



Фото с сайта: www.stb-dichtungen.de

О выборе материала набивки по критериям герметичности и ресурса работы сальникового узла

О.Ю. Исаев, ООО «Силур», г. Пермь,

В.К. Погодин, ООО «ИЦМИ» (Испытательный центр машиностроительных изделий), г. Иркутск

» Установлено [1, 2], что важными критериями работоспособности трубопроводной арматуры (ТА) являются герметичность и ресурс работы сальниковых узлов (СУ) в условиях, близких к эксплуатационным.

Эти критерии в настоящее время регламентируются только нормативными документами [3, 4]. Анализ возможности применения этих документов для запорной ТА показал [5]:

- Отсутствие информации об условиях эксплуатации СУ, для которых устанавливаются нормы герметичности и показатели надежности, а именно: после затяжки СУ или после наработки определенного количества циклов; при возвратно-поступательном или винтовом движении штока;
- Существенное отличие значений нормативных показателей надежности СУ от эксплуатационных.

Отсутствие в стандартах [4, 5] ответов на поставленные вопросы не способствует определению объективной оценки работоспособности СУ и безопасному применению сальниковой набивки в ТА, особенно в запорных клапанах при высоких параметрах.

Учитывая эти обстоятельства при выборе материала сальниковой набивки запорного клапана DN 45 типа 325 VA3 химического завода АО «АНХК», потребовалось проведение специальных исследований СУ с определением их герметичности и ресурса работы.

Клапан типа 325 VA3 используется на химическом заводе АО «АНХК» при следующих условиях эксплуатации:

- Рабочее давление – 32,5 МПа;
- Рабочая температура – 430 °С;
- Скорость подъема (снижения) температуры при нагревании (охлаждении) – 250 °/ч;
- Количество циклов подъемов и понижения температуры – до 5 в сутки;
- Среда – водород;
- Движение штока – винтовое.

Высота сальниковой камеры клапана 75 мм, внутренний диаметр камеры 40 мм. В СУ использовали сальниковую набивку марки АПРПС с размерами сечения 6×6 мм в виде разрезных колец (рис. 1).

В соответствии с ГОСТ 5152 сальниковая набивка АПРС должна удовлетворять указанным условиям эксплуатации клапана. Однако в процессе эксплуатации эта набивка быстро теряла свою первоначальную пластичность, уменьшалась в объеме за счет частичного выгорания, для поддержания требуемой герметичности требовалась частая подтяжка крепежных деталей СУ.

Для устранения разгерметизации клапана потребовалось для СУ выбрать материал, обеспечивающий его

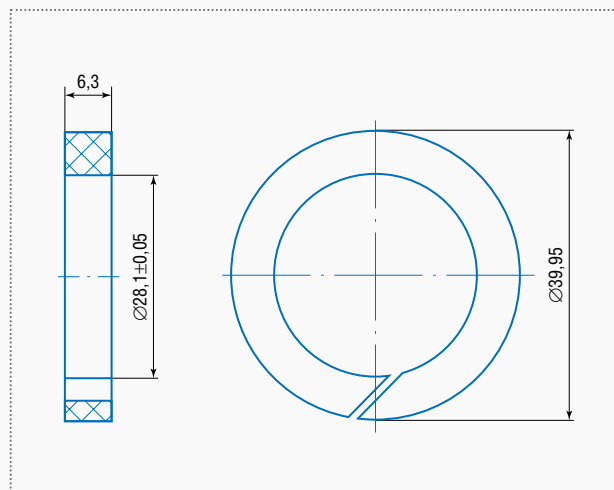
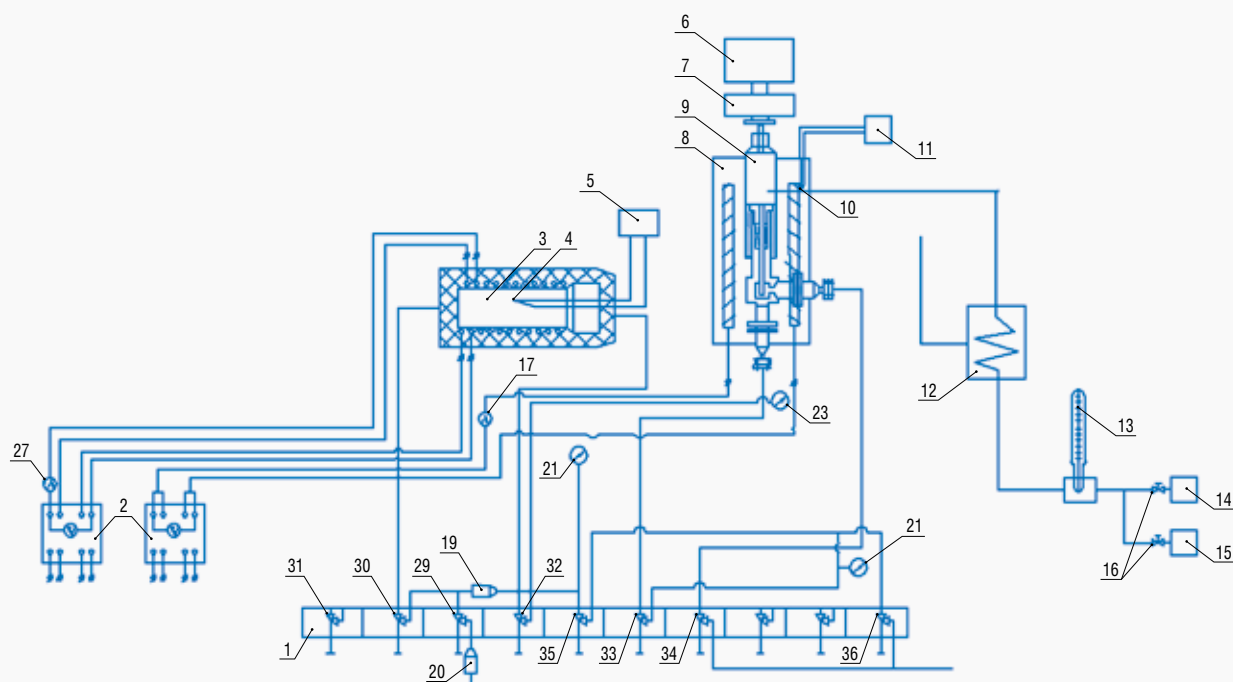


Рис. 1. Разрезное сальниковое кольцо

герметизацию при длительной эксплуатации, а также установить связанные с этим технические требования.

Для оценки работоспособности СУ с уплотнительными материалами из ТРГ проведены ресурсные испытания на стенде [6], схема которого представлена на рис. 2.



1 – щит управления; 2 – регулятор напряжения; 3 – подогреватель азота; 4 – термопара; 5, 11 – потенциометр ПП; 6 – электродвигатель; 7 – вариатор; 8 – печь подогрева модели; 9 – испытываемая модель; 10 – термопара; 12 – холодильник; 13 – термометр; 14 – микроманометр ММН-250-10; 15 – газовый счетчик ГСБ-400; 16 – клапаны переключения приборов замера утечек; 17 – амперметр; 19 – фильтр для тонкой очистки азота; 20 – фильтр для грубой очистки азота; 21 – манометр давления на входе в подогреватель; 23 – манометр давления на испытываемой модели; 24 – манометр давления на линии сброса; 27 – амперметр; 28 – вольтметр; 29 – клапан подачи азота на установку; 30 – клапан подачи азота в компрессор; 32 – клапан подачи горячего азота на испытываемую модель; 33 – клапан сброса давления из модели при испытании ее на прямое запирание; 34 – клапан сброса давления из модели при испытании ее на обратное запирание; 35 – клапан подачи азота при охлаждении установки; 36 – клапан, регулирующий давление охлаждающего азота (клапаны поз. 31, 32, 33 и 34 на PN 500 МПа, остальные на PN 70 МПа)

Рис. 2. Схема стенда для испытания сальникового уплотнения

Для проверки герметичности клапана DN 45 конструкция его СУ (рис. 3) изменена на конструкцию (рис. 4), а именно:

- Для исключения протечки среды через резьбовые соединения «гайка – шток» и «гайка – корпус клапана» установлены два фторопластовых кольца 3 и 5, 4 – нажимная втулка, 6 – кольцо сальниковое из ТРГ (рис. 4);
- Для установки фторопластового кольца 3 применена конструкция из накидной гайки 2 и нажимной втулки 4, представленная на рис. 4.

Испытания клапанов проводились в следующей последовательности:

1. Измерялась поверхность деталей клапана, обеспечивающих его герметичность.
2. Точечной сваркой к корпусу клапана с нижней стороны приваривался карман для термопары.
3. Производилось запираение штока клапана моментом затяжки $M = 8 \text{ кгс} \cdot \text{м}$, после чего укладывались сальниковые кольца или набивка в сальниковую камеру согласно техническим условиям в ТУ 5728-002-13267785-99 [7].
4. Значения осевого усилия Q_z , действующего на СУ при приложении крутящего момента M к гайке, определялись по формуле:

$$Q_z = \frac{2 \cdot M}{2 \cdot f_T \cdot R_T + \frac{P}{\pi} + f_p \cdot d_2},$$

где $f_T = 0,12$ – коэффициент трения на торце гайки; $f_p = 0,2$ – коэффициент трения в резьбе; P – шаг резьбы; d_2 – средний диаметр резьбы;

$$R_T = \frac{1}{3} \left(\frac{D_H^3 - d_B^3}{D_H^2 - d_B^2} \right) - \text{условный радиус трения гайки;}$$

D_H – наружный диаметр нажимной втулки; d_B – внутренний диаметр нажимной втулки.

5. Контактное давление на торце СУ определялось по формуле:

$$\sigma_b = \frac{Q_z}{\pi \cdot d_{cp} \cdot b},$$

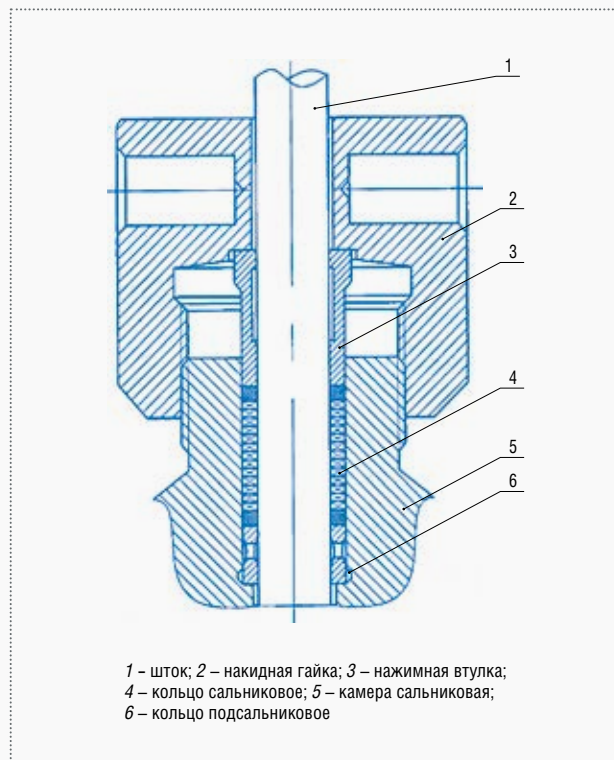
где d_{cp} – средний диаметр сальника; b – ширина сальника.

6. Гайка накидная 2 СУ (рис. 4) затягивалась моментом $M = 3 \text{ кгс} \cdot \text{м}$, проверялась герметичность прилегания опорных поверхностей фторопластовых колец 3, 5. При отсутствии герметичности СУ увеличивался момент M на 0,5 кгс·м до величины, при которой обеспечивалась его герметичность.

7. После обвязки клапана и закрепления термопары в кармане, клапан устанавливался в специальную печь 8 (рис. 2) в горизонтальном положении и измерялся момент вращения шпинделя при «открывании и закрывании» затвора.

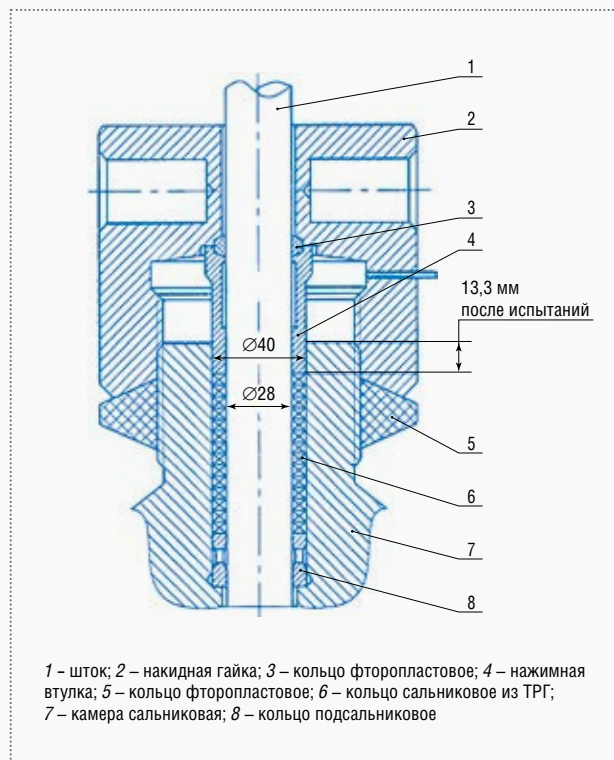
8. Опрессовка клапана азотом производилась давлением 32 МПа путем создания в нем давления при от-

крытии клапана 30 и при закрытых клапанах 31–36. Давление контролировалось манометрами 21 и 23. После 10-минутной выдержки проверялась герметичность затвора, которая принята соответствующей классу герметичности А (ГОСТ 9544–93), т. е. «не должно быть видимых протечек». При протечках в затворе, превы-



1 – шток; 2 – накидная гайка; 3 – нажимная втулка; 4 – кольцо сальниковое; 5 – камера сальниковая; 6 – кольцо подсальниковое

Рис. 3. СУ с АПРПС



1 – шток; 2 – накидная гайка; 3 – кольцо фторопластовое; 4 – нажимная втулка; 5 – кольцо фторопластовое; 6 – кольцо сальниковое из ТРГ; 7 – камера сальниковая; 8 – кольцо подсальниковое

Рис. 4. СУ с ТРГ

шающих допустимые, давление в клапане сбрасывалось, устранялись причины разгерметизации, после чего клапан устанавливался на стенд для дальнейших испытаний.

9. Клапаны 30 и 32 закрывались, сбрасывалось давление клапанами 34 и 36, после чего они закрывались, и производилось 3-кратное полное открывание исследуемого клапана. При крайнем нижнем положении штока давление поднималось, открывался клапан 32 и измерялись величины протечки в затворе. Данное исследование повторялось 3 раза.

10. Давление в клапане поднимали до 32 МПа, при этом давлении производилось измерение усилия, необходимого для вращения шпинделя и измерения протечек в СУ.

11. При давлении 32 МПа производилось включение нагрева подогревателя и клапана установкой тока 20 А, контролируемого амперметрами 27, и нагревание его до $t = 430\text{ }^{\circ}\text{C}$. Контроль степени нагрева контролировался по приборам 5 и 11. При более быстром нагреве клапана сила тока снижалась вплоть до полного отключения подогревателя. При подъеме температуры давление в системе поддерживалось равным 32 МПа путем ручного регулирования клапанами 29, 30, 32 и 33.

12. После подъема температуры до $430\text{ }^{\circ}\text{C}$ производилось 10-кратное полное «открытие и закрытие» клапана с измерениями по п. 8, 11.

13. Выполнялось 100 циклов «закрытия и открытия» клапана на полный ход шпинделя с измерениями моментов для его вращения. Измерения проводились в соответствии с п. 8, 11 через каждые 10 циклов.

14. Через 100 циклов проведения измерений обогрев отключался и при закрытом клапане 32 испытуемый клапан продувался азотом с эстакады при открытии клапанов 34, 35 и 36. Таким образом клапан охлаждался до температуры $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

15. Испытания по п. 12–15 повторяли, доведя количество циклов до 500.

16. Испытуемый клапан снимался с установки, разбирался, проверялись размеры и состояние уплотнительных поверхностей.

Исследования работоспособности СУ в клапане 325 VA3 проведены для наборов сальниковых колец (рис. 1) при следующих их сочетаниях:

1. Производства «Новомет-Силур» по ТУ 2573-002-1058737-2000 [8]:

– 12 колец из сальниковой набивки из ТРГ;

– 12 колец из сальниковой набивки из ТРГ с лавсановой основой, армированных нержавеющей проволокой;

2. Производства «Новомет-Силур» по РД 0154-07-2001 [9]:

– 12 колец из ТРГ – 1, 2, 11, 12 кольца плотностью $\rho = 1,8\text{ г/см}^3$; 3–8 плотностью $\rho = 1,4\text{ г/см}^3$; 9, 10 плотностью $\rho = 1,6\text{ кг/см}^3$;

3. Производства АО «ИркутскНИИХиммаш»:

– 12 колец из ТРГ + тальк.

При выборе уплотнительного материала для СУ проведены испытания набивки и колец из ТРГ при выдержке их при температуре $430\text{ }^{\circ}\text{C}$ в муфельной печи в течение 3-х часов с последующим остыванием.

При этих испытаниях были использованы:

■ Сальниковые набивки на лавсановой основе (1 и 2 партии);

■ Сальниковые набивки на лавсановой основе, армированные нержавеющей проволокой (3 и 4 партия);

■ Сальниковые кольца из ТРГ плотностью $1,6\text{ г/см}^3$ (5 партия);

■ Сальниковые кольца из ТРГ плотностью $1,8\text{ г/см}^3$ (6 партия).

Результаты испытаний представлены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты испытаний сальниковых набивок и колец при температуре $430\text{ }^{\circ}\text{C}$

Партия	1	2	3	4	5	6
Потеря массы, %	6,45	7,07	5,56	5,835	0,286	0,226

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что сальниковые кольца даже в условиях окисления ТРГ при $t > 400\text{ }^{\circ}\text{C}$ практически не выгорают, а сальниковые набивки выгорают значительно меньше, чем это указано в технических условиях (потеря массы меньше 14%, указанных в технических условиях).

На основании этого вывода СУ с применением набивок и колец из ТРГ допущены к испытаниям при рабочих условиях работы клапана типа 325 VA3.

Перед проведением циклических испытаний определены зависимости прикладываемого к гайке крутящего момента M , необходимого для герметизации СУ при первом его нагружении давлением при температуре $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Эти зависимости для каждого варианта СУ представлены на рис. 5 и позволяют для каждого варианта СУ определить значения M , необходимые для обеспечения герметичности на первых температурных циклах.

На этом рисунке также показаны зависимости крутящих моментов для перемещения штока в осевом направлении при «открывании» M_0 и при «закрывании» M_3 клапана в зависимости от величины давления среды p . Из этих зависимостей следует, что значения величин M , M_0 , M_3 в СУ с сальниковыми набивками из ТРГ значительно меньше, чем в СУ с сальниковыми кольцами из ТРГ.

На рис. 6 приведены изменения крутящего момента, действующего на гайку СУ, и необходимого для сохранения заданной герметичности при наработке количества циклов подъема и сброса давления газа–азота.

На рис. 6а показано изменение крутящего момента M в СУ с сальниковой набивкой из ТРГ на лавсановой основе. Из графика следует, что после каждого цикла нагрева клапана и снижения его температуры до $20\text{ }^{\circ}\text{C}$

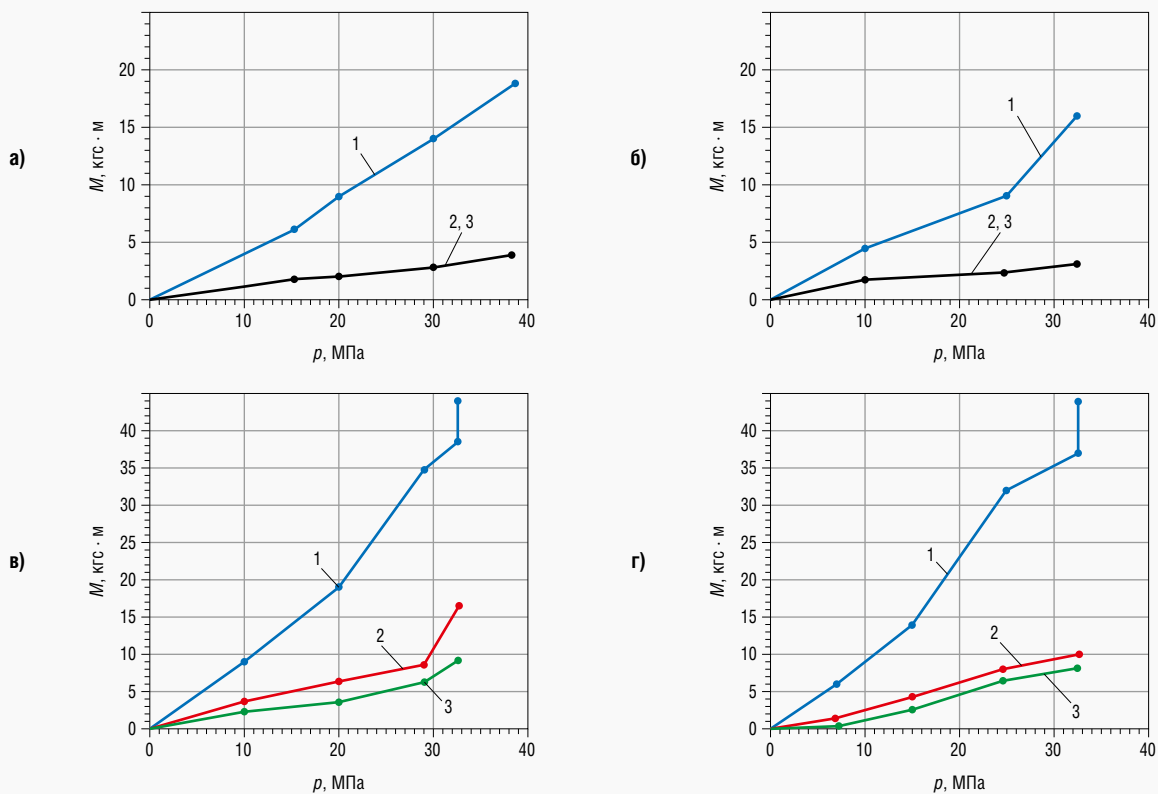


Рис. 5. Зависимость крутящего момента M для затяжки гайки (1) и моментов M_0 для «открывания» (2) и «закрывания» (3) штока от давления p газа азота в СУ с сальниковой набивкой: **а** – из ТРГ на лавсановой основе; **б** – из ТРГ на лавсановой основе, армированной нержавеющей проволокой; **в** – с кольцами из ТРГ; **г** – с кольцами из ТРГ + тальк

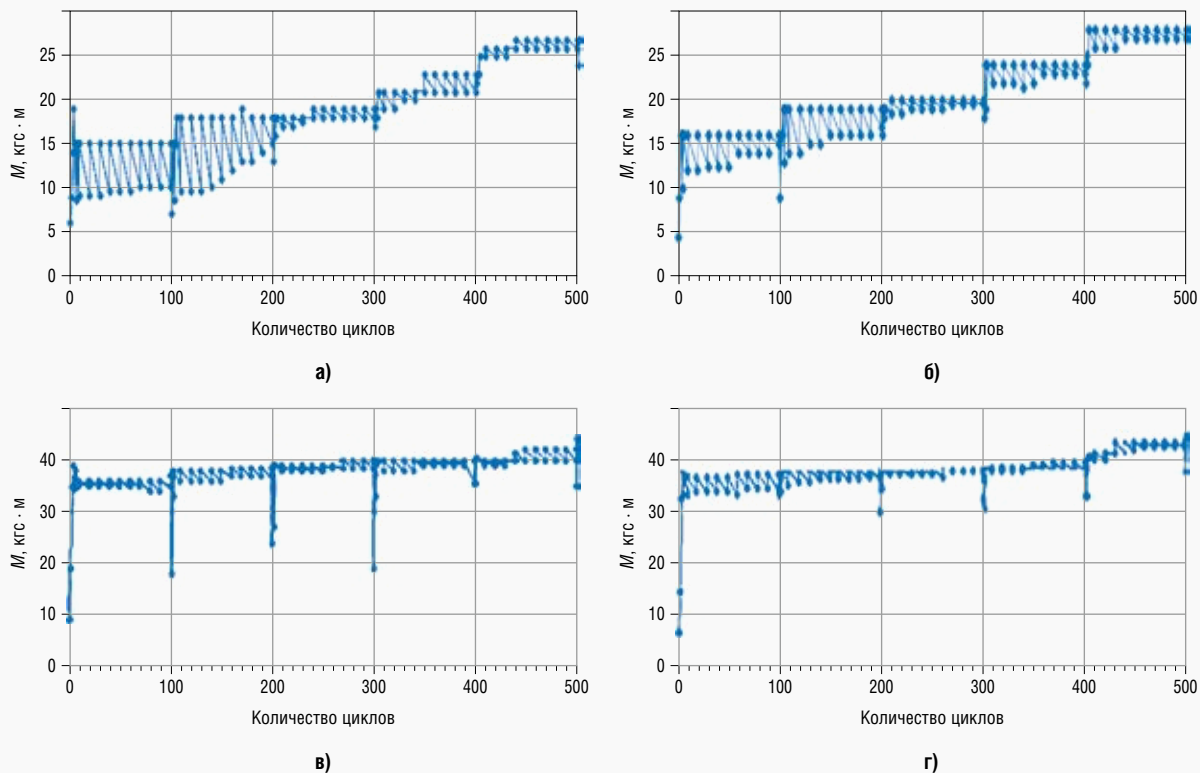


Рис. 6. Изменение крутящего момента M в СУ: **а** – с сальниковой набивкой из ТРГ на лавсановой основе; **б** – с набивкой из ТРГ, армированной нержавеющей проволокой; **в** – с кольцами из ТРГ; **г** – с сальниковыми кольцами из ТРГ + тальк



Музейный комплекс
"Вселенная воды"

г. Санкт-Петербург
Шпалерная ул.56

www.vodokanal-museum.ru



для обеспечения заданной герметичности СУ требовалось увеличение значения момента M : при первом цикле – 15 кгс·м; при втором цикле – 18 кгс·м; при третьем цикле – 19 кгс·м; при четвертом цикле – 21...23 кгс·м; при пятом цикле – 27 кгс·м.

Внутри первого и второго циклов нагрева клапана, после каждой наработки 10 циклов «открытия и закрытия» штока, на гайке происходило уменьшение крутящего момента на 5...10 кгс·м, что приводило к разгерметизации СУ и необходимости увеличения крутящего момента M до величин, обеспечивающих его герметизацию. При третьем, четвертом и пятом циклах нагрева клапана снижение крутящего момента на гайке СУ составляло 1...2 кгс·м. После пятого цикла нагрева клапана момент затяжки гайки СУ составлял $M = 27$ кгс·м ($M_0 = 6$ кгс·м, $M_3 = 6$ кгс·м).

Значения контактных напряжений, создаваемые нажимной втулкой в СУ, изменялись от 22,43 до 38,0 МПа, соответственно 0,69...1,16 р.

Первоначально в сальниковую камеру было установлено 12 колец. В процессе испытаний дополнительно было установлено еще 2 кольца.

В результате всего периода испытания сальниковая набивка из ТРГ уплотнялась в сальниковой камере, и нажимная втулка переместилась на 13,3 мм, что составило 16% относительно первоначальной высоты (79 мм).

После испытаний СУ было извлечено из сальниковой камеры в виде набора лепестков и пыли. На штоке имело место налипание графита.

СУ с сальниковой набивкой из ТРГ, армированной нержавеющей проволокой, требовали для обеспечения герметичности при подъеме давления после первого цикла нагрева клапана крутящего момента M , равного 16 кгс·м. (рис. 6б).

После каждого цикла нагрева клапана в этом СУ происходило снижение на гайке величины крутящего момента. Эта величина после первого цикла нагрева составляла 5...7 кгс·м, после второго 5 кгс·м, после третьего, четвертого и пятого циклов – 3 кгс·м. Величина крутящего момента M после нагрева составила: для первого цикла – 16 кгс·м; для второго цикла – 19 кгс·м; для третьего цикла – 21 кгс·м; для четвертого цикла – 24 кгс·м; для пятого цикла – 28 кгс·м.

Внутри каждого цикла нагрева, после наработки 10 циклов «открытия и закрытия» штока, происходило уменьшение крутящего момента M и для обеспечения требуемой герметичности СУ требовалась подтяжка нажимной гайки. После 5 циклов нагрева клапана момент затяжки гайки составил $M = 28$ кгс·м ($M_0 = 10$ кгс·м, $M_3 = 10$ кгс·м). Полное перемещение нажимной втулки в сальниковой камере составило 9,3 мм.

Контактные напряжения, действующие на сальниковую набивку, изменялись от 21,7 до 38 МПа, соответственно 0,66...1,16 р.

После разборки клапана налипания графита на поверхности штока не наблюдалось. Сальниковое уплотнение было извлечено отдельными кольцами, сохранившими форму. Вторичное использование этих колец проблематично, так как при их демонтаже произошло их частичное разрушение и изменение их удельной плотности (от 2,0 до 2,2 г/см³). Результаты испытания СУ с кольцами из ТРГ представлены на рис. 6в, из которого следует, что после каждого цикла нагрева клапана и снижения его температуры до 20 °С происходило уменьшение крутящего момента, действующего на гайку. Это уменьшение составляло 17 кгс·м после первого цикла, 14 кгс·м после второго, после третьего 20 кгс·м и 7 кгс·м после четвертого и пятого.

Для обеспечения требуемой герметичности СУ требовалось приложение к гайке крутящих моментов, величины которых изменялись бы от 38 до 42 кгс·м.

Контактные напряжения, действующие на сальниковые кольца, изменялись от 48,9 до 54,3 МПа, соответственно 1,5...1,67 р.

После разборки клапана на штоке имели место налипания графита, после затяжки гайки крутящим моментом, высота пакета колец, выполненных из ТРГ, уменьшилась на 9 мм, что составило 12,6% от первоначальной его высоты.

После демонтажа СУ сальниковые кольца имели различные степени разрушения. Верхнее кольцо имело большее разрушение, как в радиальном, так и в осевом направлении, чем следующее за ним кольцо. Возможно вторичное использование сальниковых колец с 6 по 11 после проверки их удельного веса.

Результаты испытаний СУ с кольцами ТРГ + тальк представлены на рис. 6г. На графике видно, что после каждого цикла нагревания до 430 °С и снижения температуры до 20 °С происходило снижение крутящего момента M на 3...7 кгс·м, которое приводило при подъеме давления в новом цикле нагрева к разгерметизации СУ. Из графика также следует, что крутящие моменты затяжки гаек, при которых обеспечивалась требуемая герметичность СУ от одного цикла нагрева к другому, колебались от 36 до 44 кгс·м. При наработке циклов «открытия и закрытия» клапана требовалось увеличение крутящих моментов M_0 и M_3 . Величина крутящего момента при открывании клапана выше, чем при его закрывании – соответственно 11...17 кгс·м и 7...13 кгс·м. Перемещение штока сопровождалось скрипом в зоне СУ. После разборки клапана на штоке имели место винтовые полоски попеременно светлые – темные. После затяжки гайки крутящим моментом высота пакета колец, выполненных из ТРГ + тальк, уменьшилась на 7,5 мм, что составило 10,7% от первоначальной его высоты. Контактные напряжения, действующие на СУ со стороны нажимной втулки, изменялись от 48,9 до 57 МПа, т. е. в интервале 1,5...1,75 р.

Сальниковые кольца после демонтажа имели: кольца из ТРГ + тальк 1 и 10 – полное разрушение, 5 – частичное разрушение (отдельные куски); кольца 2, 3, 4 – частичное разрушение в диаметральном и осевом направлениях. Кольца 6, 7, 8, 9 могут быть использованы повторно.

На основании результатов испытаний СУ с сальниковыми набивками и кольцами из ТРГ в клапане 325 VA3 установлены:

1. Крутящие моменты затяжки гайки, необходимые для обеспечения требуемой герметичности СУ, а также моменты на штоке для «открывания и закрывания» клапана при использовании в СУ материалов из ТРГ четырех марок, температуры 430 °С и давлении газа азота 32 МПа.

2. Величины контактных давлений, необходимые для обеспечения герметичности СУ с ТРГ, которые могут достигать: для сальниковых набивок – p_p , для сальниковых колец – $2p_p$.

3. Через 10 циклов «открывания и закрывания» клапана, а также уменьшение момента затяжки после работы клапана при температуре 430 °С и охлаждении его до 20 °С, требуется подтяжка гайки СУ для обеспечения его работоспособности.

4. При моментах M , M_0 , M_3 и заданных условиях работы клапан выдерживает 500 циклов «открывания и закрывания» и 5 циклов разогрева с сохранением требуемой герметичности.

Внедрение рекомендации по замене материала сальниковой набивки из АПРПС на ТРГ позволило исключить систематические разгерметизации и возгорания на Химическом заводе АО «АНХК» на установках горячего водорода.

Учитывая вышеизложенное, полученные при оценке герметичности и ресурсе работы СУ значения моментов могут быть использованы при создании запорной ТА ответственного назначения.

Результаты исследований, представленные в статье, а также приведенные в работе [5], свидетельствуют о необходимости изменения в подходах оценки герметичности, ресурса и надежности СУ, принятых в действующих стандартах [3, 4]. Одновременно с этим рекомендуется сертификацию применяемых материалов сальниковых колец и набивок, обоснование безопасности их применения в СУ обязательно проводить с учетом особенностей эксплуатации ТА.

☞ Список литературы

1. Домашнев А.Д., Хмельникер В.Л. Сальниковые уплотнения арматуры АЭС. – М.: Атомиздат. – 1980. – 112 с.
2. Продан В.Д. Герметичность разъемных соединений оборудования, эксплуатируемого под давлением рабочей среды. Учебное пособие. – Тамбов: – Издательство ФТБОУ ВПО «ТГТУ». – 2012. – 280 с.
3. Погодин В.К., Кузнецов К.А., Верхозин Н.А., Вайнапель Ю.Л., Долотов А.М. Об условиях обеспечения герметичности сальниковых узлов трубопроводной арматуры // ТПА. – 2015. – №6 (81). – С. 38–45.
4. СТ НПAA 007–2007. Арматура трубопроводная. Узлы сальниковые. Конструкции и основные размеры. Технические требования. – 2007. – 44 с.
5. СТ ЦКБА 037–2006. Арматура трубопроводная. Узлы сальниковые. Конструкция, основные размеры и технические требования. – ЗАО НПФ «ЦКБА». – 2006. – 39 с.
6. Практическая диагностика (в 3-х томах). Том 3. – Иркутск: АО «ИркутскНИИхиммаш». – 2009. – 423 с.
7. ТУ 5728–008–13267785–97. Уплотнительные кольца КГФ, армированные из графитового материала «ГРАФЛЕКС». – 1997. – 18 с.
8. ТУ 2573–002–1058737–2000. Набивки сальниковые графитовые марок ТРГ. – Пермь. – 2001. – 18 с.
9. РД 0154–007–2001. Уплотнения сальниковые из терморасширенного графита для арматуры и трубопроводов (до 40 МПа и 600 °С). Типы, конструкции и размеры. Общие технические требования. – Иркутск : АО «ИркутскНИИхиммаш». – 2001. – 41 с.

***Исследовать – значит видеть то, что видели все,
и думать так, как не думал никто.***

Альберт Сент-Дьердьи