

# Об уплотнениях ШТОКОВ КЛАПАНОВ ПАРОВЫХ ТУРБИН

Б.Н. Агафонов, Н.Б. Агафонов, В.Г. Колыванов, О.Н. Полетаев, Н.А. Татаринев

*Описаны и проанализированы непроточные герметичные соединения (НГС) «шток-букса» клапанов паровых турбин. Показана перспективность использования сальниковой набивки из терморасширенного графита в НГС «шток-букса» для регулирующих и стопорных клапанов высокого давления мощных паровых турбин.*



<http://www.energyland.info.analitic/type>

**П**опытки ликвидации отсосов пара из регулирующих и стопорных клапанов наблюдаются, по существу, с момента появления самой запорно-регулирующей арматуры на паровых турбинах. И лишь в последние десятилетия наметился заметный прогресс в создании материалов, которые могут быть применены в непроточных герметичных соединениях (НГС) «шток-букса» клапанов паровых турбин.

Конструктивно НГС представляет собой классический сальник, работающий следующим образом. Грундбукса сжимает сальник в сальниковой камере, осевое усилие перераспределяется, деформируя сальник и переводя его в условия, близкие к условиям всестороннего сжатия. В этом случае на цилиндрических уплотняемых поверхностях (стенки камеры в буксе и штока) действуют контактные давления, величина которых может быть значительной. Следовательно, в радиальном направлении материал сальника должен обладать хорошей упругостью и пластичностью.

Материал сальника, работающего в узле уплотнения «букса-шток» клапанов паровых турбин, должен отвечать следующим требованиям:

- иметь термостойкость до 570 °С и обеспечивать герметичность узла на протяжении межремонтного срока службы основного оборудования;
- обладать низкой коррозионной активностью по отношению к материалу штока клапана;
- иметь высокие антифрикционные свойства в зоне контакта с поверхностью штока;

- сохранять физико-химические характеристики в течение всего срока эксплуатации;
- обладать высокими технологическими свойствами, позволяющими реализовать конструкцию НГС.

Обсудим кратко основные материалы, применяемые в НГС «шток-букса» клапанов паровых турбин, и, соответственно, конструктивные схемы исполнения сальниковых узлов.

Первым успешным опытом применения НГС «шток-букса» был опыт ОАО «Ленинградский металлический завод», который установил жидкометаллические уплотнения (ЖМУ) штоков регулирующих клапанов высокого давления на турбинах К-300-240 Конаковской ГРЭС [1]. С 1982 года – года установки первых ЖМУ – конструкция ЖМУ претерпела небольшие изменения и в настоящее время применяется в следующем виде [2].

Двухкамерное уплотнение (рис. 1), как правило, размещается в крышке паровой коробки регулирующего клапана и обеспечивает герметизацию штока относительно внешней среды за счет применения промежуточного легкоплавкого металлического наполнителя, который в рабочих условиях находится в расплавленном состоянии. Герметизация легкоплавкого наполнителя относительно рабочей и внешних сред, размещенного в первой сальниковой камере, осуществляется с помощью колец, спрессованных из порошка графита, имеющих капиллярную структуру и несмачиваемых легкоплавким наполнителем. Вторая сальниковая камера заполняется только графитовыми кольцами.

За прошедшие годы накоплен большой опыт установки и эксплуатации ЖМУ штоков клапанов паровых турбин. Однако, несмотря на очевидные достоинства (решается главная задача: уплотнение штока клапана), выявились и серьезные недостатки:

- уплотнение не дает 100 % гарантии герметичности соединения «шток-букса», имеются случаи потери герметичности этого соединения в течение межремонтного периода работы основного оборудования, причем время выхода соединения из работы невозможно предсказать;
- низкий ресурс уплотнения – 4-5 лет, в том числе и вследствие старения легкоплавкого металлического наполнителя;

- наличие ЖМУ в клапане затрудняет выполнение, например, ремонтных работ на системе парораспределения турбины;
- значительные габариты ЖМУ при модернизации системы парораспределения турбины требуют изготовления новых боксы и крышки паровой коробки клапана. Это, естественно, приводит к существенному удорожанию модернизации всей системы.

ЖМУ штоков клапанов паровых турбин создавались на базе опыта, накопленного исследователями и производителями запорно-регулирующей арматуры для трубопроводов ТЭС и АЭС [3]. Доработка, в основном, касалась вопросов снижения величины коэффициента бокового трения в узле уплотнения до величины, обеспечивающей реакцию системы парораспределения на управляющее воздействие в течение нескольких миллисекунд. Величина усилия «страгивания» в этом случае не должна превышать 400 кгс.

Несмотря на, казалось бы, удачное решение вопроса создания НГС «шток-букса», указанные выше недостатки ЖМУ побудили к поиску иных материалов для сальника. Однако здесь мы не будем рассматривать попытки различных организаций использовать новые материалы для сальника НГС «шток-букса», а остановимся лишь на тех работах, которые завершились созданием такого сальника.

Базой для его создания послужили разработки последних десятилетий в области использования уплотнительных материалов из терморасширенного графита (ТРГ) для арматуры ТЭС и АЭС. Одним из этапов этой работы явился РД 153-34.1-39.605-2002 [4], который определил технические требования к комплектации и сборке узлов арматуры с уплотнениями из ТРГ при ее проектировании, изготовлении и поставке, при выполнении работ по ремонту и эксплуатации.

ЗАО «ЭНЕРГОТЕХ» и ЗАО «НПФ «ЦКБА» провели исследования различных материалов сальника из ТРГ для НГС «шток-букса» для регулирующих клапанов высокого давления, работающих на паре с давлением 240 ата и температурой 540 °С. Для этой цели была создана экспериментальная установка (рис. 2), в которой моделировались условия рабочей среды для НГС «шток-букса» при сохранении натур-

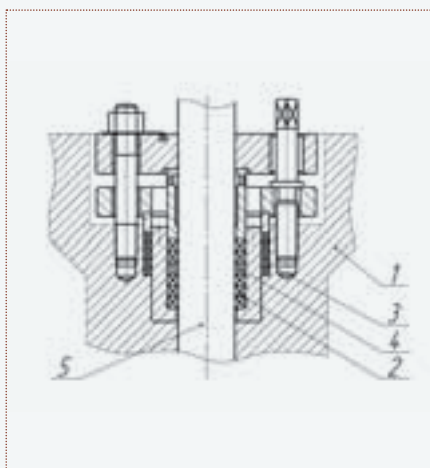


Рис. 1. Конструктивная схема жидкометаллического уплотнения:  
1 – крышка паровой коробки, 2 – первая сальниковая камера, 3 – вторая сальниковая камера, 4 – жидкометаллическое кольцо, 5 – шток

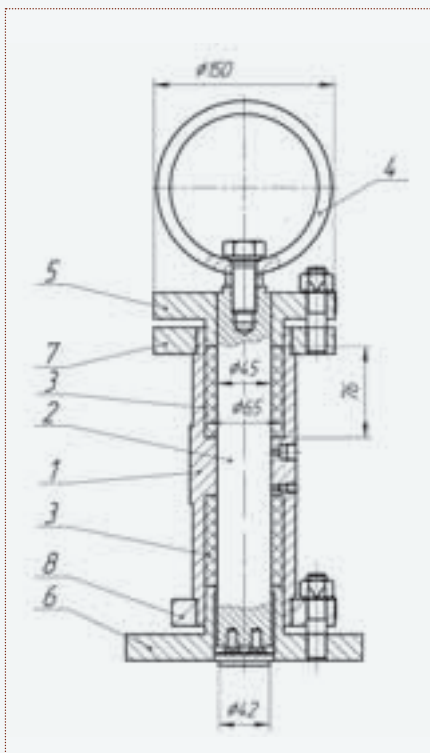


Рис. 2. Экспериментальная установка:  
1 – букса, 2 – шток, 3 – сальник, 4 – динамометр, 5 – верхняя грундбукса, 6 – нижняя грундбукса, 7 – фланец верхний, 8 – фланец нижний



ных размеров сальниковой камеры и сальника, а также материала и диаметра штока. В качестве первого варианта сальниковой набивки был выбран серийный комплект сальников типа 9000EVSP фирмы «INKLA TRADING & ENGINEERING GmbH». При этом усилия затяжки сальниковых набивок соответствовали штатным усилиям, обеспечивающим герметичность регулирующих клапанов турбины К-300-240, т.е. усилиям затяжки ЖМУ.

Основной измеряемой характеристикой в опытах являлось усилие «страгивания», т.е. усилие, прикладываемое к штоку в момент его перехода из состояния покоя в состояние движения. Эта характеристика является базовой при выборе гидравлического сервомотора, посредством которого осуществляется управление клапаном. Измерения проводились при различном количестве предварительно проведенных циклов расхаживания, оценивалось влияние сухого трения, наличие конденсата под давлением в зазоре шток-букса, температуры рабочей среды в этом зазоре. В частности, 200 циклов предварительного расхаживания НГС «шток-букса» позволяли получать стабильные и воспроизводимые результаты измерений усилия «страгивания» при оценке влияния указанных выше факторов, при этом число повторных, независимых измерений доходило до 100.

Не вдаваясь подробно в анализ результатов этих опытов, отметим следующее: применение серийной сальниковой набивки из ТРГ и штатной технологии обработки поверхности штока не дает требуемого результата – это усилие отличается от граничного в 2-3 раза. Кроме этого, в одной из сальниковых набивок наблюдалось выдавливание проволоочного каркаса за пределы кольца и его взаимодействие с поверхностью штока.

Полученный результат потребовал кардинально изменить подход как к формированию сальниковой набивки, так и к технологии изготовления элементов, образующих НГС «шток-букса». Для снижения силы трения в НГС были выполнены следующие мероприятия:

**в сальниковой набивке:**

- кольца, имеющие конусную форму исполнения, были заменены на плоские;
- уменьшена примерно на треть осевая длина набивки;
- изменен состав колец сальниковой набивки;
- в качестве опорных и нажимных элементов применены подшипниковые втулки из высокопрочного углеродного материала «УГЛЕКОН-Т», имеющим коэффициент трения не более 0,11;
- на внутренние поверхности колец из ТРГ нанесено аэрозольное покрытие на основе нитрида бора, которое в процессе приработки внедряется в поверхность колец и снижает коэффициент трения графита;

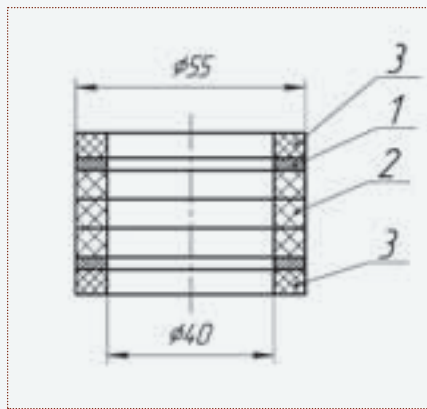


Рис. 3. Сальниковая набивка для НГС «шток-букса» регулирующего клапана высокого давления турбины Р-50-130: 1 – кольцо слоеное – 2 шт., 2 – кольцо уплотнительное, фольга ТРГ – 3 шт., 3 – подшипник – 2 шт.

**в конструкции:**

- ужесточены требования по осности штока и сальниковой камеры;
- поверхность штока в зоне взаимодействия с сальниковой набивкой покрыта специальным минеральным составом.

Совокупность выполненных изменений привела к тому, что усилие страгивания штока в НГС «шток-букса» не превысило 400 кгс. Следует заметить также, что втулки из материала «УГЛЕКОН-Т» имеют пористую структуру контактной поверхности, на которой осаждаются частицы из ТРГ, налипающие на поверхность штока при его перемещении. В результате на втулках создается

защитный слой, препятствующий механическому выносу уплотнительного материала за пределы набивки.

На рис. 3 представлена конструктивная схема сальниковой набивки, которая использована в регулирующих клапанах высокого давления турбины Р-50-130 (рис. 4) Пермской ТЭЦ-14. Аналогичные схемы сальниковой набивки ЗАО «ЭНЕРГОТЕХ» использует в стопорном клапане высокого давления и сбросном клапане турбины К-300-240 Рязанской ГРЭС, а также в турбинах собственного производства, но на более низкие параметры пара: 25 ата, 350 °С и 35 ата, 450 °С.

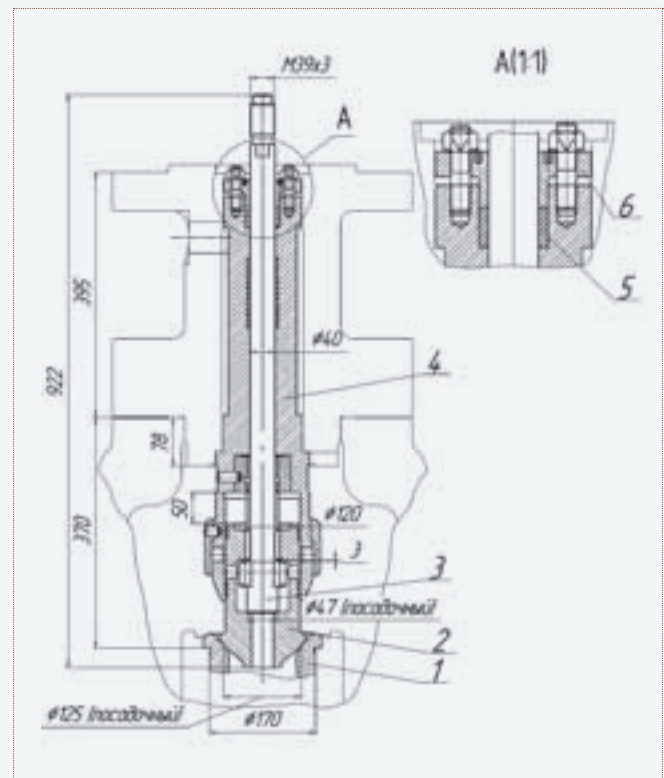


Рис. 4. Клапан регулирующий высокого давления турбины Р-50-130: 1 – седло, 2 – клапан, 3 – шток, 4 – букса, 5 – сальник, 6 – втулка сальника

Следовательно, не только экспериментальные результаты, полученные на стенде, но и опыт эксплуатации на турбинах позволяет утверждать, что сальники на основе ТРГ удовлетворяют требованиям, изложенным выше, а конструкция НГС «шток-букса» обеспечивает:

- 100 % гарантию герметичности соединения;
- ресурс до 10 лет;
- для большинства конструкций регулирующих, стопорных, сбросных и прочих клапанов не требуется замены крышек паровых коробок, поскольку уплотнение может быть размещено непосредственно в буксе клапана;
- стоимость сальника на основе ТРГ приблизительно на 30 % ниже, чем аналогичного жидкометаллического сальника;

- стоимость модернизации парораспределения паровых турбин с высокогерметичным уплотнением (ВГУ) на основе ТРГ приблизительно на 30-40 % ниже по сравнению со стоимостью аналогичной модернизации парораспределения с ВГУ на основе ЖМУ.

Таким образом, несмотря на многочисленные неудачные попытки различных компаний создать сальниковую набивку из ТРГ для НГС «шток-букса» регулирующих клапанов высокого давления паровых турбин, ЗАО «ЭНЕРГОТЕХ» и ЗАО «НПФ «ЦКБА» удалось подобрать компоненты и состав сальниковой набивки, отвечающей требованиям РД 153-34.1-39.605-2002, и предложить надежное НГС «шток-букса» для систем парораспределения мощных паровых турбин.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Левин А.Я., Израилевский Л.Б., Созаев А.С. Применение жидкометаллических уплотнений в регулирующих клапанах мощных паровых турбин. // *Электрические станции*, 1985, № 1.
2. Патент на изобретение РФ, № 2239112, кл. МПК: F16j15/18, опубли. 27.10.2004, БЮЛ. № 30.
3. РД РТМ 26-07-252-82. Жидкометаллические уплотнения штоков задвижек для паровых и водяных сред. Организация н/я А-3398, 1982.
4. РД 153-34.1-39.605-2002. Общие требования и указания по применению уплотнений из терморасширенного графита в арматуре ТЭС. М. РАО «ЕЭС России», 2002.