

Новый подход к оценке герметичности твердых шероховатых поверхностей  
запорной трубопроводной арматуры

С. Н. Гайсин, инженер, С. А. Зайдес, д-р техн. наук.

*Иркутский национальный исследовательский технический университет,  
г. Иркутск*

Выполнен анализ герметичности твердых шероховатых поверхностей затворных узлов трубопроводной арматуры. Установлено, что герметичность запорных сборных единиц зависит не от площади контактных поверхностей, а от наличия непрерывной линии, образованной пятнами контакта. Проведено определение критической удельной площади контакта, когда геометрические границы пятен контакта сливаются в одну линию.

Ключевые слова: трубопроводная арматура, затворный узел, статическое уплотнение.

Запорная трубопроводная арматура, предназначенная для перекрытия потоков жидких и газообразных сред, широко используется в нефтехимических и транспортных трубопроводах, на предприятиях энергетики (ТЭЦ, ГЭС) и других производствах.

Анализ дефектов деталей запорной трубопроводной арматуры показал [1], что, например, на Ангарском нефтеперерабатывающем заводе (НПЗ ОАО «АНХК») около 80 % всех дефектов связано с коррозией уплотнительных поверхностей, 10...15 % дефектов возникает по причине механического износа. На ТЭЦ Иркутского авиационного завода почти 90 % повреждений уплотнительных поверхностей затворов происходит из-за механического износа, около 3 % – вследствие коррозионных процессов [1, 3, 6].

Внутренняя герметичность запорной арматуры оценивается по величине утечек через уплотнение затвора в единицу времени. В большинстве случаев утечки среды через детали и узлы не допускаются, так как эти показатели (наряду с герметичностью) определяют безопасность эксплуатации трубопроводной арматуры [1, 3, 6].

Большое число теоретических работ посвящено утечкам рабочей среды через уплотнения типа *металл – металл* в затворных узлах запорной трубопроводной арматуры (ТА). При контакте между двумя реальными плоскостями образуется пространство сложной конфигурации как в поперечном, так и в продольном сечениях. Межуплотнительное пространство представляют в виде щелевой модели, приведенного зазора, пористого тела, набора капилляров, перколяционных и конечноэлементных моделей [2, 4, 5 и др.].

Таким образом, в запорной арматуре по существующей оценке герметичности твердых шероховатых поверхностей абсолютно плотного состояния практически не бывает. В затворе ТА даже при закрытом положении

есть щели или каналы, через которые проходит жидкость или газ (утечка). Следовательно, плотное состояние фактически является открытым, только со значительно меньшим объемом рабочей среды, проходящей через замок затвора. В этом случае параметром плотного состояния является масштаб, т.е. относительная величина потока, или его обратная величина – внутренняя герметичность.

Цель данной работы – на основании анализа совместного взаимодействия твердых контактных поверхностей затворного узла, движения сплошных сред, взаимодействия поверхностей со средой, предложить новый подход для оценки герметичности твердых шероховатых поверхностей запорной трубопроводной арматуры.

**Условие герметичности запорной арматуры.** Рассмотрим некоторые вопросы плотного состояния в процессе закрывания затвора с идеальной жидкостью (жидкостью с нулевыми массой и вязкостью). Будем считать, что в трубе происходит одномерное стационарное течение идеальной жидкости без энергетических потерь.

Условие неразрывности потока (через все сечения трубы в единицу времени проходят равные объемы жидкости):

$$S_1 v_1 = S_2 v_2, \tag{1}$$

где  $S_1, S_2$  – площади в разных сечениях трубы;  $v_1, v_2$  – скорости в этих сечениях.

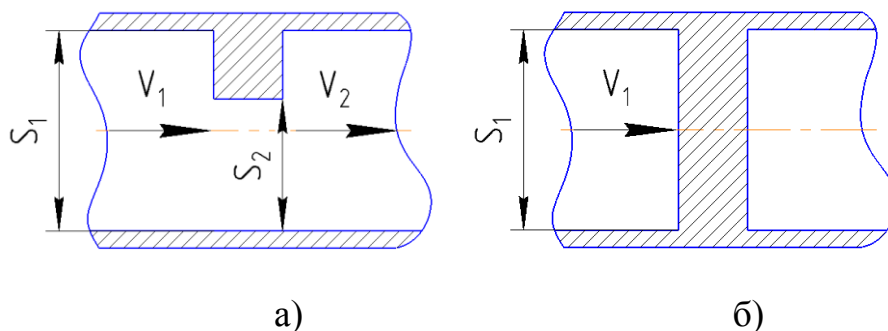


Рис. 1. Схема истечения жидкости в трубе при изменяющемся сечении трубы (а) и полностью перекрытом сечении (б).

Таким образом, в любом месте трубы объём проходящей жидкости не зависит от сечения. Если сечение закрытого затвора не равно нулю, то через него проходит тот же самый поток, что и через трубопровод, только с большей скоростью. И только когда сечение действительно равно нулю – поток скачкообразно прекращается, и обеспечивается плотное соединение. В этом случае будем считать, что закрывание – это предельный случай, представляющий собой «разрыв неразрывного потока». Итак, открывание и закрывание затвора соответствуют смыканию и размыканию уплотнительных границ (поверхностей).

Физическая картина работы затвора в целом на идеальной жидкости существенно отличается от типовых представлений, построенных на основе гидродинамики. Работа затвора существенным образом зависит от свойств рабочей жидкости.

Рассмотрим процесс статического уплотнения (запирания) запорной арматуры, который происходит путем формирования новой геометрической границы среды. Место пересечения границ среды представляет собой уплотнительную поверхность (по определению). Пересечение имеет размерность на единицу меньше размерности пересекающихся границ, в случае трехмерной среды и двумерных границ пересечение будет иметь одно измерение (рис. 2).

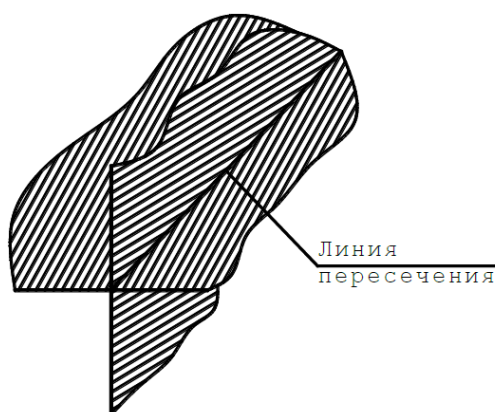


Рис. 2. Схема пересечения плоскостей

Таким образом, в случае трехмерной среды уплотнительной поверхностью является одномерная линия, а не двумерная поверхность. Статическое уплотнение обеспечивается на бесконечно узком участке. Процесс уплотнения при контакте двух уплотнительных поверхностей запорной арматуры теоретически сводится к образованию замкнутой линии уплотнения (геометрические границы пятен контакта сливаются в одну узкую полосу). В этом случае будем иметь две линии уплотнения, причем вторая линия не влияет на уплотнение затворного узла (рис. 3).



Рис. 3. Условная межуплотнительная поверхность до и после приложения запирающего усилия:

*a* – режим протекания (неплотное запираение); *б* – режим плотного запираения

При статическом уплотнении для трехмерного потока фактически участок контакта двух поверхностей будет представлять собой непрерывную цепочку из хаотически разбросанных пятен контакта. Следовательно, запираение зависит не от площади затвора, а только от критической доли пятен контакта. Поверхности затворов разной площади будут запирают одинаково при достижении на них критической площади пятен контакта. Именно от критической площади пятен контакта, задаваемой деформацией макро- и микроотклонений при запираении, зависит качество уплотнения. Для статического уплотнения качество уплотнения носит дискретный характер – либо есть, либо нет. Таким образом, задача создания уплотнения сводится не только к минимизации функциональных метрических параметров, но и к нахождению способа обеспечения критического отношения площади пятен контакта к площади запорной поверхности.

**Определение критической удельной площади контакта.** При заданных условиях уплотнения определим критическую удельную площадь контакта. Функция распределения Гаусса симметрична относительно математического ожидания (в данном случае - нуля), т. е.  $p(h) = p(-h)$ .

$$\int_{-\infty}^{t_{кр}} p(h) dh = \int_{\infty}^{t_{кр}} p(h) dh , \quad 2)$$

По условию нормировки вероятность того, что величина  $h$  окажется во всем интервале, равна 1 (100%). То есть:

$$\int_{-\infty}^{\infty} p(h) dh = 1 = \int_{-\infty}^{t_{кр}} p(h) dh + \int_{t_{кр}}^{\infty} p(h) dh = 2 \int_{-\infty}^{t_{кр}} p(h) dh , \quad 3)$$

отсюда

$$2 \int_{-\infty}^{t_{кр}} p(h) dh = 1 , \quad 4)$$

или

$$\int_{-\infty}^{t_{кр}} p(h) dh = \frac{1}{2} = 0,5 . \quad 5)$$

Таким образом, не накладывая ограничения на случайные отклонения, как только пятно контакта по площади станет равным 0,5 от общей площади контактной поверхности – линия замкнется. Здесь так же не учитываются деформации, при которых материал, как бы выдавливается в оставшееся пространство, дополнительно перекрывая каналы. То есть даже при этих условиях, более жестких, для полного статического уплотнения, достаточно площади

контакта равной 0,5 от площади поверхности контакта (реальная площадь поверхности сложной формы еще больше).

Установлено, что статическое плотное соединение (затвор идеальной жидкости) образуется механическим контактным запираением. Представление об уплотнительной поверхности при статическом уплотнении, как одномерной, бесконечно тонкой линии, дает четкий критерий существования такого уплотнения – это непрерывность этой линии. Форма линии не имеет никакого значения. Отсюда, простейший и идеальный случай такой линии – прямая, как результат пересечения двух плоскостей. Именно поэтому реальные затворы, обычно притирают друг к другу, пытаясь обеспечить взаимную «плоскостность».

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1. Для идеальной жидкости и распределения макро- и микроотклонений по случайному закону порог запираения среды будет определяться критическим отношением пятна контакта к площади уплотнения. Полного контакта всей поверхности при этом не требуется.

2. Запирание затвора в действительности осуществляет линия, огибающая участки контакта, слившиеся в одну цепь. Она - истинная уплотняющая поверхность затвора, т.е. бесконечно тонкая линия.

3. С учетом изложенного материала необходимы дополнительные технологические исследования, по обеспечению внутренней герметичности затворов трубопроводной арматуры.

#### **Библиографический список**

1. Гайсин С.Н., Зайдес С.А. Условие внутренней герметичности затворов трубопроводной арматуры // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2014. № 6 (89). С. 45– 49.

2. Гуревич Д.Ф. Основы расчета трубопроводной арматуры. М.-Л.: Машгиз. 1962. 411 с.

3. Зайдес С.А., Гайсин С.Н. Восстановление уплотнительной поверхности затворных узлов трубопроводной арматуры // Журнал. Ремонт, восстановление, модернизация. 2017. №11. С. 15–21.

4. Калашников В.А. Оборудование и технологии ремонта трубопроводной арматуры. – М.: Машиностроение, 2001. -232 с., ил.

5. Сейнов С.В. Трубопроводная арматура. Исследования. Производство. Ремонт. М.: Машиностроение, 2002. 392 с.

6. Zaides S.A., Gaisin S.N. Creating sealing surface of shutoff assembly of pipeline fittings. Chemical and Petroleum Engineering. 2017. С. 1-5.