



Спирально-навитая прокладка с наполнителем из терморасширенного графита для главного разъема металлобетонного контейнера ОЯТ

А.П. Андреев, к.т.н., **Б.В. Бурмистров**, **В.В. Ермолаев**, к.т.н., (ЗАО «Фирма Союз-01»),
В.Д. Гуськов, д.т.н., (ОАО «Конструкторское Бюро Специального Машиностроения»)

20 сентября 2005 года Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии Министерства промышленности и энергетики Российской Федерации утвержден Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 52376-2005 «ПРОКЛАДКИ СПИРАЛЬНО-НАВИТЫЕ ТЕРМОСТОЙКИЕ. ТИПЫ. ОСНОВНЫЕ РАЗМЕРЫ» с датой введения в действие 1 января 2006 года. ГОСТ Р 52376-2005 разработан основным разработчиком и производителем спирально-навитых прокладок (СНП) для фланцевых соединений оборудования атомных электростанций, предприятий теплоэнергетики, нефтегазохимических производств, судостроения – Фирмой «Союз-01».

Основанием для разработки Национального стандарта на СНП явились их технологические качества и технические параметры, подтвержденные 15-летним опытом проектирования, изготовления, монтажа и эксплуатации СНП в соответствии с «Правилами устройства и безопасной эксплуатации оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок». (Госатомнадзор РФ) и «Правилами устройства и безопасной эксплуатации трубопроводов пара и горячей воды». (Госгортехнадзор РФ).

Стандарт распространяется на СНП для соединений арматуры, соединительных частей и трубопроводов номинальным (условным) давлением PN от 0,1 до 20,0 МПа, температурой рабочей среды от минус 235 °С до плюс 600 °С, условным проходом (номинальным размером) DN от 10 до 3000 мм.

Одним из важнейших этапов в создании Национального стандарта на СНП явилось участие Фирмы «Союз-01» в

кооперации предприятий России по разработке типового ряда металлобетонных контейнеров (МБК) для транспортирования и хранения отработанного ядерного топлива (ОЯТ) атомных электростанций, атомных энергетических установок кораблей ВМФ и судов ледокольного флота России.

Задача, которая была поставлена перед Фирмой «Союз-01», – создание уплотнения для защитной крышки МБК и организация его промышленного производства в России.

Особенностью работы уплотнения подобных защитных крышек является высокий уровень радиационного и температурного воздействия в течение всего срока эксплуатации контейнера, а также высокие требования к герметичности в нормальных и аварийных условиях эксплуатации.

Возможность аварийных ситуаций должна учитываться в соответствии с требованиями, предъявляемыми к контейнерам указанного назначения нормативными документами РФ и рекомендациями МАГАТЭ (Основные правила безопасности и физической защиты при перевозке ядерных материалов. ОПБЗ-83. Москва, 1984 г.; Правила безопасной перевозки радиоактивных веществ. Издание 1985 г., МАГАТЭ, Вена). К числу факторов, характерных для аварийных ситуаций, относятся высокий уровень деформационно-напряженного состояния конструкции при падении с высоты и высокий уровень нагрева при попадании контейнера в зону пожара, что требует от уплотнительного узла

повышенных упругих свойств и сохранения работоспособности при высоких температурах и деформации опорных элементов уплотняемого соединения.

По результатам экспериментальных исследований и испытаний по методике ускоренной оценки сохраняемости свойств материалов уплотнений, проведенных специалистами «Радиового института им. В.Г. Хлопина» и «ЦНИИ-Материалов», в 2002 году совместно с «Конструкторским бюро специального машиностроения» (КБСМ) Фирмой «Союз-01» была разработана конструкция спирально-навитой прокладки с наполнителем из терморасширенного графита (СНП), обеспечивающая выполнение требований Правил ОПБЗ и рекомендаций МАГАТЭ, в том числе и сохранение герметичности узла уплотнения при нормальных и аварийных условиях эксплуатации в течение 50 лет.

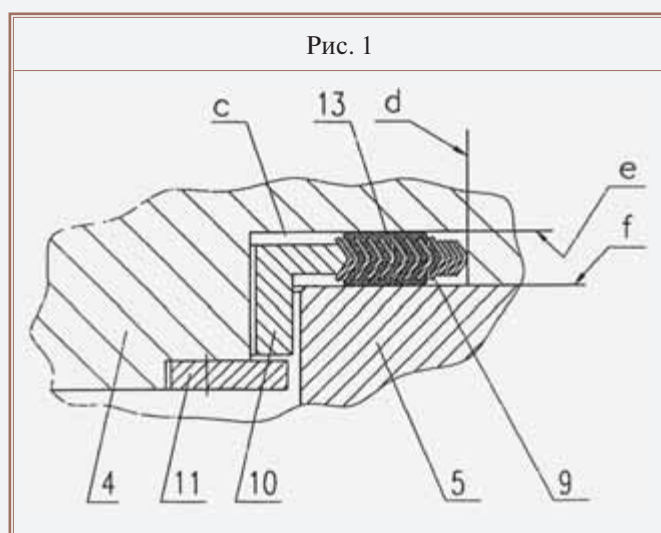
В дополнение к основному требованию о сохранении герметичности, техническим заданием было определено также обязательное закрепление уплотнительного элемента на крышке контейнера. Данное требование обуславливалось тем, что установка крышки на загруженный отработанным топливом контейнер (зона монтажа подвергается воздействию радиационного излучения $2 \cdot 10^5$ рад), должна производиться посредством манипулятора без присутствия в зоне монтажа обслуживающего персонала. Узел уплотнения со СНП защищен патентом Российской Федерации № 2179675. Технический результат использования изобретения состоит в том, что оно обеспечивает возможность создания уплотнения со СНП, обеспечивающего необходимую герметичность конструкций, работающих со средами с высокой проникающей способностью.

Вместе с этим изобретение обеспечивает повышение надежности работы уплотнения, в том числе в условиях динамических и температурных воздействий на уплотняемое соединение. Уплотнение (Рис.1 и Рис.2) защитной крышки 4 содержит установленные в кольцевой проточке с, выполненной на торцевой поверхности фланца крышки, СНП 9 с внутренним металлическим профилированным ограничительным кольцом 10. В кольцевой проточке с уплотнение установлено с помощью закрепленного на нижнем торце защитной крышки 4 кольца 11. При этом внутреннее ограничительное кольцо 10 установлено с возможностью ограниченного перемещения вдоль своей оси, геометрически совмещенной с осью СНП, при деформировании СНП в процессе стягивания уплотняемого соединения. СНП включает чередующиеся витки профилированной металлической ленты 12 и наполнителя 13, а также внутреннюю и внешнюю обмотки 14 и 15 из профилированной металлической ленты, витки которых соответственно соединены с помощью контактной точечной сварки. Первый виток внутренней обмотки 14 закреплен с помощью сварки на внутреннем ограничительном кольце 10.

В варианте выполнения изобретения внутреннее ограничительное кольцо 10 выполнено в форме цилиндрической втулки с буртиком. Благодаря креплению уплот-

нения на защитной крышке и особенности выполнения уплотнения оно, при необходимости, может быть удалено от контейнера 1 в сборе с защитной крышкой 4, что упрощает обслуживание защитной крышки с уплотнением при эксплуатации (например, при замене уплотнения) и обеспечивает повышение радиационной безопасности при обращении с контейнером для транспортировки и хранения радиоактивных материалов, т.к. при обслуживании уплотнения обеспечивается возможность работы персонала в радиационно безопасной зоне.

Уплотнение содержит вторую внешнюю обмотку 16, служащую в качестве внешнего ограничительного кольца СНП. Вторая внешняя обмотка 16 выполнена из профилированной металлической ленты, витки которой соединены с помощью контактной точечной сварки. Профили-



рованная металлическая лента второй внешней обмотки 16 сопряжена с профилированной металлической лентой первой внешней обмотки 15 СНП. В варианте выполнения изобретения профилированная металлическая лента второй внешней обмотки выполнена за одно целое с профилированной металлической лентой СНП.

В варианте осуществления изобретения внешняя обмотка 16 выполнена с возможностью взаимодействия с боковой поверхностью d кольцевой проточки с. Высота второй внешней обмотки 16 в исходном состоянии уплотнения не превышает расстояния между уплотняемыми поверхностями e и f фланца внутренней защитной крышки 4 основания корпуса 5 контейнера 1 в закрытом

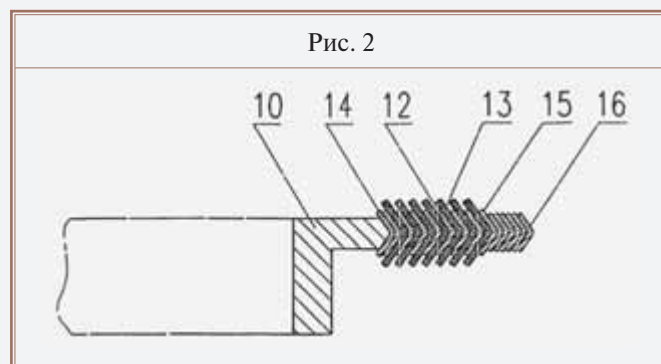




Рис. 3

положении крышки. СНП выполнена таким образом, что в исходном состоянии перед закрыванием контейнера **1** защитной крышкой **4** наполнитель **13** со стороны каждой из торцевых поверхностей СНП выступает за пределы профилированной металлической ленты **12**.

В варианте выполнения изобретения наполнитель **13** выполнен из графитовой фольги, например, «Графлекс». Устройство работает следующим образом. Уплотнение предварительно монтируется в кольцевой проточке **с**, выполненной на торцевой поверхности фланца защитной крышки **4**, с помощью закрепляемого на нижнем торце защитной крышке кольца **11**. При этом посредством отрезки витков внешней обмотки **16** осуществляют подгонку уплотнения до фактического диаметра кольцевой проточки **с**. При закрывании защитной крышки **4** осуществляют равномерную затяжку гаек **8** на шпильках **7**, установленных в корпусе **5**. Затяжка гаек сопровождается деформированием СНП **9**. Затяжку гаек осуществляют до контакта друг с другом сопрягаемых поверхностей защитной крышки **4** и основания корпуса **5** контейнера. При затяжке гаек **8** вначале происходит пластическое деформирование участков наполнителя **13** из графитовой фольги, выступающих по высоте СНП за пределы профилированной металлической ленты **12** (т.е. за пределы металлического каркаса СНП).

При этом со стороны каждого из торцев СНП образуется сплошная графитовая прослойка, заполняющая как торцевые зазоры металлического каркаса СНП, так и микронеровности уплотняемых поверхностей.

Таким образом, по всей площади контакта СНП с уплотняемыми металлическими поверхностями **e** и **f** высота графитового наполнителя превышает высоту металлического каркаса СНП. Наличие прослойки из наполнителя исключает непосредственный контакт профилированной металлической ленты **12** (т.е. металлического каркаса СНП) с уплотняемыми металлическими поверхностями **e** и **f** защитной крышки **4** и основания корпуса **5** контейнера, благодаря чему исключается возможность протекания среды с высокой проникающей способностью по торцам спирали, образованной профилированной металлической лентой **12** (т.е. по торцам металлического каркаса СНП). Учитывая отсутствие зазоров между собственно СНП и внутренним и внешним ограничительными кольцами, дальнейшую затяжку гаек **8** сопровождают нагружением СНП как со стороны защитной крышки **4** и основания корпуса **5**, так и со стороны ограничительных колец, препятствующих свободной поперечной деформации СНП. В силу этого сводятся к минимуму вытеснение материала наполнителя в радиальном направлении и увеличение площади контакта СНП с уплотняемыми поверхностями **e** и **f**. Таким образом, достигается повышение уровня параметров объемно-деформированного состояния наполнителя, его плотности, соответственно, уплотняющей особенности спирально-навитой прокладки.

Практическое отсутствие радиальных зазоров между СНП и ограничительными кольцами и, соответственно, отсутствие влияния технологических допусков на величину указанных зазоров обеспечивают возможность снижения величины разброса возможных параметров



Рис. 4



Рис. 5

напряженно-деформированного состояния наполнителя в сжатом конечном состоянии СНП (при контакте друг с другом сопрягаемых поверхностей защитной крышки 4 и основания корпуса 5 контейнера). При этом достигается более высокий уровень параметров напряженного состояния СНП и герметичности, что обеспечивает повышение надежности работы уплотнения.

Заданная высота внешней обмотки 16, служащей в качестве внешнего ограничительного кольца СНП, обеспечивает возможность сжатия СНП только до достижения контакта между сопрягаемыми опорными поверхностями защитной крышки 4 и основания корпуса 5 контейнера. Это практически исключает дополнительные деформации СНП и обеспечивает повышение надежности работы уплотнения в условиях динамических и температурных внешних воздействий на уплотняемое соединение в возможных аварийных ситуациях, предусмотренных правилами ОПБЗ-83 и рекомендациями МАГАТЭ. Конструкция узла уплотнения со СНП на конкурсе изобретений «Эврика 2002» в Брюсселе получила серебряную медаль (Рис. 3).

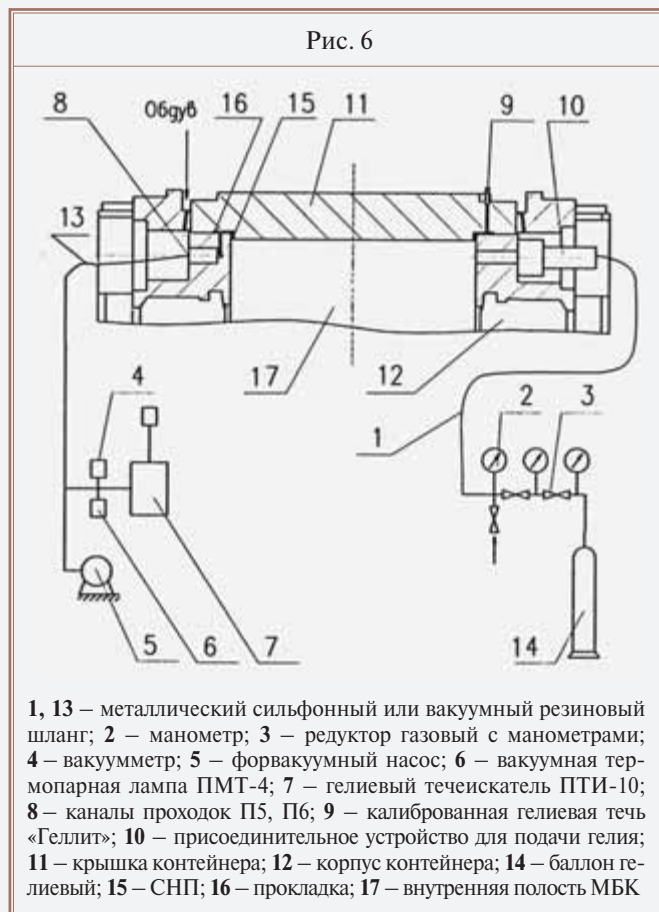
Ключевым моментом обоснования безопасности МБК явилась экспериментальная отработка фрагментов и натурных образцов узла уплотнения с СНП в составе МБК на специально созданном в «КБСМ» стенде.

Стенд позволяет производить испытания контейнеров массой до 140 тонн сбрасыванием с высоты до 9 метров на жесткое основание (Рис. 4) и тепловые испытания на воздействие пожара (Рис. 5).

До начала испытаний на «удар» и «пожар» и после них по «Методической карте контроля» (Таблица 1) в соответствии с принципиальной схемой, представлен-

Таблица 1

Методическая карта контроля герметичности разъемного соединения МБК	
Методика контроля	ПН АЭ Г-7-019-89 Класс герметичности IV
Нормы оценки	Не допускается натекание гелия более $1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3 \text{ Па/с}$ (СМ-604.с600ДЗ)
Тип дефектоскопа	ПТИ-10
Способ контроля	Для СНП внутренней крышки и внутренней резиновой прокладки наружной крышки – вакуумная камера. Для наружной резиновой прокладки внутренней крышки и наружной резиновой прокладки наружной крышки – обдув.
Абсолютное давление при способе вакуумной камеры	$P \geq 1,2 \text{ кгс/см}^2$ Подача гелия в полость контейнера или в межкрышечное пространство проводится в три этапа: подача гелия до создания парциального давления $P \geq 0,3 \text{ кгс/см}^2$; сброс до атмосферного давления; повторная подача гелия до $P \geq 0,2 \text{ кгс/см}^2$; выдержка под давлением не менее 20 мин.
Осушка	Вакуумирование межпрокладочного пространства до давления 7-8 Па и выдержка не менее двух часов до подачи гелия.



ной на рис. 6, производился контроль герметичности СНП по методу вакуумной камеры с применением контрольного газа гелия.

Процедура контроля до и после имитации аварийных режимов осуществлялась следующим образом. Гелиевый течеискатель 7 и вспомогательный форвакуумный насос 5 размещались в непосредственной близости от МБК. Используемые вакуумные линии 1 и 13 выполнены сильфонными из нержавеющей стали. Вывод на режим гелиевого течеискателя ПТИ-10 (7) производился в соответствии с инструкцией по его эксплуатации, а в его азотную ловушку был залит жидкий азот. Откачка воздуха из канавки между СНП 15 и прокладкой для сбора протечек 16 производилась до 7 Па ($5 \cdot 10^{-2}$ мм рт. ст.). Далее при полностью открытом входном вентиле течеискателя 7 определялся исходный фон гелия в замкнутом объеме между СНП 15 и прокладкой 16, а с помощью внешней калиброванной течи 9 устанавливалась чувствительность течеискателя.

Для определения потока гелия через СНП 15 во внутреннюю полость 17 МБК через клапан и присоединительное устройство из баллона 14 подавался сжатый гелий. Избыточное давление гелия в воздушно-гелиевой смеси внутри контейнера перед испытаниями на герметичность СНП 15 устанавливалось равным $0,3 \text{ кгс/см}^2$. Измерения натекания гелия через СНП проводились в течение 35 минут (контрольное время) и в течение 8 часов (сверхнормативный контроль). При оценке результатов испытаний считалось, что СНП не имеет сквозных дефектов, если

Таблица 2

Протокол контроля герметичности разъемного соединения МБК	
Характеристики	Объект испытаний
	Спирально-навитая прокладка
I. Определение чувствительности течеискателя ПТИ-10 (зав. № ____):	
– фоновый отсчет по стрелочному прибору α_ϕ , В	2,71
– отсчет по стрелочному прибору от гелиевой течи «Гелит» α_r , В	2,81
– паспортная величина потока гелиевой течи J_r , м ³ ·Па/с	$1,48 \cdot 10^{-8}$
– цена деления шкалы стрелочного прибора течеискателя $S = J_r / (\alpha_r - \alpha_\phi)$, м ³ ·Па/(с·В)	$1,48 \cdot 10^{-7}$
II. Определение величины потока гелия через объект испытаний:	
– используемый способ течеискания	Способ вакуумной камеры
– максимальный отсчет по стрелочному прибору от натекания гелия, α_r , В	4,1*
– парциальное давление гелия P_r , кгс/см ²	0,3
– величина стандартного потока $J_{ст} = (\alpha_r - \alpha_\phi) S \cdot (I/P_r)$, м ³ ·Па/с	$6,9 \cdot 10^{-7}$
– допустимая величина стандартного потока гелия $J_{ст}$, м ³ ·Па/с	$1 \cdot 10^{-6}$
<i>Ток эмиссии катода 0,5 мА</i>	
<i>*соответствует моменту времени $t=25$ мин. после подачи гелия внутрь контейнера (к моменту $t=1,5$ часа эта величина уменьшилась до 2,46 В).</i>	

замеренная величина потока контрольного газа гелия не превысит $1 \cdot 10^{-6}$ м³·Па/с (Таблица 2).

В 2004–2005 гг. Фирмой «Союз-01» для изготовителей транспортных упаковочных комплектов и контейнеров изготовлено и поставлено 119 СНП: 108 СНП для МБК ВМФ, которые в настоящее время загружаются ОЯТ и устанавливаются на временное хранение, и 9 СНП для МБК АЭС РБМК.

Производственные мощности Фирмы «Союз-01» на сегодняшний день обладают двумя линиями по изготовлению СНП с производительностью 50 штук в час (Рис. 7) и одной линией по изготовлению СНП для МБК ОЯТ (300–500 штук в год) (Рис. 8).

Совместно выполненная работа по созданию конструкции металлобетонных контейнеров ведущими НИИ



Рис. 7



Рис. 8

и КБ России, «Ижорскими заводами», «Энерготэкс» и «Северным машиностроительным предприятием» под руководством «КБСМ» позволяет сделать вывод:

– в России созданы двухцелевые металлобетонные контейнеры, которые отвечают всем требованиям национальных норм безопасности и рекомендациям МАГАТЭ и являются перспективными по стоимости, так как в несколько раз дешевле аналогов из нержавеющей стали и могут эксплуатироваться не менее 50-ти лет в климатических условиях регионов страны;

– наряду с серийным изготовлением МБК ВМФ открыта дорога для организации серийного производства МБК АЭС РБМК и создания унифицированного МБК для транспортирования отечественного и зарубежного ОЯТ различного назначения.