

Т а б л и ц а 2. Элементы систем

Преобразователь (элемента)	Назначение и особенности
Крепежная оснастка	Для оперативного и надежного закрепления преобразователей на элементах внутрикорпусных устройств Особенности — включает в себя набор установочных втулок, защитных колпаков, крышек, ниппелей и желобов, существенно сокращает время монтажа непосредственно во внутриреакторном объеме
Защитные сегменты	Для защиты измерительных трасс при их прокладке в зоне перфорации внутрикорпусной шахты Особенности — представляет собой коррозионно-стойкие диски и сегменты, диаметр которых соответствует диаметру отверстий в перфорированной части шахты, устанавливаются сваркой по нескольким образующим шахты в осях прокладки измерительных трасс
Направляющие каналы	Для прокладки измерительных трасс по обечайке блока защитных труб Особенности — представляют собой защитные трубы, ввариваемые в верхнюю и среднюю плиты обечайки, существенно облегчают установку блока защитных труб с помощью полярного крана
Блок выводов	Для вывода и уплотнения измерительных трасс на выходе из внутриреакторного объема Особенности — представляет собой разъемную эллиптическую трубную доску с отверстиями под измерительные трассы, устанавливается на период испытаний на чехол привода СУЗ вместо датчика перемещений системы СУЗ, снабжен нижним фланцевым разъемом, аналогичным разъему датчика перемещений, и уплотняется по штатной технологии, измерительные трассы протягиваются через отверстия трубной доски и уплотняются с использованием прокладок из расширенного графита
Герметизирующие наконечники	Для уплотнения защитных трубок измерительных преобразователей. Исключают протечки теплоносителя из реактора при повреждении защитной трубки при сборке реактора Особенности — представляют собой цилиндрические стаканы, привариваемые к свободным концам измерительных трасс после окончания монтажных работ, заливаются эпоксидной смолой для герметизации соединительных линий по внутренней поверхности защитных трубок
Блок разъемов	Для соединения измерительных трасс с вторичным кабелем Особенности — представляет собой клеммное устройство, устанавливаемое на верхнем блоке реактора вблизи от блока выводов, оснащен согласующими электронными блоками для снижения электрических помех и повышения качества измерений, схемы распайки вторичного кабеля обеспечивают 6-проводную связь датчика с вторичной аппаратурой

УДК 621.039.53

МОДЕРНИЗАЦИЯ УПЛОТНИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ПАРОГЕНЕРАТОРОВ АЭС С ВВЭР-440, -1000

Геронтьев А.Е., Страхов А.А., Конюшков А.Г., Алексеев Д.Е.

Многолетний опыт эксплуатации уплотнительных устройств разъемных соединений оборудования реакторных установок, в том числе парогенераторов с прутковыми никелевыми прокладками выявил недостатки, которые со временем усугубляются. Из-за повреждаемости уплотнительных поверхностей фланцев вследствие

чувствительности к качеству прутковых никелевых прокладок и отклонению от проектных условий эксплуатации требуются высокие усилия затяжки для обеспечения их герметичности. Так, на Ровенской АЭС в 1982 г. по причине отклонения от проектных условий эксплуатации уплотнительного устройства коллектора первого контура ПГВ-440 произошло нарушение его герметичности, которое привело к коррозионно-усталостному разрушению шпилек и частичному разрушению шпильчных гнезд во фланце. Данные разрушения обусловлены повышением агрессивности теплоносителя первого контура на перегретых поверхностях при протечках из первого контура во второй, усиленным значительным усилием затяжки шпилек над проектным.

Герметичность уплотнительных устройств зависит от многих трудно учитываемых факторов, конструкции и условий эксплуатации, поэтому расчеты на герметичность не всегда дают надежные результаты. После аварии на Ровенской АЭС в ОКБ «Гидропресс» было принято решение об испытаниях вновь проектируемых и эксплуатируемых уплотнительных устройств разъемных соединений на полномасштабных моделях в условиях, максимально приближенных к натурным.

Стендовые испытания моделей уплотнительных устройств парогенераторов. С 1982 г. исследовательские работы были направлены на обоснование герметичности и прочности уплотнительного устройства первого контура ПГВ-440. Для этого был создан стенд, оборудование которого позволяет проводить испытания полномасштабных моделей уплотнительных устройств ПГВ-440, -1000 при имитации проектных режимов нормальной эксплуатации, а также режимов с нарушением в работе оборудования реакторных установок.

На стенде испытывали:

- уплотнительное устройство коллектора первого контура ПГВ-440 с прутковыми никелевыми прокладками и прокладками из терморасширенного графита;

- уплотнительные устройства коллектора первого контура и люка Ду800 второго контура ПГВ-1000 с прутковыми никелевыми прокладками и прокладками из терморасширенного графита, а также уплотнительное устройство люка-лаза второго контура с прокладками из терморасширенного графита.

При стендовых испытаниях моделировали следующие режимы:

- гидравлические испытания первого и второго контуров проектным давлением для оборудования парогенератора при его испытаниях на герметичность и прочность;

- плановый разогрев парогенератора;

- стационарный при номинальных параметрах (проектные рабочее давление и температура в первом и втором контурах и уровень воды во втором контуре);

- плановое расхолаживание парогенератора;

- расхолаживание парогенератора с повышенной скоростью изменения параметров;

- расхолаживание парогенератора в случае срабатывания аварийной защиты при начальных номинальных параметрах с последующим разогревом и выходом на стационарный режим с номинальными параметрами;

- расхолаживание парогенератора при открытии и последующем отказе на закрытие предохранительного клапана паропровода второго контура при начальных номинальных параметрах с последующим разогревом и выходом на стационарный режим с номинальными параметрами;

заброс воды при несрабатывании регулятора питания парогенератора при номинальных параметрах в первом и втором контуре путем повышения уровня воды во втором контуре с проектной скоростью до залива крышки коллектора;

расхолаживание парогенератора при разрыве парового коллектора при начальных номинальных параметрах;

подключение ГЦН.

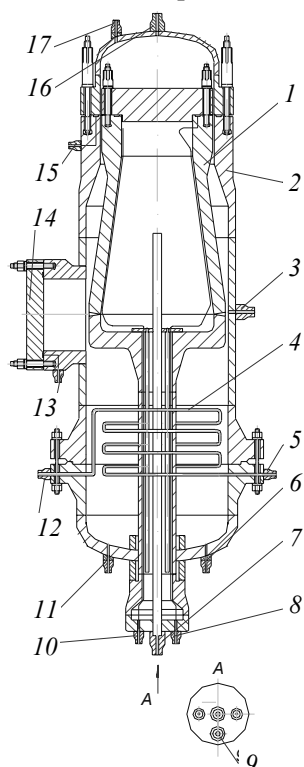
Моделируемые режимы с нарушением в работе оборудования выбирались из условия максимальных амплитуд и скоростей изменения параметров, влияющих на температурное и напряженно-деформированное состояние уплотнительных устройств парогенераторов.

На рис. 1 для примера представлена конструктивная схема модели уплотнительных устройств ПГВ-1000 с тремя исследуемыми уплотнительными устройствами. Модель представляет собой верхнюю часть коллектора первого контура парогенератора, помещенную в герметичную емкость, в верхней части которой расположено уплотнительное устройство люка Ду800 второго контура парогенератора, на боковой поверхности расположено уплотнительное устройство люка-лаза парогенератора Ду500. В емкости моделируются параметры второго контура парогенератора. Через соответствующие штуцера модели контролируются протечки и давление в межпрокладочных полостях уплотнительных устройств. Для определения деформаций прокладок и радиальных перемещений фланцев относительно крышек при затяжке и гидравлических испытаниях на периферии крышек уплотнительных устройств устанавливали индикаторы перемещений типа ИЧ-10.

Стендовые испытания показали, что уплотнительное устройство коллектора первого контура ПГВ-440 с прутковыми никелевыми прокладками является напряженным по герметичности и прочности:

при имитации режима непреднамеренного открытия и последующего отказа на закрытие предохранительного клапана в паропроводе парогенератора происходит временное нарушение герметичности внутренней прокладки при расхолаживании через 0,1—0,2 ч от начала режима. Герметичность восстанавливается при выходе на номинальный режим через 0,9—1,1 ч от начала режима;

при имитации режима разрыва паропровода парогенератора при максимальном изменении теплогидравлических параметров относительно номинальных происходит нарушение герметичности наружной прокладки (давление



Р и с. 1. Конструктивная схема модели уплотнительных устройств ПГВ-1000: 1 — верхняя часть коллектора первого контура; 2 — уплотнительное устройство люка Ду800 второго контура; 3, 16 — штуцер отвода пара из второго контура модели; 4 — встроенный подогреватель воды второго контура; 5, 12 — штуцер подвода и отвода воды первого контура из встроенного подогревателя; 6 — штуцер подвода воды во второй контур модели; 7, 9 — штуцер подвода и отвода воды первого контура; 8, 13, 15 — штуцер отвода протечек из межпрокладочных полостей уплотнительных устройств; 10 — штуцер воздушника первого контура модели; 11, 17 — штуцер уровнемера второго контура модели; 14 — уплотнительное устройство люка-лаза

ние в межпрокладочной полости равно давлению среды второго контура). При выходе на номинальный режим герметичность наружной прокладки восстанавливается, внутренней — нарушается (давление в межпрокладочной полости равно давлению среды первого контура при номинальных параметрах). Данный режим требует вывода ПГВ-440 из работы для ревизии уплотнительного устройства коллектора первого контура;

режим заброса воды при заливе крышки уплотнительного устройства коллектора первого контура парогенератора, а также заворачивание шпилек в гнезда фланца коллектора до упора являются особо неблагоприятными факторами, которые могут привести к повреждаемости шпилечных гнезд при проектных усилиях затяжки.

На маломасштабной модели исследовано влияние относительных радиальных перемещений фланцев, увеличение шероховатости уплотнительных поверхностей фланцев и прокладок, повышение исходной твердости прокладок на герметизирующую способность прутковых никелевых прокладок в трапецеидальных канавках. Перечисленные факторы, а также отрицательная разновысотность прокладок (превышение исходного выступа наружной прокладки над внутренней) снижают герметизирующую способность уплотнительных устройств парогенераторов.

Следует отметить, что режимы с нарушением нормальных условий эксплуатации, а также отклонения от проектных технологических требований (перетяг шпилек, заворачивание шпилек до упора в шпилечные гнезда в фланце, качество уплотнительных поверхностей фланцев и прокладок, исходная твердость прокладок, отрицательная разновысотность прокладок) по сравнению с другими уплотнительными устройствами парогенераторов особенно неблагоприятны для уплотнительного устройства коллектора первого контура ПГВ-440, поэтому повышенные требования герметичности при допустимом напряженном состоянии для него особенно актуальны.

Герметичность любого уплотнительного устройства разъемного неподвижного соединения с металлическими прокладками определяется не только микрогеометрией уплотнительных поверхностей и контактным давлением, но и дефектами уплотнительных поверхностей. Дефекты являются основной причиной нарушения герметичности неподвижных соединений, поэтому их выявление и устранение являются первоочередными задачами для эксплуатируемых уплотнительных устройств с металлическими прокладками. При увеличении шероховатости уплотнительных поверхностей фланцев для обеспечения герметичности требуются повышенные нагрузки обжатия прокладок, что в свою очередь приводит к формоизменению и повреждению уплотнительных поверхностей фланцев и требует восстановительных работ при планово-предупредительном ремонте. Качество никелевой проволоки для изготовления прокладок уплотнительных устройств парогенераторов играет также немаловажную роль.

Следует отметить противоречивость полезных свойств упругости и пластичности металлических прокладок. Так, с увеличением пластичности металла снижаются его пределы текучести и прочности, что приводит к потере упругости, и наоборот.

При повышенных требованиях к безопасности реакторных установок герметичность стала особенно актуальной, поэтому в ОКБ «Гидропресс» с 1991 г. проводится поэтапная модернизация уплотнительных устройств в разъемных соединениях с применением прокладок из терморасширенного графита — материала, лишённого присущих металлическим прокладкам недостатков.

Преимущества прокладок из терморасширенного графита. Ими являются:

высокая пластичность в большом диапазоне нагрузок обжаривания, которая позволяет максимально заполнить материалом прокладки микронеровности и дефекты уплотнительных поверхностей фланцев. Поэтому эти прокладки в разъемных неподвижных соединениях нечувствительны к качеству уплотнительных поверхностей фланцев;

высокая упругость (более чем в 10 раз выше по сравнению с металлическими прокладками) допускает большие осевые и угловые перемещения фланцев, а в совокупности с высокой пластичностью — и радиальные относительные перемещения фланцев.

Высокая пластичность и упругость прокладок из терморасширенного графита обеспечивают герметичность уплотнительных устройств разъемных неподвижных соединений при высоком давлении в широком диапазоне снижения усилий на прокладках, пониженные нагрузки обжаривания прокладок — неповреждаемость уплотнительных поверхностей фланцев. При этом уменьшаются начальные усилия затяжки шпилек, что снижает повреждаемость элементов уплотнительных устройств (шпильки, гайки и резьбовые гнезда в фланцах).

Следует также отметить, что в процессе обжаривания прокладки из терморасширенного графита в замкнутом объеме увеличиваются ее плотность и упругая деформация при сохранении достаточной пластичности, т.е. свойства пластичности и упругости непротиворечивы. Данные прокладки можно использовать до 450 °С в окислительных средах и до 3000 °С в инертных средах и вакууме. Они устойчивы к агрессивным средам и ионизирующему излучению, не оказывают коррозионного и адгезионного влияния на детали уплотнительных устройств, стойки к релаксации и старению, экологически чисты.

Комплексные стендовые испытания, проводимые на натурной модели при имитации проектных режимов эксплуатации, позволили выбрать оптимальную конструкцию уплотнительного устройства коллектора первого контура (Dy480) ПГВ-440 с прокладками из терморасширенного графита.

На рис. 2 представлены два испытанных варианта конструкции уплотнительного устройства коллектора первого контура ПГВ-440, которые внедрены на АЭС. Их особенностью является гарантированный контакт межпрокладочной торцевой поверхности фланца с крышкой после затяжки шпилек для варианта 1 и контакт промежуточного кольца с крышкой для варианта 2. Именно данное техническое решение позволило при оптимальной исходной плотности прокладок из терморасширенного графита обеспечить герметичность уплотнительного устройства во всех моделируемых режимах (включая аварийный режим разрыва паропровода парогенератора) при значительно меньшем усилии затяжки (на 44% меньше относительно усилия затяжки уплотнительного устройства с никелевыми прокладками). Таким

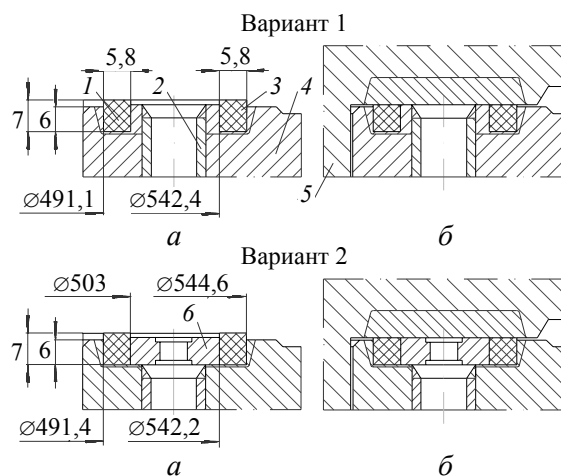
образом, модернизация уплотнительного устройства позволила решить проблемы герметичности и прочности, присущие данному уплотнительному устройству с прутковыми никелевыми прокладками.

Внедрению прокладок из терморасширенного графита в уплотнительных устройствах парогенераторов предшествовала оптимизация конструкции и технологии изготовления прокладок и оснастки для их изготовления. Так, в процессе стендовых испытаний были определены оптимальные геометрические характеристики и оптимальная исходная плотность прокладок. Разработанная оснастка (пресс-формы) позволяет обеспечить данные характеристики по всему периметру прокладок. Конструкция и технология изготовления прессформ обеспечивают минимальные зазоры между сопрягаемыми деталями оснастки и минимальные отклонения от круглости сопрягаемых деталей, влияющих на технологические характеристики прокладок.

С 1999 по 2005 г. поэтапно модернизировали уплотнительные устройства коллекторов первого контура ПГВ-440 на Кольской, Нововоронежской и Ровенской АЭС.

Положительный опыт эксплуатации дал основание для модернизации уплотнительных устройств ПГВ-1000М с применением прокладок из терморасширенного графита. За основу принят более технологичный вариант 1 уплотнительного устройства коллектора первого контура ПГВ-440, в котором не требуется изготовления промежуточного металлического кольца.

Заключение. В 2001—2003 гг. в ОКБ «Гидропресс» проведены стендовые испытания модернизированных уплотнительных устройств коллектора первого контура, люка Ду800 второго контура и люка-лаза ПГВ-1000 с прокладками из терморасширенного графита. Во всех моделируемых режимах эти уплотнительные устройства обеспечивают герметичность при снижении усилий затяжки шпилек по сравнению с проектными. На основании результатов стендовых испытаний разработана конструкторская документация и принято решение об опытной эксплуатации ПГВ-1000М с модернизированными уплотнительными устройствами коллектора первого контура (Dу500), люка Ду800 второго контура и люка-лаза второго контура (Dу500).



Р и с. 2. Конструкции уплотнительных устройств коллекторов первого контура ПГВ-440 до установки крышки (а) и после затяжки шпилек (б): 1, 3 — прокладки из терморасширенного графита; 2 — канал контроля протечек; 4, 5 — фланец и крышка коллектора; 6 — промежуточное кольцо

УДК 621.039.53

РАЗРАБОТКА, РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ