

Литература

1. Данилов О.Л., Леончик Б.И. Экономия энергии при тепловой сушке. – М.: Энергоатомиздат. – 1986.

ПРИМЕНЕНИЕ УПЛОТНИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ТЕРМОРАСШИРЕННОГО ГРАФИТА ДЛЯ ГЕРМЕТИЗАЦИИ УЗЛОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Ильин Е.Т. к.т.н., Колпациков В.Л. к.ф.-м.н.

В настоящее время в мире бурно развиваются направления, которые связаны с разработкой новых высоконадежных уплотнительных изделий нового поколения на основе терморасширенного графита (далее – ТРГ), арамидного волокна, углеволокна и политетрафторэтилена (тефлона) далее ПТФЭ и их композитов. Обладая рядом уникальных свойств, эти материалы уже сейчас широко применяются в качестве уплотнительных изделий на электростанциях, на предприятиях нефтепереработки, нефтехимии, химии и других отраслях. Основные характеристики уплотнительных материалов на основе ТРГ и сравнение их с ранее применявшимися изделиями, изготовляемыми на основе асбестового волокна, представлены в табл. 1.

графита, обладающие высокой термостойкостью и упругостью, что обеспечивает высокую степень герметичности при постоянных сменах температуры.

Основные особенности применения уплотняющего материала из ТРГ заключаются в том, что для сохранения его упругих свойств необходимо, чтобы кольцо находилось в зоне пластической деформации при приложении усилия, равного усилию обжатия. Поэтому плотность колец, устанавливаемых в сальниковую камеру в зависимости от рабочего давления, должна выбираться в соответствии с кривой пластической деформации. Оптимальное изменение плотности материала в зависимости от рабочего давления представлено на рис. 1.

Таблица 1

Основные характеристики уплотнительных материалов

Характеристика материала	Изделия из асбеста (АГ-50)	Изделия			
		из ТРГ	из арамидного волокна	из углеволокна	из ПТФЭ
Плотность, г/см ³	1,8-2,2	1,0-1,6	1,0-1,7	1,0-1,6	1,0-1,6
Температура эксплуатации, °С	400	-196 +450 (560)*	280	280-500	-200- +260
Теплопроводность, Вт/мК	0,03	3-150	0,32	3-5	0,24 (1,14)**
Химическая стойкость, Рн	4-12	1-14	2-12	1-14	0-14
Упругие деформации, %	1,5-3,5	8-10	2-3	2-4	1,4-3
Коэффициент трения по стали	0,37	0,1	0,25	0,2	0,02- 0,04

Примечание: *— при уплотнении паровой среды;

**— для графитонаполненного фторопласта.

Наиболее широкое применение на объектах энергетики нашли материалы из терморасширенного

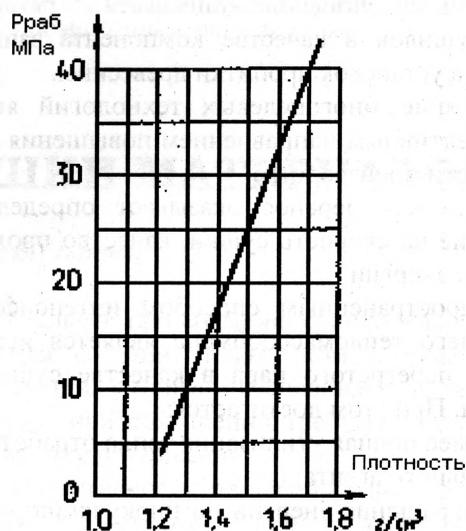


Рис. 1. Изменение плотности уплотняющего материала на основе ТРГ от рабочего давления

Учитывая, что в реальных условиях производства и эксплуатации, практически невозможно обеспечить непрерывное изменение плотности колец

от давления рабочей среды, как указано на рис. 1, была разработана шкала оптимальной плотности уплотнительных колец из ТРГ для арматуры:

$$PN \leq 6,3 \text{ МПа} - \rho = 1,0 \div 1,25 \text{ г/см}^3;$$

$$PN \leq 10 \text{ МПа} - \rho = 1,3 \div 1,4 \text{ г/см}^3$$

$$10 \text{ МПа} < PN \leq 30 \text{ МПа} - \rho = 1,4 \div 1,6 \text{ г/см}^3.$$

Как показал опыт эксплуатации и результаты испытаний сальниковой набивки из ТРГ количество уплотняющих колец устанавливаемых в сальниковую камеру должно выбираться в соответствии с рекомендациями представленными на рис. 2. Не допускается устанавливать в сальниковую камеру лишние кольца из терморасширенного графита, так как увеличенное количество колец невозможно качественно обжать при приложении расчетного усилия затяжки. Недожатые нижние кольца уплотняющего материала могут привести к проникновению рабочей среды в межкольцевое пространство, что способствует возникновению электрохимической коррозии. Кроме этого, при перемещении штока происходит ослабление усилия затяжки сальника, что может привести к появлению протечек и даже способствовать выбиванию сальника. Увеличение усилия затяжки сверх расчетного уровня, при увеличении числа колец, приводит к повышению плотности верхних колец и снижению их уплотняющих свойств, вызывает необходимость приложения большего усилия для перемещения штока, может привести к возникновению усилий, способных оборвать шпильки или затяжные болты. Поэтому, если сальниковая камера имеет большую глубину необходимо изготовить кольцо-проставку, которое позволит производить набивку сальника из материала на основе ТРГ в соответствии с рекомендациями указанными на рис. 2.

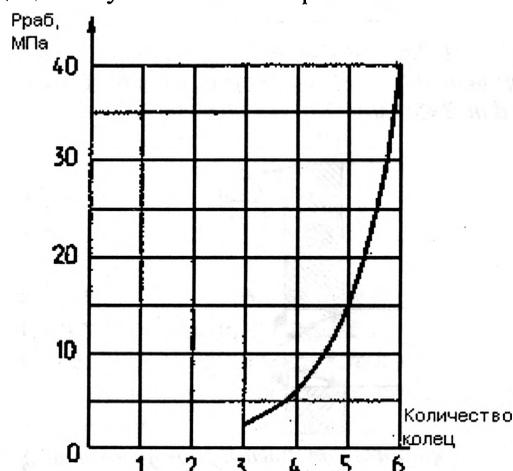


Рис. 2. Изменение числа колец в зависимости от рабочего давления

Надежность герметизации сальникового узла в значительной степени определяется правильностью выполнения операций по затяжке сальника. В процессе затяжки сальника, при «сухом» трении, когда подача рабочей среды отсутствует, как показали результаты исследований, коэффициент трения как правило в 2–4 раза выше, чем при работе сальника с подачей рабочей среды. В результате, при предварительном обжатии сальника, нижние уплотняющие элементы оказываются обжатыми с недостаточным усилием. Стендовые испытания и опытная эксплуатация показали, что при выполнении первых ходов штока после предварительной затяжки сальника происходит значительное снижение усилия сжатия, но с каждым следующим ходом штока величина изменения усилия постепенно снижается. После выполнения штоком 5–10 ходов наступает стабилизация и дальнейшего ослабления осевого усилия затяжки не происходит. Это связано с тем, что при возвратно-поступательном движении штока происходит нарушение фрикционных связей, возникающих на поверхностях контакта набивки с элементами сальникового узла. В процессе разрушения фрикционных связей, имеющиеся пустоты заполняются материалом набивки, которая находится в напряженном состоянии. В результате напряжение в набивке ослабевает, уменьшается сила трения, уменьшается и величина осевой и боковой сил, что может привести к разгерметизации сальника. Поэтому после выполнения 5–10 ходов необходимо обязательно произвести подтяжку сальника с расчетным усилием, как будет приведено ниже.

Усилие затяжки, в зависимости от параметров рабочей среды, можно определить из выражения:

$$Q = 2 \cdot 10^3 \cdot F_c \cdot P_{раб},$$

где Q — усилие затяжки, кН; F_c — площадь сальника, м²; $P_{раб}$ — давление рабочей среды, МПа.

Для практической работы иногда целесообразнее определить не усилие обжатия, а величину усадки пакета для получения необходимой величины затяжки. Это можно сделать по приближенной зависимости:

$$\Delta H = Hc \sqrt{P_{раб} / 10\rho^3}$$

где ΔH — величина усадки, мм; Hc — высота пакета сальника в свободном состоянии, мм; ρ — плотность уплотняющего материала, г/см³.

На рис. 3 и рис. 4 представлены конструкции узлов уплотнения штоков арматуры.

Размеры колец выбираются в соответствии с диаметрами сальниковой камеры и штока. Высота сальникового пакета (количество колец) определя-

ется в соответствии с рис.2. Для арматуры высокого давления предусматривается установка замыкающих колец. Для этих целей, как показала практика эксплуатации, лучше всего использовать армированные металлической фольгой кольца (типа КГФ-С) или использовать кольца из предварительно обжатого до плотности $1,7-1,8 \text{ г/см}^2$ плетеного шнура из арамидного волокна, углеволокна или графитового армированного волокна Н-1300 или Н-1200.

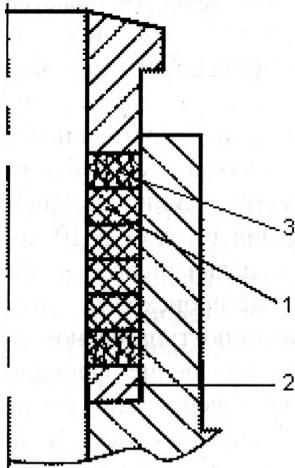


Рис. 3. Конструкция узла уплотнения для арматуры высокого давления $P_{\text{раб}} \geq 6,3 \text{ МПа}$: 1 — уплотнительное кольцо типа КГФ; 2 — подсальниковое кольцо; 3 — замыкающее кольцо

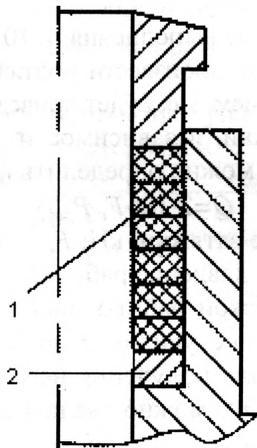


Рис. 4. Конструкция узла уплотнения для арматуры низкого давления $P_{\text{раб}} \leq 6,3 \text{ МПа}$: 1 — уплотнительное кольцо типа КГФ; 2 — подсальниковое кольцо

Опыт эксплуатации на электростанциях АО «Мосэнерго» и АО «Ленэнерго» уплотнений из материала на основе ТРГ в течение 15-ти лет, показал что изделия из нового материала сохраняют упругие свойства без изменения весь период работы

между капитальными ремонтами. Нет проблем с высыханием набивки, изменением ее объема в сальниковой камере, т.е. при нормальном состоянии штока уплотнение работает много лет без пропуска среды. Персоналом отмечен эффект самолечения графитом небольших царапин и изъянов на стыках арматуры в процессе работы. Срок службы набивки на основе ТРГ по сравнению с ранее применявшимися сальниковыми набивками АГ-50 и АГ-1 увеличивается в 3–5 раз, что сокращает использование уплотняющего материала, уменьшается количество аварийных остановов по вине сальниковой набивки. Почти полностью ликвидируется парение арматуры через сальниковую набивку.

Ранее при применении мягких набивок дно сальниковой камеры и торцевую поверхность грундбоксы сальника часто выполняли конической. Применение такой конструкции при использовании набивки из ТРГ приведет к разрушению верхнего и нижнего кольца набивки, что в конечном счете вызовет разгерметизацию сальника. Для предотвращения этого необходимо произвести обработку грундбоксы и установить новое подсальниковое кольцо так, чтобы не было скосов, как показано на рис. 5 и 6.

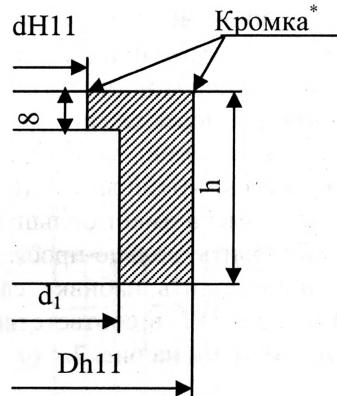


Рис. 5. Новое подсальниковое кольцо: d — диаметр штока; D — диаметр сальниковой камеры; $d_1 > d$ на $2+5 \text{ мм}$

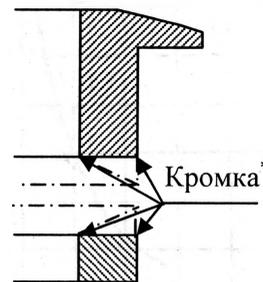


Рис. 6. Обработка торцевых поверхностей грундбоксы и старого подсальникового кольца
Примечание: * — кромка острая (притупить, фаска не допускается)

Зазор по штоку между грундбуксой, подсальниковым и промежуточным кольцами не должен превышать $0,02S$ на сторону.

При определении глубины сальниковой камеры для вновь проектируемой арматуры:

– высота колец из ТРГ в свободном (необжатом) состоянии принимается равной ширине уплотнения — S , мм.

– заглубление грундбуксы в сальниковую камеру после установки колец обеспечивается $3 \div 8$ мм;

– высота подсальникового кольца принимается $h_{нк}=4-5$ мм, для диаметра штока — $d=10-25$ мм и $h_{нк}=10-15$ мм, для диаметра штока — $d=30-120$ мм.

Глубина сальниковой камеры равна:

$$H_{ск} \geq n \cdot h_k + h_{нк} + (3 \div 8), \text{ мм,}$$

где: n — число колец из ТРГ, принимается в соответствии с рис. 2; h_k — высота кольца до обжатия, мм; $h_{нк}$ — высота подсальникового кольца, мм.

Все приведенные условия эксплуатации распространяются и на плетеные набивки из ТРГ, типа Н-1200 и Н-1300. В зависимости от исходного состояния поставки плетеных набивок (предварительно подпрессованные комплекты или исходный не подпрессованный жгут) рекомендуемые величины обжатия приведены в табл. 2.

Таблица 2

Величина обжатия набивки из ТРГ

Марка набивки	Величина обжатия набивки, Ноб, %			
	Давление рабочей среды, МПа			
	$P_p \leq 4$ МПа	$P_p \leq 6,5$ МПа	$P_p \leq 10$ МПа	$35 \text{ МПа} > P_p >$ 10 МПа
Не опрессованная набивка, исходная плотность в состоянии поставки.				
Н 1100 (НГФ-ХБ)	35	37	40	45
Н 1200 (НГФ-С)	35	37	40	45
Н 1300 (НГФ-М)	35	37	40	45
Набивки предварительно-подпрессованные в прессформе на 30+35%.				
Н 1100 (НГФ-ХБ)	8	10	15	18
Н 1200 (НГФ-С)	8	10	15	18
Н 1300 (НГФ-М)	8	10	15	18

Уплотнения из терморасширенного графита широко применяются для герметизации бесфланцевого соединения корпуса и крышки арматуры.

С этой целью для плавающих крышек арматуры, используемой на тепловых электрических станциях используют специально разработанные комплекты. Как правило, комплект состоит из 2-х замыкающих колец и 2 или 3 уплотняющих. Для

арматуры специально разработанной для применения уплотнений из ТРГ предусматривается установка всего 2-х колец.

Для арматуры, у которой в процессе ремонта произошло изменение геометрических размеров, возможно использование уплотнения, состоящего из плетеной набивки. В этом случае, обтюраторы для замыкающих колец изготавливаются и поставляются отдельно. Монтаж и предварительная опрессовка комплекта производится на месте.

После установки комплекта предварительно подтянуть плавающую крышку в соответствии с рекомендациями завода-изготовителя арматуры. После опрессовки арматуры произвести повторную подтяжку гаек на шпильках плавающей. Эта операция должна проводиться обязательно, во избежание последующей разгерметизации соединения при эксплуатации. Ниже в табл. 3 приводятся допустимые при ремонте отклонения.

Наряду с уплотнением сальников арматуры, новые уплотнительные материалы нашли широкое применение в насосах. Обеспечение надежной герметизации насосного оборудования в первую очередь обеспечивается путем правильного подбора типа набивки используемой в насосе в зависимости от условий эксплуатации и типа среды и правильности установки.

Основные требования к установке набивки приводятся ниже:

При установке набивки предварительно нарезать ее на мерные отрезки. Угол реза должен быть $12-20$ градусов. Допускается нарезка мерных кусков намоточным методом. Для этого набивку плотно намотать на оправку с диаметром, равным диаметру вала (защитной втулки) и разрезать на кольца. Разрез выполняется вдоль оси оправки.

В том случае, когда сечение набивки превышает величину зазора между валом и сальниковой камерой, то предварительно раскатать набивку, так, чтобы сечение набивки в плоскости установки в камеру, стало равно или меньше зазора на величину $\Delta h=0,2-0,4$ мм. Проводить раскатку трубой или специальной скалкой, прилагая сначала небольшое усилие, потом увеличивая это усилие до обеспечения заданного размера.

Проводить раскатку набивки, превышающей величину зазора более чем на 10%, запрещается. В этом случае необходима замена набивки на подходящий размер. Проводить изменение размера ударными методами, категорически запрещается.

Таблица 3

Допустимые отклонения размеров и параметров деталей узла уплотнения бесфланцевого соединения корпуса и крышки арматуры

№	Наименование детали	Отклонения размеров и параметров	Мероприятия по ремонту
1	Расточка корпуса	1. Эллипс на диаметре расточки: – не более 0,5 мм при диаметре расточки до 200 мм; – не более 0,8 мм при диаметре расточки до 400 мм. 2. Коррозия поверхности с увеличением диаметра до Н 13 3. Коррозия поверхности: – не более 0,5 мм при диаметре расточки до 200 мм; – не более 0,8 мм при диаметре расточки до 400 мм.	Увеличение высоты и угла заходной фаски для установки колец ТРГ без закусывания кромки. Обработка при необходимости шлифмашинкой противоположных поверхностей по меньшему диаметру до диаметра Н 11 Зачистка поверхности шлифмашинкой Зачистка поверхности шлифмашинкой. Восстановление размера крышки (в соответствии с п. 2.) и изготовление кольца опорного с новыми размерами для обеспечения боковых зазоров не более 0,02 S
2	Крышка	1. Коррозия поверхности контактирующей с сальником с уменьшением диаметра до h 13 2. Коррозия поверхности контактирующей с сальником: – не более 0,5 мм при диаметре крышки до 200 мм; – не более 0,8 мм при диаметре крышки до 400 мм	Зачистка поверхности Наплавка электросваркой с обработкой на токарном станке до восстановления зазора не более 0,02 S
3	Кольцо опорное	1. Коррозия, износ по внутреннему диаметру не более Н 13; 2. Коррозия, износ по наружному диаметру не более h 13	Замена детали с обеспечением зазора не более 0,02 S

В сальниковую камеру должно устанавливаться не более 4-6 уплотняющих колец, после предварительной опрессовки набивки в прессформе на 15-20%. Возможна установка большего числа колец, в том числе и больше 7, при обязательной установке в качестве дополнительных (свыше 5) низкоплотных колец типа КГН-С (установка набивки без предварительной опрессовки приводит к более быстрому ее износу и значительно увеличивает вероятность разгерметизации).

Подготовленные кольца устанавливаются в сальниковую камеру. При этом срезы смешаются относительно друг друга на 90 градусов.

После установки колец производится затяжка грундбоксы от руки. Во время подтяжки сальниковой втулки вал должен многократно приводиться в действие для того, чтобы контролировать установочные усилия на валу. Окончательная затяжка производится при пуске насоса. В момент пуска величина протечки может быть больше нормы для обеспечения притирания набивки.

В течении 30-40 минут после пуска насоса производится подтяжка грундбоксы до установки нормальной протечки (10-20 капель в минуту, если нет более строгих требований). Подтяжка

производится на 1/8-1/4 оборота гайки через каждые несколько минут с контролем температуры сальниковой камеры. Подтяжку производить до обеспечения требуемой протечки или ее полного устранения. Не допускайте перегрева набивки и парения вследствие перетяжки комплекта и увеличения силы трения на валу. В случае возникновения парения или быстрого роста температуры в сальниковой камере – ослабить усилие затяжки и увеличить величину протечки.

Широкое применение в промышленности нашли прокладки из ТРГ. Простота технологии изготовления прокладок (прессование без присадки и клея) позволили выполнить требования действующих стандартов:

– ГОСТов 28759.1-90÷28759.9-90 «Фланцы сосудов и аппаратов и прокладок к ним»;

– ГОСТ 12815-80 «Фланцы арматуры, соединительных частей и трубопроводов».

Прокладки из ТРГ предназначены для уплотнения фланцев аппаратов (сосудов), трубопроводов и арматуры диаметром от 10 до 3000 мм, работающих под давлением до 100 МПа и в диапазоне температур от -200°С до +600°С при контакте с воздухом (до 1500°С для инертной среды или ва-

кууме). Температура эксплуатации для окислительных сред определяется стойкостью стальных частей прокладок, исключаящих прямой контакт среды с материалом на основе ТРГ.

Основные типы прокладок и условия их применения представлены в табл. 4.

Выбор типа прокладки производится с учетом основных параметров и характеристик прокладки. Основные параметры и характеристики прокладки приведены в табл. 5.

К ним относятся:

— q_{min} — это минимальное контактное давление, которое вызывается силой сжатия приложенной к болтовому соединению, вызывающее напряжение на контактной поверхности прокладки, которое компенсирует шероховатость поверхности и закрывает впадины на поверхности фланца, обеспечивая герметизацию.

— q_{max} — это максимально-допустимое контактное давление, которое вызывается силой сжатия приложенной к болтовому соединению. Дальнейшее увеличение контактного давления может привести к расплющиванию и разрушению прокладки.

— q_0 — удельное давление на прокладку в рабочем состоянии при обжатии болтового соединения.

При выборе прокладки, удельное давление на прокладку в рабочем состоянии или при гидропрессовке должно всегда быть больше минимального контактного давления, но меньше максимально-допустимого. При определении силы, необходимой для обжатия прокладки, должно выполняться следующее условие:

$$q_{min} m \leq q_0 \leq q_{max},$$

где m — прокладочный коэффициент, определяется на основании испытаний для различных типов сред, приведен в табл. 5.

Выбор прокладки начинается с определения удельных контактных давлений, действующих во фланцевом соединении.

Первоначально определяются сила, обеспечивающая герметизацию, при рабочем давлении и при гидроиспытаниях, обычно выбор прокладки производится по давлению гидроиспытаний, которые (если не оговорено особо) принимаются $P_{ги}=1,5P_{раб}$

$$F_{0ги} \geq F_{np.zu} + (1 - \chi) F_{p.zu},$$

$$F_0 \geq F_{np.pab} + (1 - \chi) F_{p.pab} - F_m,$$

где $F_{np.zu} = \pi D_{np} \cdot b_0 \cdot m \cdot p_{zu}$ — сила, обеспечивающая герметичность ФС при гидроиспытании, Н; $F_{np.pab} = \pi D_{np} \cdot b_0 \cdot m \cdot p_{pab}$ — сила, обеспечивающая герметичность ФС при рабочем давлении, Н; $F_{p.zu} = 0,785 D_{np}^2 p_{zu}$ — сила, действующая

на ФС от давления гидроиспытания, Н; $F_{p.zu} = 0,785 D_{np}^2 p_{zu}$ — сила, действующая на ФС от рабочего давления, Н; F_m — сила, действующая на крепеж при температурных перепадах. Н; χ — коэффициент нагрузки (для крышек арматуры можно принять $\chi=0$); D_{np} — средний диаметр прокладки; b_0 — эффективная ширина прокладки; p_{zu} — давление гидроиспытания, Па (кгс/мм²); p_{pab} — рабочее давление среды, Па (кгс/мм²).

Далее определяется удельное давление на прокладку в рабочем состоянии и при гидроиспытаниях при обжатии болтового соединения.

$$q_{0ги} = F_{0ги} / \pi D_{np} \cdot b_0 \text{ (при гидроиспытании)}$$

$$q_0 = F_0 / \pi D_{np} \cdot b_0 \text{ (при рабочих параметрах)}$$

Далее проверяется, соответствие полученного значения q_0 условию $q_{min} m \leq q_0 \leq q_{max}$, если условие выполняется, то прокладка из данного материала может быть использована в данном фланцевом соединении.

Затяжка крепежа при сборке ФС оборудования должна обеспечить герметичность соединения на всех режимах его работы, включая гидроиспытания, при воздействии рабочего и испытательного давления, сил, вызываемых температурными перепадами, массой соответствующих частей оборудования и содержащейся в них рабочей среды, реакцией опор и другими факторами, зависящими от конструкции оборудования и условий его работы.

Крутящий момент, необходимый при затяжке крепежа ФС гаечным ключом

$$M_{кр} = \xi F_{0ги} \cdot d_0 / z, \text{ Н мм (кгс мм)},$$

где z — число шпилек (болтов) ФС, шт; d_0 — наружный диаметр резьбы шпильки, мм; F_0 — сила, которая должна действовать на прокладку в результате затяжки крепежа, Н; ξ — коэффициент, $\xi = 0,37$, если сборка ФС производится без смазки крепежа, и $\xi = 0,26$ при использовании смазки. При этом смазка должна наноситься не только на резьбу крепежных деталей, но и на поверхности контакта гаек с фланцем.

Сила, действующая на прокладку после затяжки крепежа:

$$F_{np.} = F_0$$

Сила, действующая на прокладку при гидроиспытании:

$$F_{np.} = F_0 - (1 - \chi) F_{p.zu}$$

Сила, действующая на прокладку в рабочих режимах:

$$F_{np.} = F_0 - (1 - \chi) F_{p.pab} + F_m$$

Рекомендуемые значения q_{min} и q_{max} в зависимости от материала прокладок приведены в табл. 5.

Таблица 4

Основные типы и характеристики прокладок на основе ТРГ

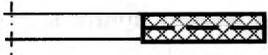
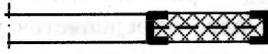
№ п.п	Тип прокладок	Конструкция прокладки	Применение в рабочих средах	Температура.
1	Прокладка ПАГФ фланцевая армированная без обтюратора		При армировании нержавеющей сталью состав рабочих определяется областью применения ТРГ	Для горячего воздуха не более 450°C, для остальных сред определяется областью применения ТРГ
2	Прокладка ПАГФ фланцевая армированная с обтюратором		Расширен диапазон рабочих сред за счет исключения их прямого контакта с ТРГ	Не ограничивается. Определяются стойкостью металла фланцев и обтюраторов
3	Прокладка ПОГФ фланцевая на стальном зубчатом основании		Для стального основания из нержавеющей стали состав рабочих определяется областью применения ТРГ. Стальное основание из углеродистой стали допускается только для нейтральных сред при температуре не более 300°C	Не ограничивается. Определяются стойкостью металла фланцев и стального основания
4	Прокладка ПГФ фланцевая неармированная с обтюратором	 (Применяется в замкнутом объеме, образуемом поверхностями фланцев или ограничителей сжатия)	Расширен диапазон рабочих сред за счет исключения их прямого контакта с ТРГ	Не ограничивается. Определяются стойкостью металла фланцев и обтюраторов.
5	Спирально навитые прокладки (СНП)	Применяются для всех типов фланцев	Особенно широко применяются для герметизации газовых сред	Диапазон применения от -196°C до +600°C

Таблица 5

Значения m , q_{min} , q_{max} для различных конструкций прокладок

№ п.п	Обозначение раздела каталога	Прокладочный коэффициент, m			Минимальное давление обжатия прокладки в рабочих условиях	Допускаемое удельное давление
		рабочая среда				
		жидкости	воздух, пар, пароводяная смесь	газы с высокой проникающей способностью (водород, гелий и др.)	q_{min} , МПа	q_{max} , МПа
1	Прокладка ПГФ фланцевая неармированная с обтюратором без ограничителя сжатия (ОС) по ТУ 5728-016-13267785-99	1,6	2,0	3,0	5,0	200
2	Прокладка ПГФ фланцевая неармированная с обтюратором с Ограничителем сжатия (ОС) по ТУ 5728-016-13267785-99	1,6	2,2	3,2	5,0	до 400
3	Прокладка ПАГФ фланцевая армированная без обтюратора по ТУ 5728-011-13267785-99	2,0	2,5	3,0	5,0	60 при $t=2$ мм*) 50 при $t=3$ мм*)
4	Прокладка ПАГФ фланцевая армированная с обтюратором по ТУ 5728-011-13267785-99	2,0	2,3	3,0	5,0	100
5	Прокладка ПОГФ фланцевая на стальном зубчатом основании по ТУ 5728-012-13267785-99	2,0	3,0	4,0	8,0	До 400
6	Прокладка ПЗГФ фланцевая завальцованная по ТУ 5728-014-13267785-99	3,5	6	8	160	350

* t — толщина прокладки, мм

Литература

1. Кижнер А.Х., Корзун И.И. Ремонт пароводяной арматуры энергетических блоков. - М.: Энергия, 1976, 88с.
2. Имбрицкий М.И. ремонт арматуры мощных энергетических блоков. – М.:Энергия, 1978, 232 с.
3. Борохов А.М., Гашнин А.С., Додонов Н.Т. Волокнистые и комбинированные сальниковые уплотнения. М.: Машиностроение, 1966, 312 с.

ДЕЦЕНТРАЛИЗАЦИЯ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ

Козлов А.И., к.т.н. БОИМ, Герасимова А.Г., к.т.н. БНТУ

Одним из энергоносителей, практически на каждом промышленном предприятии является сжатый воздух, вырабатываемый в компрессорных цехах. На его производство затрачивается весомая доля электроэнергии в топливном балансе предприятия.

Средняя норма на его производство по данным Минпрома – порядка 110-120 кВтч/тыс.м³ сжатого воздуха давлением 7 бар.

Например, на Минском подшипниковом заводе вырабатывается около 100 млн.м³/год. Нетрудно подсчитать, что расход электроэнергии за год на производство сжатого воздуха составит порядка 5-8 млн.кВт·ч/год. Это при современных тарифах на электроэнергию сумма внушительная.

Одним из реальных путей экономии ТЭР при производстве сжатого воздуха является детальный энергоаудит его потребления, особенно требуемых параметров (давление и количество), необходимости пневматических устройств, привода и т.д. При этом необходимо исходить из того, какого класса сжатый воздух по ГОСТу 17433-80 или DIN ISO 8573-1 необходим в том или ином случае (табл.1.) в том или ином случае, т.к. цена сжатого воздуха будет прямо зависеть от области его применения.

Т.е. чем выше класс, тем больше затраты энергии на его очистку и осушку.

Кроме этого нужно учитывать количество СВ с учетом его временной потребности $V(\tau)$, м³/ч.

Таким образом каждый потребитель должен обеспечиваться СВ в зависимости

$$P = f(V(\tau), p, T, K)$$

где V — объем потребляемого СВ, $V = f(n)$, м³/ч; здесь n — число оборотов на валу компрессора; p — необходимое давление в МПа у потребителя, $p = f(n^2)$; T — температура СВ; K — класс СВ.

Таблица 1

Классы качества сжатого воздуха по DIN ISO 8573-1

Класс	Твердые	Вещества	Содержание воды	Содержание масла
	Максимальный размер частиц, мкм	Максимальная плотность частиц, мг/м ³	Максимальная точка росы, °С	Максимальная концентрация масла, мг/м ³
1	0,1	0,1	-70	0,01
2	1	1	-40	0,1
3	5	5	-20	1
4	15	8	+3	5
5	40	10	+7	25
6	-	-	+10	-
7	-	-	не определена	-

В конечном итоге необходимая мощность, потребляемая в компрессорной (N), $N = f(n^2)$. Она должна обеспечивать дифференцированную выработку СВ потребителям, т.е. компрессоры, воздуходувки, вентиляторы должны в первую очередь быть оснащены частотными преобразователями.

Расчеты показали, что только на стадии производства СВ можно сэкономить до 30% потребляемой э/э. Например, замена одного компрессора серии KB-200 с двигателем $N=50$ кВт, производительностью 4500 м³/ч на современный серии СБЧ/Ф — 500.АВ981Т (тандем) с суммарной мощностью 15кВт при той же производительности сэкономят только на установочной мощности

$$\Delta = 50 - 15 = 35 \text{ кВт} \text{ или } 175 \text{ тыс. кВтч в год.}$$

При этом потери на транспорт составят 15% из-за снижения энергетической ценности сжатого воздуха из-за потерь давления, за счет утечек воздуха через неплотности, отверстия, свищи и пр.