

Проблемы освоения задвижек стальных клиновых и как их решить.

Опыт других предприятий

В прошлом номере журнала («СФЕРА. Нефть и Газ» 5/2016) мы озвучивали проблемы освоения задвижек стальных клиновых и их решения. Во второй части мы бы хотели подробнее рассмотреть выявленные проблемы с помощью сравнения ЗКС разных заводов–производителей.

За основу для изучения были взяты клиновые задвижки других предприятий (табл. 1).

Таблица 1. Предварительный контроль клиновых задвижек.

Обозначение изделия	DN, мм	Pp, МПа	t раб., не более, °С	Класс герметичности затвора по паспорту	Наибольший момент хода шпинделя вниз при рабочем давлении воздуха, Мх., Нм	Момент закрытия затвора при рабочем давлении, Мз., Нм		Протечки воздуха по затвору при рабочем давлении q, см ³ /мин.
						по пасп.	факт	
Задвижка ЗКС 1	15	16	350	А по ГОСТ 9544-2005	10	28,5	20	0
Задвижка ЗКС 2	15	16	350		10		18	0
Задвижка ЗКС 3	15	16	425	А по ГОСТ 54808-2011	8	Нет данных	1) 29 *	Большая течь 13 (3 мин**) 18 (3 мин**)
							в другом направлении	
Задвижка ЗКС 4	15	16	425	А по ГОСТ 54808-2011	12	Нет данных	4) 8	0 (самоуплотн.) Большая течь 34
							в другом направлении	
Задвижка ЗКС 5	15	16	425	А по ГОСТ 9544-93	Не измерял (ход 3 мм – что-то препятствует)	Нет данных	1) 19,5	0 (1 мин**)
							в другом направлении	
Задвижка ЗКС 6	25	16	350	А по ГОСТ 9544-93	9	Нет данных	2) 29	0 (5 мин**)
							в первом направлении	
Задвижка ЗКС 7	15	5,7–16 в зависим. от t°	455	А по ГОСТ 54808-2011	20	Нет данных	3) 19,5	Большая течь 10 3,5 (5 мин**)
							в другом направлении	
Задвижка ЗКС 8	15	16	425	А по ГОСТ 9544-93	9	Нет данных	1) 50	8
							в другом направлении	
Задвижка ЗКС 9	25	16	350	А по ГОСТ 9544-93	9	Нет данных	2) 50	Большая течь
							в другом направлении	
Задвижка ЗКС 10	15	5,7–16 в зависим. от t°	455	А по ГОСТ 54808-2011	20	Нет данных	1) 50	27
							в другом направлении	
Задвижка ЗКС 11	15	5,7–16 в зависим. от t°	455	А по ГОСТ 54808-2011	20	Нет данных	2) 60	16
							в другом направлении	
Задвижка ЗКС 12	15	5,7–16 в зависим. от t°	455	А по ГОСТ 54808-2011	20	Нет данных	3) 60	29
							в другом направлении	
Задвижка ЗКС 13	15	5,7–16 в зависим. от t°	455	А по ГОСТ 54808-2011	20	Нет данных	1) 29	0 (3 мин**)
							в другом направлении	
Задвижка ЗКС 14	15	5,7–16 в зависим. от t°	455	А по ГОСТ 54808-2011	20	Нет данных	2) 29	0,15 (5 мин**)
							в другом направлении	

* производилось несколько проверок

** происходило угасание протечки. Замер производился по истечении указанного времени.

Термин «большая течь» означает, что наблюдаемая протечка – примерно 4 и более пузырьков в секунду.

Во всех этих задвижках задача герметичности затвора решается не за счет сверхвысокой точности деталей, а за счет двух технологических приемов:

- обеспечение точной ориентации седел рабочим клином, благодаря некоторой свободе базирования седла в корпусе;
- введение в конструкцию элементов податливости (гибкости) седел.

Так на рис.1 показано одно из решений для задвижек малых DN.

В этом случае седла не имеют опорных буртиков. Опорой седла является кромка ступенчатого отверстия, а задний торец седла выполнен вероятно сферическим. Базирование седла в отверстии осуществляется на короткой длине, 3...3,5 мм, благодаря чему седло имеет возможность установиться по клину. Наиболее проблемным моментом кажется то, что вынос седла внутрь имеет большое плечо, и при вдавливании клина перед развальцовкой седло может перекоситься вниз. Эта неприятность решается, вероятно, применением смазки, а может быть и тем, что прижатие клина и оправок осуществляется синхронно.

Кроме того, большое плечо седел при наработке циклов с большим трением может привести к расшатыванию завальцовки и появлению протечки по границе седло-корпус.

На рис. 2 показано решение с введением элементов податливости.

Здесь свобода базирования седел ограничена буртиком на седлах, но сама базирующая площадка в корпусе выполнена достаточно тонкой, благодаря чему она отчасти деформируется под воздействием клина при завальцовке седел, а отчасти прогибается при работе задвижки.

В обоих этих примерах седла не имеют ориентирующих пазов наверху, как у нас. Вместо этого накернены точки, для приблизительной ориентации.

На рис. 3 показано еще одно решение: задние торцы седел приварены к корпусу, но сами седла имеют элементы гибкости, опираясь при этом вероятно сферической поверхностью на конусные фаски корпуса.

Характерно, что в руководствах по эксплуатации во всех случаях указывается отсутствие взаимозаменяемости седел и клина, а также и то, что клин при разборке сборке нельзя переворачивать.

Было решено проверить приобретенные задвижки на наших стендах, в том числе и наработкой циклов.

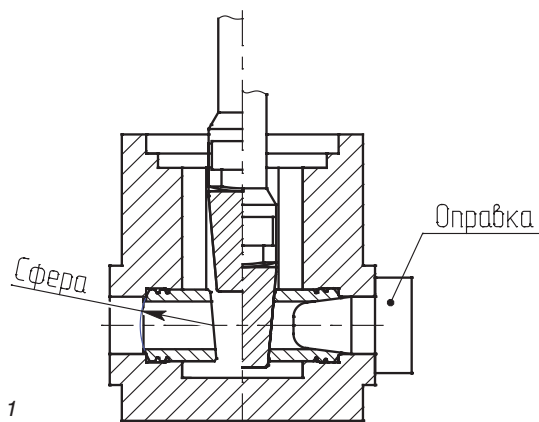


Рис. 1

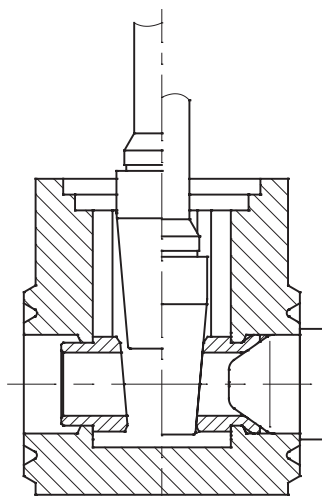


Рис. 2

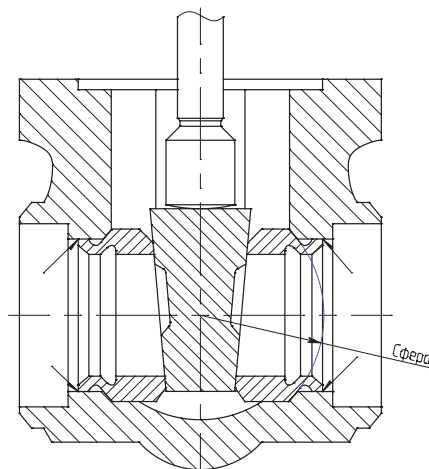


Рис. 3

Результаты испытаний клиновых задвижек

■ Задвижка ЗКС 1

Задвижка ЗКС 1 имеет показатели, указанные в табл. 2.

Наработка циклов осуществлялась вручную с помощью динамометрического ключа с моментом закр. Мз. = 20 Нм при давлении 16 МПа с дросселированием (т.е перепад был меньше 16 МПа). Испытательная среда – воздух.

Таблица 2. Результаты проверки задвижки ЗКС 1 при наработке циклов.

Проверяемый параметр после наработки	Количество циклов					
	10	20	30	40	50	60
Давление воздуха при наработке, МПа	16	16	16			
Момент закрытия затвора при наработке, Мз., Нм	20	20	20			
Момент закрытия затвора при проверке протечки, Мз., Нм	20	20	50			
Протечки по затвору при рабочем давлении воздуха, q, см ³ /мин.	9,5	большая течь	большая течь			



■ Задвижка ЗКС 2

Задвижка ЗКС 2 имеет показатели, указанные в табл. 3.

Сальник специально ослаблен до начала протечки. Это сделано с целью уменьшения влияния изменений трения в сальнике при наработке). Нарботка циклов осуществлялась вручную с помощью динамометрического ключа с моментом закр. Мз. = 18 Нм при давлении 6,5 МПа с дросселированием. Испытательная среда – воздух.

Таблица 3. Результаты проверки задвижки ЗКС 2 при наработке циклов.

Проверяемый параметр после наработки	Количество циклов					
	10	20	30	40	50	60
Давление воздуха при наработке, МПа	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5
Момент закрытия затвора при наработке, Мз., Нм	18	18	18	18	18	29
Момент закрытия затвора при проверке протечки, Мз., Нм	18	18	18	18	18	29
Протечки по затвору при рабочем давлении воздуха, q, см ³ /мин.	10	4,3	4,5	28	31	15

■ Задвижка ЗКС 3

Задвижка ЗКС 3 имеет следующие показатели:

- момент хода вниз при P = 16 МПа, Мх. = 8 Нм;
- момент закрытия при P = 16 МПа, Мз. = 29 Нм;
- протечка по воздуху при P = 16 МПа «большая течь»;
- протечка по воздуху при P = 16 МПа, при Мз. = 50 Нм, q = 13 см³/мин. (угасание 3 мин.);
- протечка по воздуху при P = 16 МПа, при Мз. = 29 (повторно) Нм, q = 18 см³/мин. (угасание 3 мин.).
Подача воздуха в другом направлении:
- протечка по воздуху при P = 16 МПа, при Мз. = 8 Нм, q = 0 (имеет место самоуплотнение);
- протечка по воздуху при P = 16 МПа при Мз. = 29 Нм, большая течь (5...7 пузырьков в секунду).
Самоуплотнение больше не наблюдается;
- протечка по воздуху при P = 16 МПа при Мз. = 50 Нм, q = 34 см³/мин.

Нарботка циклов при этих результатах не производилась.

■ Задвижка ЗКС 4

Задвижка ЗКС 4 имеет следующие показатели:

- момент хода вниз при P = 16 МПа, Мх. = 11...12 Нм.
Проверена герметичность затвора в двух направлениях (условно «1-2» и «2-1»):
При подаче 16 МПа в направл. «1-2»:
- момент закрытия минимальный при P = 16 МПа, Мз.min. = 19,5 Нм; при этом протечка q = 0 (угасание 1 мин.).
При подаче 16 МПа в направл. «2-1»:
- момент закрытия при P = 16 МПа, Мз. = 29 Нм, протечка, q = 0 (угасание 5 мин.). При меньших значениях Мз. – протечка.
- повторно закрыл моментом Мз. = 29 Нм, протечка, q = 27 см³/мин. (угасание 5 мин.).
Повторно изменил направл. подачи на «1-2»:
- при Мз. = 19,5 Нм, большая протечка (угасания нет).
- при Мз. = 22,5 Нм, протечка, q = 10 см³/мин.
- при Мз. = 29 Нм, протечка, q = 3,5 см³/мин. (угасание 5 мин.).

■ Задвижка ЗКС 5

Задвижка ЗКС 5 имеет следующие показатели:

- При подаче 16 МПа в направл. «1-2»:
- момент закрытия при P = 16 МПа Мз. = 50 Нм, протечка, q = 8 см³/мин.
При меньших значениях Мз. – большая протечка.
При подаче 16 МПа в направл. «1-2» Мз. – большая протечка. Вскрытие показало отвратительный вид деталей (клина, корпуса).

■ Задвижка ЗКС 6

Задвижка ЗКС 6 имеет следующие показатели

- момент хода вниз при P = 16 МПа, Мх. = 9 Нм;
При подаче 16 МПа в направл. «1-2»:
- момент закрытия при P = 16 МПа, Мз. = 50 Нм, протечка, q = 27 см³/мин.
При меньших значениях Мз. – большая протечка;
- момент закрытия при P = 16 МПа, Мз. = 60 Нм, протечка, q = 16 см³/мин.
При подаче 16 МПа в направл. «2-1»:
- Мз. = 60 Нм, протечка q = 29 см³/мин.

■ Задвижка ЗКС 7

Задвижка ЗКС 7 имеет следующие показатели:

- момент хода вниз при P = 16 МПа, Мх. = 20 Нм;
- момент закрытия при P = 16 МПа, Мз. = 29 Нм;
- протечка по воздуху при P = 16 МПа, q = 0 (угасание 3 мин);
Срыв на открытие нормальный, почти без прихватывания. После срыва – открытие на 2 оборота: q = 0.
- повторное закрытие: протечка по воздуху при P = 16 МПа, q = 1 пуз./мин. (55 сек.) (угасание 5 мин.);

Примечание: Термин угасание 5 мин. означает, что протечка вначале гораздо больше. Замер производится по истечении 5 мин. Угасание протечки может происходить и дальше по экспоненте, приближаясь к какому-то значению.

Все эти результаты показывают, что задвижки очень быстро, после нескольких срабатываний на сухом воздухе, без смазки теряют свою герметичность затвора по классу А. Притертая поверхность клина и седла слегка повреждается от контактных нагрузок, а главное – от скольжения после контакта. Любой клиновой затвор – это всегда сочетание нормальных и касательных напряжений. Чем больше коэфф. трения, тем больше касательные напряжения. Чем меньше угол клина, тем больше касательные напряжения. Именно касательные напряжения, т.е. сдвиг, вызывают повреждение поверхности.

В стандарте ЦКБА 068-2008 (затворы запорных клапанов с уплотнением «металл по металлу») в табл. 11 приведены предельно допускаемые нормальные контактные напряжения. Так для наплавов ЦН-6Л, ЦН12М и др. при перемещении без вращения (т.е. без скольжения) q доп. = 800 МПа. При перемещении с вращением q доп. = 80 МПа. В нашем случае контактные напряжения могут достигать, а в локальных зонах контакта и превышать значение 80 МПа.

Требуется высокая твердость, отсутствие «схватывания», что для наших сталей может давать только смазывающие свойства среды. Замеры твердости клина в задвижке ЗКС 1 показали 28, 33, 32 НГс (три замера в трех близко расположенных точках). Это очень низкая твердость для клина.

Что касается сведений из паспортов, то, вероятно, если в паспорте указана газообразная среда, то она обязательно должна содержать пары влаги, масла и т.п.

Было решено проверить задвижку ЗКС 7 **наработкой циклов водой** при нормальной температуре и рабочем давлении Р = 16 МПа. Для этого был использован стенд пневмогидравлический с гидроаккумулятором Ш5046. Нароботка циклов проводилась вручную с небольшим расходом воды, который регулировался сбросником после изделия. При испытательной среде – вода ЗКС 7 имеет следующие показатели, указанные в табл. 4.

Таблица 4. Результаты проверки задвижки ЗКС 7 при наработке циклов водой норм. температуры. (При наработке обеспечивался небольшой расход воды).

Проверяемый параметр после наработки	Количество циклов						
	20	36	75		100		
Давление воды при наработке, МПа	16						
Момент хода вниз при рабочем давлении, наибольш., Мх., Нм	19,5	12	12		12		
Момент закрытия затвора при наработке, Мз., Нм	25	20	20		20		
Момент закрытия затвора при проверке протечки, Мз., Нм	25	25	20	25	20	25	28
Протечки по затвору по воздуху при рабочем давлении, q, см ³ /мин.	0	0 1мин* 5мин**	20...30	5 1мин* 20мин**	3	2	0 1мин* 10мин**
Протечки по затвору по воде при рабочем давлении, q, см ³ /мин.	Не провер.	Не провер.	Не провер.	Не провер.	0	0	0

* время измерения (наблюдения протечки).

** происходило угасание протечки. Замер производился по истечении указанного времени.

После наработки 100 циклов водой была произведена наработка 100 циклов воздухом норм. температуры давлением 16 МПа. Перед испытанием задвижка была просушена потоком воздуха и снова проверена на герметичность затвора. Подача воздуха в том же направлении, что и подача воды.

Таблица 5. Результаты проверки задвижки ЗКС 7 при наработке циклов воздухом норм. температуры.

Проверяемый параметр после наработки	Количество циклов														
	20			40			60			80			100		
Давление при наработке, МПа	16														
Момент хода вниз при рабочем давлении, наибольш., Мх, Нм	8														
Момент закрытия затвора при наработке, Мз., Нм	20														
Момент закрытия затвора при проверке протечки, Мз., Нм	20	25	28	20	25	28	20	25	28	20	25	28	20	25	28
Протечки по затвору по воздуху при рабочем давлении, q, см ³ /мин.	0 3мин* 5мин**	Не провер.	Не провер.	0 1мин* 10мин**	Не провер.	Не провер.	8,5 5мин**	5,3	4 (0 60мин**)	24 5мин**	8,4	2,5 (0 10мин**)	25 5мин**	8,4	4 5мин**

* время измерения (наблюдения протечки)

** происходило угасание протечки. Замер производился по истечении указанного времени

Если при нулевой протечке время наблюдения не указано, значит нуль был «абсолютный» (пузырек не рос).

Если указана протечка и в скобках 0, значит через указанное время протечка исчезла.

Дополнительно было проверено:

- герметичность затвора в противоположном направлении, давление 16 МПа при Мз. = 19,5 Нм и тв = 3 мин., q = 0 абс.
- герметичность по сальнику – сальник заметно трювил.



Выводы:

- После наработки водой при норм. температуре 100 циклов задвижка ЗКС 7 сохраняла герметичность по классу А, но при повышенном моменте $M_z = 28$ Нм (в паспорте не указан).
- После наработки воздухом при норм. температуре 100 циклов в том же направлении подачи задвижка перешла в класс АА по ГОСТ Р 54808-2011 (для DN15 при $P = 16$ МПа по воздуху, $q_{max} = 4,7$ см³/мин.), так же при моменте $M_z = 28$ Нм.
- При моменте закрытия $M_z = 20$ Нм разница в протечке после наработки водой и затем воздухом была значительная.
- При наработке циклов ни по воде, ни по воздуху не наблюдалось роста момента хода на шпинделе. Отсутствовал характерный скрип графитного сальника.
- После испытаний задвижка была разобрана и замерена твердость клина в двух точках на боковой грани:
1) 43,5 HRC, 2) 45 HRC.

Было решено проверить задвижку ЗКС 3 **наработкой циклов водой** при нормальной температуре и рабочем давлении $P_r 16$ МПа.

Перед наработкой проверены протечки по затвору:

- При $P = 0,6$ МПа (воздух), $M_z = 22,5$ Нм (-0,25 оборота), $t_v = 5$ мин., $q = 0,6$ см³/мин.
- При $P = 16$ МПа (воздух), $M_z = 22,5$ Нм (-0,25 оборота), $t_v = 5$ мин., $q = 17,5$ см³/мин.
- При $P = 16$ МПа (**вода**), $M_z = 20$ Нм, $t_v = 5$ мин., $q = 0$.

Примечание: « $M_z = 22,5$ Нм (-0,25 оборота)» означает, что данная задвижка имеет небольшое несовпадение угла клина и седла и при отдаче назад на 0,25 оборота после закрытия указанным моментом, протечка значительно уменьшается. Выше приведены значения протечек именно после такого действия.

Была произведена наработка 25 циклов водой моментом закрытия $M_z = 20$ Нм.

После наработки проверены протечки по затвору:

- При $P = 16$ МПа (воздух), $M_z = 20$ Нм, $t_v = 5$ мин. $q = (36...45)$ см³/мин.
- При $P = 16$ МПа (воздух), $M_z = 28$ Нм, протечка увеличивается и не уменьшается при отдаче назад.
- При $P = 16$ МПа (**вода**), $M_z = 20$ Нм, $t_v = 3$ мин. $q = 0,1$ см³/мин.
- При $P = 16$ МПа (**вода**), $M_z = 22,5$ Нм, $t_v = 3$ мин. $q = 0,05$ см³/мин.
- При $P = 16$ МПа (**вода**), $M_z = 25$ Нм, $t_v = 3$ мин. $q = 0,025$ см³/мин. (для класса С 0,027 см³/мин.).

После испытаний задвижка была разобрана и замерена твердость клина в трех точках на боковой грани:

- 1) 34 HRC, 2) 36 HRC, 3) 40 HRC.

Испытания клиновых задвижек стальных производства МК «Сплав»

Были изготовлены две задвижки DN20 с фиксацией шпинделя от проворота PN16 МПа (Задвижка №1 и Задвижка №2), в которых седла устанавливались по принципу, как показано на рис. 1. Были изготовлены: новые корпуса, седла и клинья. Клин был изготовлен из стали 95X18 и закален до твердости не менее 56,5 HRC. Седла имели наплавку ЦН-12М, а основа была 12X18H10Т. Узел бугеля и шпиндель были использованы от прежних задвижек. При установке седел было применено приспособление, как на рис. 4.

После того, как был достигнут хороший результат, не снимая с приспособления, седла были развальцованы. Перед установкой седел в корпус в канавки корпуса, куда развальцовывается седло, было внесено некоторое количество высокотемпературной смазки. Это сделано для того, чтобы подстраховаться в части герметичности развальцовки. Было решено провести наработку циклов водой при давлении PN. Испытания начаты с задвижки №2.

Предварительные проверки задвижки №2 показали:

- момент хода при $P = 0$, $M_{x0} = 7$ Нм,
 - момент хода при $P = 16$ Мпа, $M_{xp} = 14$ Н (до момента перекрытия затвора),
 - момент закрытия $M_z = 36$ НМ,
 - часть хода от момента начала перекрытия до полного закрытия – 3 оборота (6 мм). *Это, слишком много, и это результат дефекта при изготовлении корпуса.*
- Расстояние между седлами больше, чем положено по КД.*
- протечки в затворе при $P = 16$ МПа в направлении 1-2 $q = 0$ (без угасания),
 - протечки в затворе при $P = 16$ МПа в направлении 2-1 $q = 22$ пуз./мин. = 3,2 см³/мин. (класс АА по ГОСТ Р 54808).

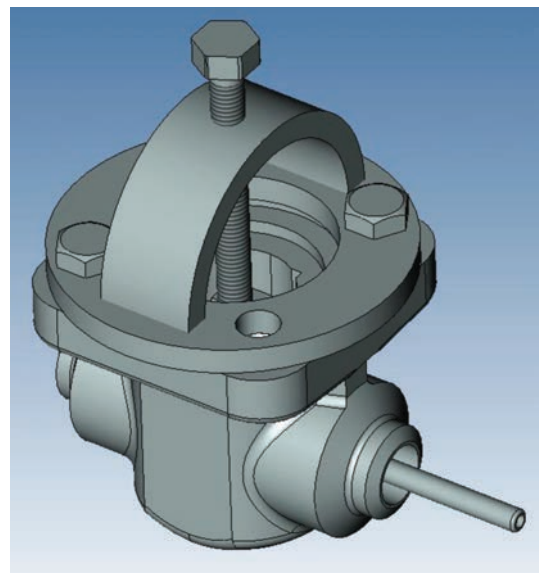


Рис. 4

После этого была начата наработка циклов водой в направлении подачи 1-2 в режиме небольшого дросселирования. Момент закрытия установили $M_z = 28...30$ Нм (наработка выполнялась с помощью электропривода). Давление $P_N = 16$ МПа. Ход был установлен 6 оборотов (12 мм).

Первые же 10–15 циклов обнаружили громкие щелчки при ходе вверх. Щелкал клин в пределах люфта на шпинделе. *Щелчки объясняются наличием вертикального люфта в соединении клина и шпинделя. Имеется неуравновешенная вертикальная составляющая силы от давления на клин, прижатый к выходному седлу. Когда при движении на открытие затвор вскрывается неуравновешенная сила еще остается, а сила трения клина о седло резко уменьшается. Именно это и приводит к скачкообразному, в пределах люфта, перемещению клина вверх.*

Измерение протечек производилось водой давлением 1,1 РН (17,6 МПа) и воздухом давлением РН:

- После 300 циклов протечка по воде $q = 0,065$ см³/мин. (класс СС).
- После 400 циклов протечка по воде $q = 0,04$ см³/мин. (класс СС) *(результат замера зависит от времени выдержки перед замером. Было решено производить замер по истечении 15 мин.)*
- После 550 циклов протечка по воздуху, $P = 16$ МПа, очень большая $q = 410$ см³/мин., что в 4 раза больше, чем класс Д.
- После 700 циклов:
 - протечка по воде $q = 0,017$ см³/мин. (класс С),
 - протечка по воздуху, $P = 16$ МПа, $q = 0$ *(результат странный, но это наблюдали еще 2 человека, кроме меня. Возможно причиной этому был мокрый клин).*
- После 900 циклов протечка по воде $q = 0,038$ см³/мин. (класс СС) через 15 мин. Через 30 мин. $q = 0,03$ см³/мин.
- После 1100 циклов:
 - протечка по воде $q = 0,041$ см³/мин. (класс СС), выдержка 15 мин.,
 - протечка по воде $q = 0,033$ см³/мин. (класс С), выдержка 30 мин.,
 - протечка по воздуху, $P = 16$ МПа, $q = 700$ см³/мин.,
 - протечка по воздуху, $P = 0,6$ МПа, $q = 0$.

Такая большая разница в протечке по воздуху при большом и малом давлении объясняется тем, что при малом давлении заданный момент привода обеспечивает полное закрытие задвижки обеими сторонами клина, а при рабочем давлении запираение среды не происходит.

Как потом показала разборка, имеется существенный износ рабочей стороны затвора и почти полное отсутствие износа на входе. Таким образом, если обеспечивать полный ход клина, затвор запирается в разной степени обеими сторонами, и мы наблюдаем степень герметичности, как суммарное препятствие обеих сторон затвора. При проверке герметичности воздухом, мы практически наблюдаем герметичность изношенной стороны затвора.

Таким образом, большой износ затвора на выходном патрубке еще не означает, что задвижка вышла из строя. Она будет держать по какому-то приемлемому классу герметичности со стороны входа до тех пор, пока износ не приведет к искажению угла между седлами, или расшатываются седла, или клин будет опускаться за допустимые пределы.

Далее была начата наработка 100 циклов на воздухе:

- После наработки 100 циклов воздухом при нормальной температуре:
 - протечка по воздуху, $P = 16$ МПа, $q = 370$ см³/мин.,
 - протечка по воздуху, $P = 0,6$ МПа, $q = 12$ пуз./мин. = $1,7$ см³/мин.,
 - Протечка при подаче в противоположном направлении:
 - по воздуху, $P = 16$ МПа, $q = 48$ см³/мин.,
 - по воздуху, $P = 0,6$ МПа, $q = 0$.
- После этого наработка задвижки №2 приостановлена. Начата наработка водой задвижки №1. Высота подъема, как и в прошлый раз 6 оборотов шпинделя (12 мм), $M_z = 30$ Нм.

Предварительные проверки задвижки №1 показали:

- протечки по воздуху в обоих направлениях при рабочем давлении $q = 0$.
 1. После 400 циклов:
 - протечка по воде $q = 0,041$ см³/мин., выдержка 15 мин.,
 - протечка по воде $q = 0,024$ см³/мин., выдержка 30 мин.,
 2. Пришлось увеличить момент до 32 Нм, т.к. слишком большое и нестабильное трение и клин часто не доходит до самого низа.
 3. После 700 циклов:
 - протечка по воде $q = 0,05$ см³/мин., выдержка 20 мин.

Пришлось увеличить момент до 35 Нм, т.к. нестабильность закрытия продолжается. Трение изношенной стороны клина возросло на 50...70%. Дальнейшая наработка циклов показала, что уверенное опускание клина до контакта с входным седлом происходит при моменте 45...50 Нм. Трение изношенного клина о седло нестабильно. Чтобы добиться полного хода клина при 45 НМ, приходится регулировать перепад, меняя величину расхода на выходе. В таком режиме и была продолжена наработка.

4. После 900 циклов при $M = 45$ (полное закрытие):
 - протечка по воде $q = 0,023$ см³/мин., выдержка 20 мин.,
5. После 1100 циклов при $M = 45$ (полное закрытие):
 - протечка по воде $q = 0,034$ см³/мин., выдержка 30 мин.,

На этом наработка водой задвижки №1 закончена и начата наработка 100 циклов воздухом при нормальной температуре.

После наработки 100 циклов воздухом при нормальной температуре:

- протечка по воздуху, $P = 16$ МПа, $q = 420$ см³/мин., *(при этом никакая выдержка по времени, или увеличение момента на рукоятке не уменьшает этой протечки по воздуху),*
- протечка по воздуху, $P = 0,6$ МПа, $q = 0,8$ см³/мин.,
- протечка по воде при $P = 1,1$ Рр (17,6 МПа), $q = 0,05$ см³/мин., выдержка 20 мин.

После этого была произведена разборка задвижки №1 для осмотра клина и седел, а также для проверки герметичности заделки седел. Седла оказались герметичными. Характер износа рабочей стороны затвора подтвердил, что величина перемещения клина после перекрытия составляет 6 мм.



На рис. 5 и 6 показаны рабочая и противоположная стороны клина задвижки №1 после наработки 1100 циклов на воде + 100 циклов на воздухе при нормальной температуре.

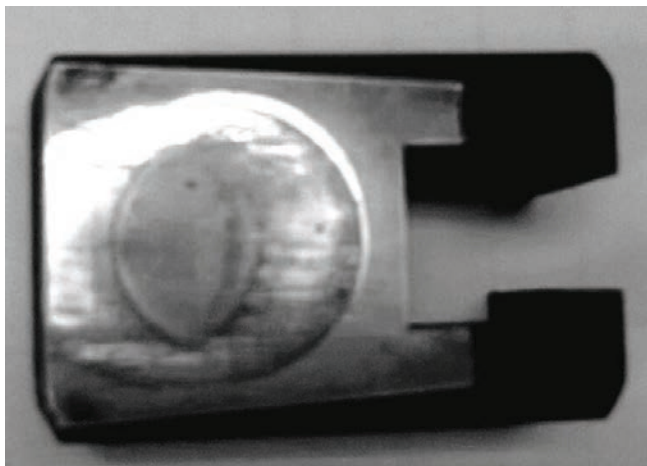


Рис. 5

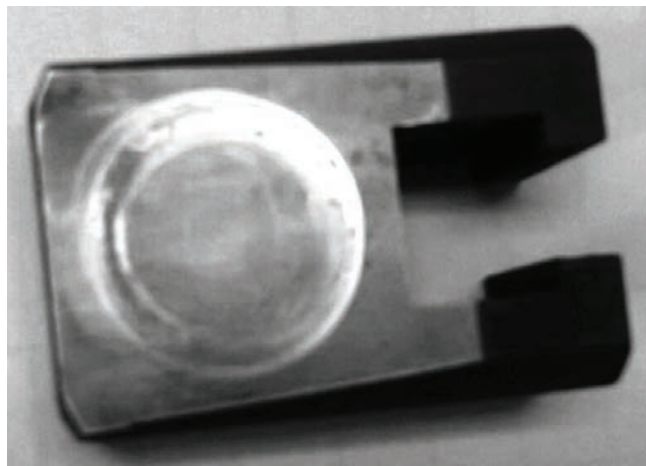


Рис. 6

Далее начата наработка циклов задвижки №2 воздухом при температуре 425°С при давлении 8 МПа. Подача воздуха в том же направлении (1-2). Длительность цикла 3 мин. Момент на закрытие 45 Нм.

Примечание: Попутно была измерена температура двух точек на поверхности задвижки. На конце шпильки крепления стойки $t = 265^{\circ}\text{C}$, на крышке 290°C .

За смену было наработано 153 цикла. Проверка показала:

- по воздуху $P = 0,6$ МПа, $q = 136$ см³/мин.,
 - по воздуху $P = 16$ МПа, бурная течь.
- В обратном направлении (2-1), т.е. давление на не изношенную сторону:
- по воздуху $P = 0,6$ МПа, $q = 7$ пуз./мин. = 1 см³/мин.,
 - по воздуху $P = 1,4$ МПа, $q = 300$ пуз./мин. = 45 см³/мин.

Проверка по воде в направлении 1-2, $Mz. = 45$ Нм, $P = 17,6$ МПа, выдержка 10 мин.: $q = 6$ см³/мин., подача воды в обратном направлении (2-1) при тех же условиях: $q = 0,5$ дел./мин. = 0,005 см³/мин.

При этих результатах испытания задвижки №2 были остановлены.

Далее начата наработка циклов задвижки №1 воздухом при температуре 425°С при давлении 8 МПа. Подача воздуха в том же направлении, что и при наработке водой (2-1). Длительность цикла 3 мин. Момент на закрытие 35 Нм.

Было наработано 222 цикла. Проверка показала (при моменте закрытия $Mz. = 45$ Нм):

- по воздуху $P = 0,6$ МПа, $q = 138$ см³/мин.,
- по воздуху $P = 16$ МПа, бурная течь (не устранимая увеличением момента).

В обратном направлении (1-2), т.е. давление на неизношенную сторону:

- по воздуху $P = 0,6$ МПа, $q = 144$ см³/мин.,
- по воздуху $P = 1,6$ МПа, бурная течь.

При этих результатах испытания задвижки №1 были остановлены.

Проверка по воде в направлении 2-1, $Mz. = 45$ Нм, $P = 17,6$ МПа, выдержка 10 мин.: $q = 0,6$ см³/мин. подача воды в обратном направлении (1-2) при тех же условиях: $q = 0,1$ см³/мин.

Испытания задвижек были остановлены.

На этом этапе можно сделать некоторые выводы:

После наработки нескольких десятков циклов при испытании не смазывающей средой сохранить поверхности затвора в состоянии, обеспечивающем герметичность, невозможно. По крайней мере, при имеющихся параметрах задвижки и параметрах испытаний.

Так, при расчетах, определяя необходимое контактное давление между запирающими поверхностями затвора, которое обеспечивает герметичность при давлении среды, например, 16 МПа, мы получаем значения порядка 20...40 МПа (в зависимости от ширины седла). Исходя из этого и рассчитывается усилие клина и соответственно, момент на рукоятке. Однако такие усилия между поверхностями повреждают их при скольжении без смазки. Коэффициент трения по мере наработки циклов сильно возрастает (на 50–80%). Состояние поверхности уже сильно отличается от изначально притертых.

Так в СТ ЦКБА 068-2008 «...Затворы запорных клапанов с уплотнением металл по металлу...» указаны предельно допустимые удельные нагрузки для различных материалов. Так для сталей коррозионностойких, жаропрочных без скольжения $q_{max} = 150$ МПа, а со скольжением $q_{max} = 15$ МПа. Для стали 38Х2МЮА при наличии азотирования до 750-900HV это соответственно 300 и 80 МПа. При наличии наплавки, например, ЦН12М допустимые удельные нагрузки 800 и 80 МПа соответственно.

Для задвижки DN20 при $P = 16$ МПа контактное давление на седла от давления в начале перекрытия 35 МПа, в конце перекрытия 30 МПа. При этой нагрузке происходит основной износ. При вдавливании клина моментом около 45 Нм это усилие плавно удваивается также с некоторым скольжением, порядка 0,5 мм.

При давлении среды 8 МПа контактное давление от действия среды вдвое меньше, но при запирании клина добавочное усилие примерно то же самое.

Скольжения с усилием избежать невозможно, так как среда прижимает клин, как только он пересекает границу внутренней кромки седла (и даже раньше при хорошем расходе – клин у нас плавающий).

Необходимый ход клина после этого должен быть как минимум равен ширине седла. На практике он значительно больше.

Задвижка №2 была дополнительно подвергнута испытанию наработкой 200 циклов воздухом давлением 8 МПа при температуре 425°C. Предварительно она была подвергнута небольшому ремонту: притерты рабочие поверхности клина.

Притирка изношенного седла результатов не дала. Нарботка на этот раз выполнялась с подачей давления в противоположном направлении (давление на не изношенное седло). Перед наработкой была проверена герметичность затвора в этом направлении. Момент на закрытие Мз. = 40 Нм.

- по воздуху $P = 0,6$ МПа, $q = 0$,
- по воздуху $P = 1,6$ МПа, $q = 3,5$ см³/мин. (17 пуз./мин.).

После наработки 200 циклов при указанных параметрах и с моментом Мз. начиная с 35 Нм и после 120 циклов 40 Нм (возрастало трение):

- по воздуху $P = 0,6$ МПа большая течь,
- по воздуху $P = 1,6$ МПа бурная течь (слышимое шипение).

Разборка показала значительные надирь на седле и клине со стороны выхода.

Резкие полосы на клине при рассмотрении в 10-кратную лупу похоже представляют собой не царапины, а «размазанные» частицы материала седла на клине.

АО «Машиностроительная Корпорация «СПЛАВ» в цифрах:

- Предприятие с 40-летней историей
- 100 000 м² – размер общих производственных площадей
- Более 600 единиц разнопрофильного технологического оборудования
- 100% продукции проходит испытания в собственном уникальном испытательном центре.
- Разработка и адаптация арматуры под требования Заказчика собственным проектно-конструкторским институтом

ВЫВОДЫ:

- Конструкция клиновых задвижек производства МК «Сплав» позволяет без больших проблем получить герметичность по классу А при ПСИ.
- Клиновые задвижки подобной конструкции не могут длительно работать на средах, не обладающих смазывающими свойствами, и при давлениях порядка 8 МПа и температуре свыше 400°C. При этих параметрах возникают контактные давления 18 МПа на затворе при скольжении с большим коэффициентом трения (до 0,4...0,5), а в конце хода контактные давления увеличиваются 30 МПа. При таких условиях происходит схватывание и отрыв частиц поверхности более мягкой детали затвора (в нашем случае – седла). Эти частицы наклепываются и привариваются к более твердому клину, и он начинает работать как напильник.
- Испытанные клиновые задвижки показали удовлетворительные результаты при наработке циклов холодной водой. Контактные давления в затворе при этом вдвое больше ($P_p = 16$ МПа), но вода и низкая температура препятствуют задирам на деталях затвора. Повреждения поверхности затвора есть, но герметичность по воде остается в пределах класса СС по ГОСТ Р 54808-2011 при наработке до 1100 циклов. При этом ухудшение герметичности от класса А при ПСИ до класса СС наблюдается после первых 300 циклов и при дальнейшей наработке водой не ухудшается. Предположительно класс герметичности С или СС сохранится до 2000 циклов.
- Рабочее давление, при котором назначенный ресурс составил бы 2000 циклов на горячем воздухе температурой 425°C, осталось неустановленным. Предположительно, рабочее давление должно быть таким, чтобы контактные давления в затворе не превышали 10 МПа. Это соответствует рабочему давлению порядка 2,5 МПа. Для определения допустимых границ, необходимо провести дополнительные испытания вновь изготовленной (или восстановленной) задвижки.
- Для обеспечения $P_p = 16$ МПа и $t = 425^\circ\text{C}$ для рабочей среды воздух необходимы дополнительные затраты труда и времени:
 - изготовление и испытание задвижек с увеличенной шириной рабочей поверхности седла (для уменьшения контактного давления в затворе),
 - поиск покрытий, поиск материалов. ●



АО «Машиностроительная Корпорация «СПЛАВ»
173021, Великий Новгород, ул. Нехинская, д. 61
тел. (8162) 680-803
факс (8162) 680-802
e-mail: mksplav@mksplav.ru
www.mksplav.ru