

Повышение надёжности уплотнения безфланцевого соединения корпуса и крышки энергетической арматуры

- Исаев О. Ю.¹, ООО “Силур”, Пермь
- Задойный В. А., ЗАО “Энергомаш (Чехов) – ЧЗЭМ”, Московская обл., Чехов

Рассмотрены основные причины разгерметизации уплотнения “плавающей крышки” энергетической арматуры на примере главной паровой задвижки. Предложено решение исключения случаев разгерметизации арматуры с использованием продукции ООО “Силур” и приведены примеры практического применения в условиях реальной эксплуатации на ТЭС и ГРЭС.

Ключевые слова: арматура тепловых электростанций, терморасширенный графит, ТРГ, уплотнения из терморасширенного графита, плетёные сальниковые набивки, прессованные сальниковые кольца из ТРГ, герметичность.

В 90-х годах прошлого столетия в энергетике России был осуществлён повсеместный переход с асбестовых уплотнений для арматуры на уплотнения из терморасширенного графита² (ТРГ). В результате удалось существенно увеличить надёжность сальников, при этом значительно снизилось число аварийных остановов энергоблоков по причине разгерметизации арматуры, что в свою очередь позволило увеличить межремонтный период ТЭС до 4 лет. Технические требования к сальникам из ТРГ и особенности их эксплуатации регламентировались документом РАО “ЕЭС России” – РД 153-34.1-39.605-2002 “Общие требования и указания по применению уплотнений из терморасширенного графита в арматуре ТЭС”.

Уплотнение узла безфланцевого соединения корпуса и крышки энергетической арматуры (в среде специалистов – “плавающей крышки”) также было осуществлено с помощью колец из ТРГ. Это нововведение позволило уменьшить высоту сальниковой камеры и существенно увеличить надёжность соединения, поскольку основным недостатком применяемых ранее асбесто-содержащих уплотнений являлось двух-трёхкратное уменьшение объёма уплотнения и значительное снижение упругих свойств в процессе эксплуатации. Однако поскольку несомненным преимуществом асбестовых уплотнений является их волокнистая структура, асбестовый сальник не выдавливается даже в большие зазоры сальниковой камеры. Сальниковые уплотнения из ТРГ, обладая лучшей упру-

стью, не высыхающие и не стареющие, склонны к экструдированию в зазоры (фото), превышающие 2% ширины поля кольца, под действием высокого давления. (Здесь нужно оговориться, что это все же не эффект хладотекучести, свойственный фторопласту, где уплотнение экструдировано при низких давлениях в крайне малые зазоры.) Для исключения данного негативного свойства кольца из ТРГ снабжают специальными противоэкструзионными (защитными, замыкающими, запирающими)



Разрушение колец ТРГ в узле “плавающая крышка”

¹ Исаев Олег Юрьевич: isaev@sealur.ru

² Графитовый материал, представляющий собой совокупность червеобразных частиц (графитовый пух) с насыпной плотностью, как правило, 1 – 5 г/дм³, полученный термообработкой (термоударом) интеркалированного (окисленного) графита. Как правило, для дальнейшей переработки ТРГ-пух прокатывают без связующего в фольгу или листовые материалы, из которых в дальнейшем изготавливаются уплотнения.

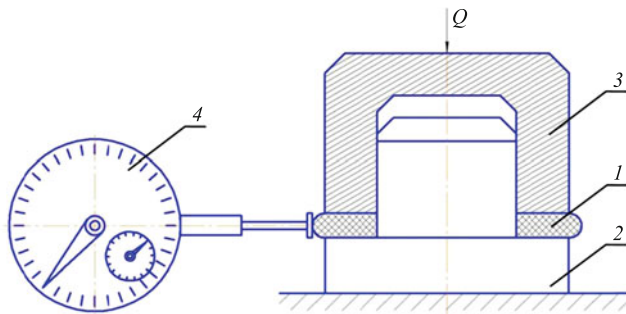


Рис. 1. Схема испытательного стенда по определению упругих свойств колец:

1 – кольцо 00-В-Б-360x305x20-ГФ-2; 2 – пуансон-стержень 360 × 305 мм; 3 – стержень 360 мм; 4 – индикатор часового типа

элементами – обтюраторами тарельчатого или углового типа, а размеры посадочных мест сальниковой камеры выполняют строго в соответствии с конструкторской документацией завода-изготовителя.

Неукоснительное соблюдение технологии изготовления энергетической арматуры, её эксплуатации и ремонта даёт возможность не иметь особых претензий к арматуре, и в частности к герметичности “плавающей крышки”. Однако в последние годы в силу разных факторов – отсутствие финансирования, закупка арматуры на тендерной основе, повышение цен на новую качественную арматуру, снижение квалификации и числа ремонтного персонала – арматура в теплоэнергетике почти не заменяется и при этом зачастую несвоевременно и некачественно ремонтируется. В связи с чем, износ посадочных мест узла безфланцевого соединения корпуса и крышки энергетической арматуры достигает критических значений, что приводит к выбиванию сальников.

Например, согласно конструкторской документации ЧЗЭМ, допуск для расточки корпуса по Н11, что для диаметра 400 мм составит +0,36 мм, а для бывшей в эксплуатации арматуры допуск на расточку корпуса увеличивается до Н13 (согласно упомянутому РД 153-34.1-39.605-2002) и для диаметра 400 мм допуск составит +0,89 мм. Фактические значения диаметра расточки корпуса реально эксплуатируемой арматуры могут превышать номинал на 1 – 1,5 мм.

Примерно такая же картина складывается с размерами крышки и кольца опорного. Суммарно отклонения сопрягаемых деталей сальникового узла приводят к появлению зазоров, достигающих 1 – 1,5 мм.

Разработанные в начале 90-х годов прошлого столетия отечественные кольца из ТРГ, изготовленные по технологии прессования свёрнутой в рулон ленты ТРГ и оснащённые обтюраторами из нержавеющей фольги толщиной 0,2 мм, легко обеспечивали требуемую надёжность сальника, но

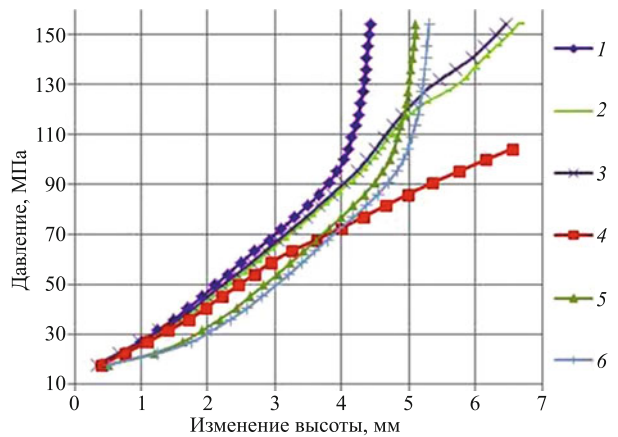


Рис. 2. График изменения высоты кольца в зависимости от прилагаемого давления:

1 – зазор 0,25 мм на сторону; 2 – зазор 1,70 мм на сторону; 3 – зазор 1,70 мм на сторону плюс обтюратор; 4 – зазор 2,50 мм на сторону; 5 – зазор 1,28 мм на сторону плюс запирающий элемент; 6 – зазор 1,70 мм на сторону плюс запирающий элемент

только при соответствии диаметра сальниковой камеры требованиям конструкторской документации ОАО “ЧЗЭМ”, т.е. допуску на диаметр по Н11 и даже Н13. При этом дальнейшее увеличение разности диаметра сальниковой камеры и диаметра прессованного кольца при обжатии приводит к его разрушению, поскольку при обжатии кольца внешние слои графитовой фольги испытывают растягивающие нагрузки, и не находя опоры на стенки корпуса, рвутся.

Защитные элементы – угловые или тарельчатые обтюраторы, предотвращающие экструирование колец из ТРГ в зазор, не превышающий, согласно конструкторской документации, 2% ширины поля кольца, выдавливаются вместе с графитом в “средние” по размеру зазоры и заклинивают “плавающую крышку” либо проваливаются в “большие” зазоры полностью и никак не препятствуют выдавливанию графита из сальниковой камеры.

Таким образом, несоблюдение посадочных размеров узла плавающей крышки вновь выпускаемой арматуры, снижение технологической дисциплины эксплуатации и ремонта арматуры и ограниченные технические возможности традиционных колец из ТРГ являются основными причинами участвовавших случаев выбивания сальников из ТРГ в узле “плавающей крышки” на арматуре высокого давления.

Варианты решения проблемы. Применение мягких плетёных сальниковых набивок из ТРГ, легко подстраивающихся под размер сальниковой камеры, в качестве уплотнения “плавающей крышки” на высоких и сверхвысоких параметрах пара крайне опасно из-за выгорания связующего и выдавливания набивки в зазор. Применение жёстких углеродных набивок в качестве замыкающих колец также не рекомендуется вследствие их разрушения от вибрации (сопровождающей рабо-

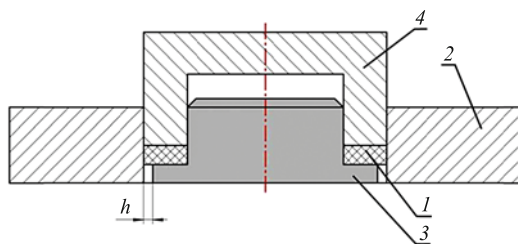


Рис. 3. Схема испытательного стенда по подбору замыкающего элемента:

1 – замыкающий элемент; 2 – матрица 360 мм; 3 – пуансон-стержень 360 × 305 мм; 4 – стержень 360 × 305 мм

ту всего энергетического оборудования) до отдельных микрофиламентов, которые легко продавливаются в зазоры и выдуваются потоком среды.

Для повышения надёжности уплотнения узла “плавающей крышки” специалистами ООО “Силур” разработан сальниковый комплект в составе колец из ТРГ повышенной упругости и запирающих элементов специальной конструкции, обеспечивающих работоспособность сальника при больших зазорах.

Результаты механических испытаний элементов сальника в лабораторных условиях. Изначально была решена задача увеличения наружного диаметра кольца из ТРГ под нагрузкой без разрыва его внешних слоёв. Результаты полугодовой работы представлены в табл. 1. Эксперимент 1 – результат, полученный на кольцах, изготовленных по классической технологии прессования колец; эксперимент 2 – промежуточный результат; эксперимент 3 – лучший результат, удовлетворяющий поставленной задаче. Требуемое максимальное увеличение наружного диаметра сальниковых колец 360 × 305 × 20 мм достигнуто путём подбора оптимального соотношения толщины, ширины и плотности исходной графитовой ленты, но самое главное – применением графитовой ленты с повышенной прочностью и увеличенным относительным удлинением. Схема испытания представлена на рис. 1.

Следующим шагом стала разработка простого, но эффективного замыкающего элемента, способ-

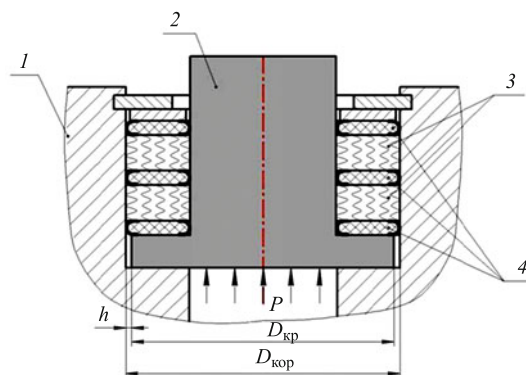


Рис. 4. Макет узла “плавающая крышка”:

1 – корпус; 2 – крышка; 3 – уплотнительное кольцо; 4 – запирающие прокладки с многослойным П-образным обтюратором

ного предотвратить выдавливание колец из ТРГ в увеличенные зазоры. На графике рис. 2 показана способность сальниковых колец с различными конструкциями запирающих элементов воспринимать сжимающие нагрузки и уплотняться без разрушения при наличии зазоров до 1,7 мм. Схема испытания представлена на рис. 3.

Увеличение упругости сальниковых колец обусловлено использованием графитовой фольги с повышенными механическими свойствами: прочность на разрыв увеличена с 4,7 до 6,0 МПа и относительное удлинение – с 0,8 до 1,5%, а также “ноу-хау” конструкции и способа изготовления колец. При этом сальниковое кольцо не имеет обтюратора, а выдавливание в зазор предотвращает запирающий элемент в виде специальной прокладки из ТРГ с многослойным П-образным обтюратором.

Результаты стендовых испытаний на рабочих параметрах. Для проверки результатов лабораторных испытаний и подтверждения работоспособности сальникового комплекта в рабочих условиях в период с января по август 2014 г. на испытательной базе ОАО “ЧЗЭМ” были проведены испытания сальниковых комплектов размером 170 × 145 мм, состоящих из двух уплотнительных колец и трёх запирающих прокладок, расположен-

Таблица 1

Изменение наружного диаметра колец (в миллиметрах) под действием нагрузки

Образец	Нагрузка, МПа						
	5,0	6,0	7,0	8,0	9,5	11,0	13,0
Стандартный	360,1	360,3	360,5	360,7	360,8	Разрушение	–
Эксперимент 1	360,1	360,3	360,6	360,9	361,0	Разрушение	–
Эксперимент 2	360,1	360,3	360,5	360,8	361,3	Разрушение	–
Эксперимент 3	360,1	360,3	360,5	360,8	361,2	361,7	Разрушение

Примечание. Представлены данные изменения наружного диаметра кольца без разрушения под действием сжимающих нагрузок для сальниковых колец 360 × 305 × 20 мм, изготовленных по разным технологиям.

Таблица 2

Состояние комплекта после испытаний

Комплект	Внутренний диаметр корпуса в зоне сальника, мм	
	170,5 ^{+0,3} (макет 1)	171,5 ^{+0,3} (макет 2)
Верхнее кольцо с обтюратором $S = 3,0$ мм	Остаточная толщина графита 2,0 мм	Остаточная толщина графита 2,0 мм
	Обтюратор выдавлен на 1,0 мм	Обтюратор выдавлен на 1,5 мм
Верхнее уплотнительное кольцо $S = 15,0$ мм	Без изменений	Без изменений
Среднее кольцо с обтюратором $S = 3,0$ мм	Остаточная толщина графита 2,0 мм	Остаточная толщина графита 2,0 мм
	Обтюратор выдавлен на 0,5 мм	Обтюратор выдавлен на 0,5 мм
Нижнее уплотнительное кольцо $S = 15,0$ мм	Остаточная толщина графита 14 мм	Остаточная толщина графита 12 мм
	С нижней стороны часть графита выдавлена в сторону кольца с обтюратором	С нижней стороны часть графита выдавлена на 8 мм в сторону кольца с обтюратором
Нижнее кольцо с обтюратором $S = 3,0$ мм	Остаточная толщина графита 2,0 мм	Остаточная толщина графита 2,0 мм
	Обтюратор выдавлен на 3,0 мм	Обтюратор сорван

ных по краям и в середине комплекта. Испытания проводились на двух макетах узла безфланцевого соединения корпуса и крышки энергетической арматуры (рис. 4) со следующими размерами:

	Макет 1	Макет 2
Диаметр расточки корпуса $D_{кор}$, мм	170,8	171,3
Диаметр бурта крышки $D_{кр}$, мм	168	168
Зазор h , мм	1,4	1,65

Размеры пакетов превышали максимально допустимые допуски на новую (согласно конструкторской документации ЧЗЭМ) и находившуюся в эксплуатации (согласно РД 153-34.1-39.605-2002) арматуру:

	Новая арматура	Арматура, находившаяся в эксплуатации
Диаметр расточки корпуса $D_{кор}$, мм	170,25	170,63
Диаметр бурта крышки $D_{кр}$, мм	169,857	169,5
Зазор h , мм	0,197	0,565

Испытания проводились при давлении 30,0 МПа и температуре 300°C. Выполнено по 100 циклов подъема и сброса давления. В обоих случаях сальник остался герметичным. Состояние сальника в макете 1 можно считать удовлетворительным, но в макете 2 обтюратор был полностью выдавлен в зазор, а нижнее кольцо имело облой 8 мм, что не может считаться приемлемым. Описание состояния комплектов после испытаний приведено в табл. 2.

По результатам стендовых испытаний можно сделать следующие выводы:

уплотнительные кольца из ТРГ производства ООО “Силур”, выполненные по новой техноло-

гии, действительно способны упруго расширяться без разрушения под действием сжимающих нагрузок и могут применяться в расточке корпуса с отклонением по диаметру 1,3 – 1,5 мм, в частности, для диаметров до 180 мм – по Н15, свыше диаметра 180 мм – по Н14;

комплект с запирающими прокладками с П-образным обтюратором производства ООО “Силур” можно рекомендовать для герметизации сальниковых камер с зазором до 1 мм;

при зазорах больше 1,0 мм необходимо дополнительно использовать стальное подкладное кольцо толщиной 3 мм с диаметральным размером, меньшим диаметра расточки корпуса на 0,7 – 1,5 мм (в описанном эксперименте неудовлетворительный результат был получен при зазоре 1,65 мм, а меньший зазор 1,4 мм показал хорошие результаты; предложение же использовать подкладное кольцо при вполне “рабочем” зазоре 1 мм связано с тем, что межремонтный период энергетической арматуры 4 года, а за это время коррозия может увеличить зазор до критического).

Правильность предложенного технического решения подтверждается успешной эксплуатацией в течение продолжительного периода разработанных ООО “Силур” комплектов сальников на главных паровых задвижках, клапанах ПВД и другой энергетической арматуре высокого давления. Комплект колец для “плавающей крышки” КП-12-2-310 × 270-29-ГФ-2 на впускном клапане ПВД на Среднеуральской ГРЭС успешно эксплуатируется с 2016 г. по сегодняшний день; комплекты колец КП-12-2-360 × 305-64-ГФ-2 на обратных клапанах ПЭН и ПТН, а так же КП-12-2-250 × 210-49-ГФ-2 на главной паровой задвижке в условиях эксплуатации Рефтинской ГРЭС отработали штатно в течение всего межремонтного периода – 5 лет.