевой бронзы, обеспечивающей подпружиненность

конструкции иглы во время работы. При сборке иглы конструкция сжималась в приспособлении, пружина максимально деформировалась, и производилась лазерная сварка иглы (1) с шайбой (3) из нержавеющей стали 12Х18Н10Т.

Заметим, что в этой конструкции шпилька иглы (1) сваривается не с резьбовой втулкой (2), а с дополнительной шайбой (3), так что отпала необходимость делать резьбовую втулку из мягкой нержавеющей стали. Она изготавливается из стали У8А и подкаливается для увеличения прочности и предотвращения пластичности. Таким образом, отпала упомянутая выше неприятная проблема деформации втулки при затягивании иглы, приводящей в случае втулки из нержавеющей стали к быстрой ее порче.

В качестве заготовок для игл этой конструкции вместо фрез мы использовали более дешевые и лучше обработанные подшипниковые ролики из стали ШХ15. В остальном технология осталась та же, ролики обрабатывались на токарном станке эльборовыми резцами, конические поверхности доводились шлифовальными шкурками.

Поскольку изменение касалось только конструкции иглы, сохранившей те же главные размеры, что и в первоначальном варианте [1], модернизация вентиля касалась, в сущности, только замены иглы.

Описываемые вентили использовались авторами в составе оптических ячеек [1] при проведении большого по объему экспериментального исследования фазового равновесия углеводородных систем в области температур 0–110 °С и давлений до 30 МПа. Ячейки имели небольшой объем 3,2–3,4 см<sup>3</sup>. С одной загрузки (примерно 1,2 г, 30 МПа) последовательными выпусками образца (по 20–25 мг) выполнялись измерения на серии (порядка 40) изохор. Надежная и устойчивая работа вентиля с новой конструкцией иглы позволила производить выпуски с требуемой точностью и сохранять герметичность ячейки в течение всего процесса измерения. После проведения нескольких серий измерений (более сотни открытий-закрываний) вентиль остался в рабочем состоянии.

В последних конструкциях оптических ячеек [4], содержащих встроенный датчик давления, вентиль позволил выполнять еще более тонкие операции выпуска. Отслеживая изменение давления в ячейке при очень малом открытии вентиля, можно контролируемо выпускать по 3–5 мг образца и менее (0,25–0,5% от общего количества).

Это позволило проводить очень подробные исследования, в частности, в окрестности критической точки смеси.

### Выводы

Разработана простая и надежная конструкция малогабаритного вентиля высокого давления. Габариты вентиля – 12×18,5×23 мм<sup>3</sup>, масса около 18 г. Исследование на предельное давление для вентиля не проводилось. Оценки прочности элементов конструкции вентиля [5] показывают, что по отношению к величине 30 МПа, при которой эксплуатировалась ячейка, вентиль имеет большой запас.

Конструкция вентиля оказалась очень гибкой, на ее базе были созданы модификации для других применений; для построения системы заполнения небольших баллонов-пробоотборников и др.

Авторы благодарны Д.Н. Астрову, предложившему конструкцию резино-фторопластового уплотнения; В.Н. Валякину – за постоянные ценные обсуждения, в частности, за информацию об испытанной им конструкции двухконической иглы; А.М. Ланцову, безвозмездно выполнявшему для нас лазерную сварку деталей конструкции вентиля, а также И.К. Юдину – за постоянный интерес к работе.

*Статья написана в рамках выполнения государственного задания (тема «Исследование термодинамических свойств углеводородных смесей, моделирование гидротермодинамических, физико-химических и геомеханических процессов в геосредах с целью повышения эффективности разработки трудноизвлекаемых запасов нефти и газа», № АААА-А19-119030690057-5).*

### Литература

1. Кияченко Ю.Ф., Поднек В.Э. Простая оптическая ячейка высокого давления для экспериментального изучения околокритического фазового поведения модельных и природных углеводородных смесей // Актуальные проблемы нефти и газа. 2017. Вып. 3(18). С. 15. <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2017-18.art15>

2. Воронов В.П., Кияченко Ю.Ф., Поднек В.Э. и др. Оптический метод изучения фазового поведения околокритических углеводородных флюидов // Вести газовой науки. 2018. № 5(37). С. 201–211.
3. Циклис Д.С. Техника физико-химических исследований при высоких и сверхвысоких давлениях М.: Химия, 1976. 432 с.
4. Кияченко Ю.Ф., Поднек В.Э., Сирота А.С. и др. Инструментальный оптический метод изучения околокритического фазового поведения модельных и пластовых углеводородных флюидов // Актуальные вопросы исследования нефтегазовых пластовых систем: Сб. докл. III Международной научно-практической конференции. М.: Газпром ВНИИГАЗ, 2020. С. 864–886.
5. On-line расчеты на прочность. <http://www.xn--m1abbbfjh0bzc.xn--p1ai/> (Дата обращения 25.11.2020).

## Miniature high pressure needle valve

**Yu.F. Kiyachenko\***, **V.E. Podnek**

Oil and Gas Research Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow

E-mail: \*kiyatchenko@mail.ru

**Abstract.** A simple and miniature high pressure needle valve has been designed and tested. The valve has shown reliable and stable operation at the temperature range 0–110 °C and pressure up to 30 MPa. This valve design will be useful for devices and setups when small size and small weight are needed.

**Keywords:** needle valve, high pressure, small size and weight, non-rotating stem, rubber-teflon sealing.

**Citation:** *Kiyachenko Yu.F., Podnek V.E. Miniature high pressure needle valve // Actual Problems of Oil and Gas. 2020. Iss. 3(30). P. 86–92. <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2020-30.art8> (In Russ.).*

### References

1. *Kiyachenko Yu.F., Podnek V.E. Simple high-pressure optical cell for experimental investigation of near-critical hydrocarbon mixtures // Actual Problems of Oil and Gas. 2017. Iss. 3(18). P. 15. <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2017-18.art15> (In Russ.).*
2. *Voronov, V.P., Kiyachenko Yu.F., Podnek V.E. et al. An optical method for studying phase behavior of the near-critical hydrocarbon fluids // Vesti Gazovoy Nauki. 2018. No. 5(37). P. 201–211. (In Russ.).*
3. *Tsiklis D.S. Handbook of techniques in high-pressure research and engineering / Transl. by A. Peabody. New York: Plenum Press, 1968. 504 p.*
4. *Kiyachenko Yu.F., Podnek V.E., Sirota A.S. et al. Instrumental optical procedure of near-critical phase behavior investigation of model and natural hydrocarbon fluids // Actual Issues in the Study of Oil and Gas Reservoir Systems: Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Conference. Moscow: Gazprom VNIIGAZ, 2020. P. 864–886. (In Russ.).*
5. On-line strength calculations. <http://www.xn--m1abbbfjh0bzc.xn--p1ai/> (Accessed on 25.11.2020). (In Russ.).