

ПРОЕКТИРОВАНИЕ КАБЕЛЬНЫХ ПЕРЕБОРОЧНЫХ УПЛОТНЕНИЙ ПОВЫШЕННОЙ НАДЁЖНОСТИ ДЛЯ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ

Куликов К.Н., Матвиенко С.И., Попов С.В.*, Герман Г.В.**

*ОАО «НИПТБ «Онега», 164509, Северодвинск, пр. Машиностроителей, 12,

тел. (8184) 52-55-52, факс (8184) 52-45-39, e-mail: nipbt@onegastar.ru

**ГОУ ВПО СПбГМТУ, 190008, Санкт-Петербург, ул. Лоцманская, 3, тел. (812) 713-84-05

Рассматриваются вопросы проектирования кабельных переборочных уплотнений повышенной надёжности. Дан анализ существующих конструкций, предложена конструкция уплотнительного устройства повышенной надёжности для подводных аппаратов. Приведены результаты теоретического расчёта и компьютерного моделирования распространения тепловых полей в конструкции кабельного переборочного уплотнения в условиях пожара. Рассмотрены и проанализированы результаты огневых испытаний опытного образца конструкции. Сформулированы рекомендации по проектированию конструкций кабельных переборочных уплотнений повышенной надёжности для подводных аппаратов в части выбора и обоснования основных конструктивно-компоновочных параметров.

Обеспечению пожарной безопасности в судостроении уделяется всё большее внимание, что обусловлено ростом насыщенности судов электрооборудованием и средствами передачи электрической энергии. Распространение пожара по кабельным трассам является одной из возможных причин проникновения огня из помещения в смежное помещение. Для обеспечения и поддержания в течение нормируемого времени герметичности противопожарных конструкций между смежными помещениями предусматриваются конструктивные мероприятия: герметичные уплотнения дверей; уплотнение мест прохода трубопроводов и кабелей.

Требования к уплотнению отверстий в местах прохода судовых кабелей через переборки и палубы установлены Правилами [1] и стандартом отрасли ОСТ5Р.6103 [2].

Кабельные уплотнительные устройства можно разделить на следующие виды:

- герметичные кабельные проходки. Представляют собой закрытые сосуды, заполненные огнестойким материалом. Общий недостаток – высокая стоимость;
- модульная система для прокладки кабелей. Представляет собой набор стандартных элементов, с помощью которых можно выполнить переборочное уплотнение;
- универсальные растворы кабельных прокладок. К этому способу относятся универсальные герметики, компаундные составы. Такой способ так же широко распространен за счёт своей универсальности.

Следует отметить, что переборочное уплотнительное устройство для помещений типа «отсек-убежище», отвечающее широкому комплексу предъявляемых требований, в настоящее время отсутствует. Применяемые в современном судостроении технологии уплотнения кабелей обладают следующими недостатками:

- применяемые при прохождении через переборки уплотнительные устройства и заполняющие их материалы не позволяют предотвратить прохождение пламени и дыма из помещения, в котором возник и развивается пожар, в смежные помещения;
- форма и способ крепления уплотнительных устройств на переборках делает их уязвимыми от воздействия избыточных давлений, сопровождающих взрывы, что снижает их надёжность и может стать причиной разгерметизации помещения.

В докладе представлен опыт разработки специалистами ОАО «НИПТБ «Онега» конструкции уплотнительного устройства для подводных аппаратов. Работа выполнялась в рамках ФЦП «Развитие гражданской морской техники» на 2009–2016 г.г.

Предлагаемое решение заключается в создании новых уплотнительных устройств, предназначенных для обеспечения надёжности, долговечности и безопасности кабельных систем при воздействии на них агрессивных факторов (пламя, температура и давление), вы-

званных возникновением и развитием пожаров. К разрабатываемому уплотнительному устройству предъявляются следующие требования:

- устройство должно обладать лучшими (необходимыми для безопасности экипажа) противопожарными свойствами по сравнению с применяемыми конструкциями;
- огнестойкость устройства должна соответствовать требованиям [1], предъявляемым к судовым конструкциям;
- уплотнительные свойства устройства должны соответствовать требованиям [1, 2];
- устройство должно быть технически реализуемо с учётом использования существующих и перспективных технологий и материалов, применяемых в судостроении;
- устройство должно быть совместимо с существующими электромонтажными технологиями, быть простым и надёжным в эксплуатации, ремонтпригодным;
- разрабатываемое устройство должно отвечать требованиям безопасности, как для экипажа аппарата, так и для рабочих, осуществляющих монтаж;
- разрабатываемое устройство должно быть устойчиво к воздействию динамических нагрузок (вибрация, гидравлические удары и т.д.).

В процессе проектирования решались следующие задачи:

- выбор оптимальной конструктивной формы уплотнительного устройства и эффективного противопожарного материала для её заполнения;
- разработка инженерной методики проектирования уплотнительных устройств.

После проведенных патентных исследований и предварительных теоретических расчётов было выбрано оптимальное сочетание формы и материала для уплотнительных устройств, которое обеспечивает наиболее высокую степень их устойчивости к воздействию пожаров и взрывов. Техническое обоснование конструкции было проведено на стадии эскизного проекта. Конструкция уплотнительного устройства приведена на рис. 1, трёхмерная модель опытного образца – на рис. 2.

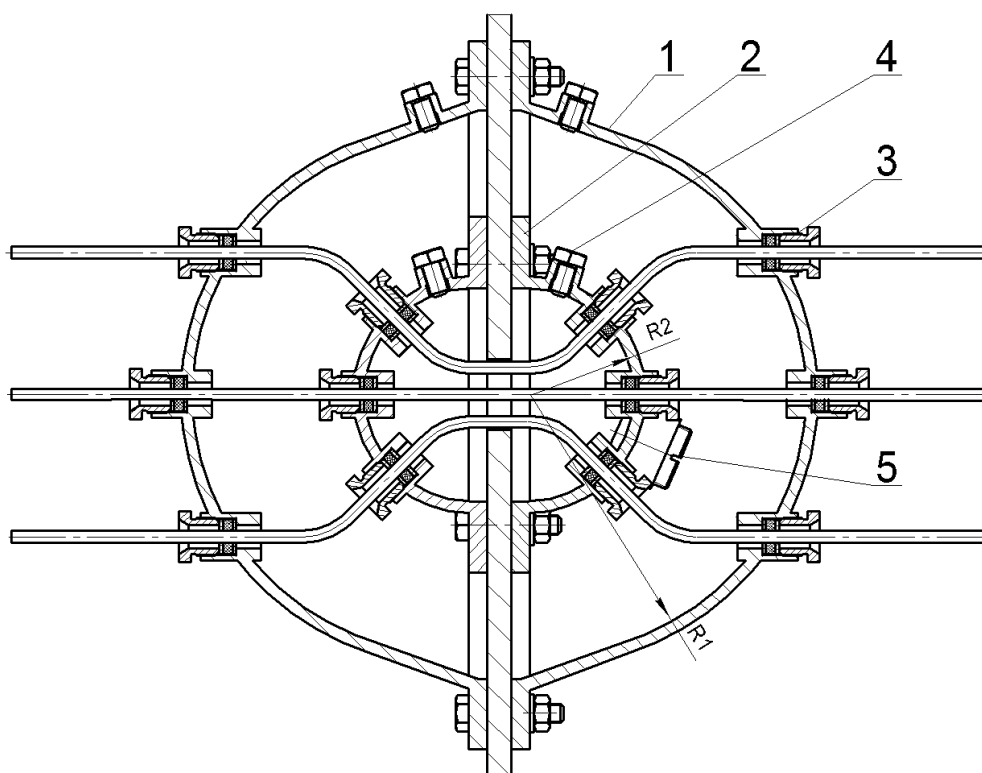


Рис. 1. Конструкция переборочного кабельного уплотнения

1 – наружный корпус устройства; 2 – внутренний корпус; 3 – сальник; 4 – бонка для выхода воздуха; 5 – гнездо для наполнения компаундом

Уплотнительное устройство с каждой стороны переборки конструктивно выполнено в виде двух корпусов – внешнего и внутреннего, имеющих форму полусферы.

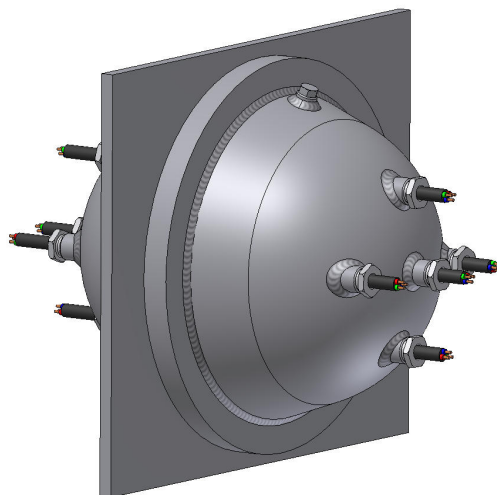


Рис. 2. Трёхмерная модель конструкции опытного образца уплотнительного устройства

Пространство между наружным и внутренним корпусом заполнено огнетушащим порошком «Волгалит-АВС». Пространство внутреннего корпуса заполнено компаундом «Силотерм ЭП-120». Внешний и внутренний корпуса защитного устройства крепятся к прочной переборке при помощи болтовых соединений. Для предотвращения распространения тепла через болтовые отверстия внешнего корпуса устанавливается защитное уплотнительное кольцо. Ввод кабеля во внешний корпус осуществляется через стандартные сальники. Ввод кабеля во внутренний корпус осуществляется через гнёзда, заполненные компаундом «Силотерм ЭП-71», что позволяет упростить монтаж устройства. При модернизации конструкции возможно применение других перспективных материалов (металлы, металлокерамика и т.п.) и новых огнегасящих порошков, по мере их создания и внедрения в судостроении и смежных отраслях промышленности.

Разработанная конструкция имеет два механизма защиты:

- прочностной – защита отсека от разгерметизации при воздействии избыточного давления воздуха, возникающего при взрывах, которые могут сопровождать пожар, а также давления забортной воды в случае затопления судовых помещений;
- огнезащиты – защита отсека от проникания пламени в случае пожара.

Прочностной механизм заложен в конструкции уплотнительного устройства, корпуса которого имеют сферическую форму, как наиболее устойчивую к воздействию разрушительной внешней нагрузки, возникающей в результате аварийных ситуаций. При этом полость внутреннего корпуса заливается компаундом, а проход кабеля во внешнем корпусе осуществляется через сальники для обеспечения водонепроницаемости и повышения огнестойкости уплотнительного устройства.

Кроме того, использование таких устройств позволяет значительно уменьшить размер отверстий в переборках и палубах для прохода кабельных трасс, а современные технологии, используемые в судоремонте и судостроении, позволяют в кратчайшие сроки освоить и наладить выпуск устройств сферической формы без организации новых производств.

Механизм огнепреграждения выглядит следующим образом:

- при распространении огня по горючей изоляции наступает момент, когда передний фронт пламени доходит до внешнего корпуса и начинает проникать вовнутрь. При этом возникает контакт с огнетушащим порошком, который оказывает тушащее воздействие на пламя и тем самым препятствует его распространению. Объём между наружным и внутренним корпусом данной конструкции зависит от суммарной площади проходящих кабельных трасс и может быть рассчитан по огнетушащей способности порошка;

- при дальнейшем распространении огня до внутреннего корпуса «Силотерм ЭП-120» под избыточным давлением внутренних газов заполняет трещины в оболочке кабеля, при этом начинает образовываться вулканитовая корка. Затем «Силотерм ЭП-120» заполняет трещины в огнезащитном покрытии и замещает выгоревшую изоляцию кабелей. Образуется монолитная вулканитовая корка со стороны пожара.

Таким образом, кабель в уплотнительном устройстве окружается сплошным изолирующим слоем, который, вспениваясь при воздействии огня, обеспечивает локализацию пожара и препятствует возможности распространения огня по кабельным проходам.

К преимуществам использования огнетушащего порошка в составе уплотнительного устройства можно отнести:

- хорошие противопожарные свойства;
- способность исполнять роль механического демпфера;
- универсальность (тушат пожары всех классов) и возможность использования в широком диапазоне температур от минус 50 до плюс 50 °С;
- низкая теплопроводность и экологическая безопасность;
- высокая технологичность и низкая стоимость.

Система пассивной огнезащиты уплотнительного устройства с применением огнетушащего порошка «Волгалит-АВС» и компаунда «Силотерм ЭП-120» обеспечивает простоту монтажа, высокую надёжность даже в экстремальных условиях эксплуатации, экономическую эффективность, абсолютную герметичность и высокую огнестойкость. В то же время, при небольших материальных затратах, конструкция уплотнительного устройства с элементами огнезащитного уплотнения обеспечивает композиционную целостность и стилевое соответствие формы современному уровню развития судовой техники.

Для обоснования конструктивного исполнения опытного образца кабельного уплотнительного устройства были проведены предварительные расчёты. В качестве расчётной схемы был рассмотрен процесс переноса теплоты теплопроводностью, который происходит между сферами с заданными значениями температуры на обогреваемой (внутренней) и на необогреваемой (внешней) поверхностях, причём среда между сферами имеет переменный коэффициент теплопроводности.

На первом этапе данной работы для определения основных конструктивно-компоновочных решений в процессе проектирования уплотнения был применён упрощённый метод расчёта температурного поля на необогреваемой стороне уплотнения. Для расчёта принят закон изменения температуры со стороны обогреваемой части уплотнения T , °С, который, в соответствии с ГОСТ 30247.0-94 [3], имеет вид

$$T = 345 \cdot \lg(8 \cdot \tau + 1) + T_0, \quad (1)$$

где τ – время, исчисляемое от начала процесса обогрева, мин;

T_0 – температура окружающей среды, °С.

В основу расчётов заложена модель поведения уплотнительной конструкции во время и после пожара при условии, что уплотнительная конструкция должна обеспечить непроницаемость и герметичность с проложенными через нее кабелями. Определение размеров уплотнительного устройства сводится к вычислению радиусов R_1 и R_2 внешнего и внутреннего корпусов уплотнительного устройства.

Определение радиуса R_2 внутреннего корпуса проводилось математическим методом и макетированием по полезным площадям в соответствии с диаметрами и количеством проходящих через них кабелей с учётом ряда конструктивных допусков.

Расчёт критического давления для внутреннего корпуса уплотнительного устройства для проверки на прочность выполняется в соответствии с рекомендациями стандартов отрасли [4, 5]. Для подтверждения прочности разработанной конструкции в случае затопления

помещения аппарата был выполнен расчёт прочности в программе Autodesk Inventor методом конечных элементов.

Для определения внешнего радиуса R_1 была разработана математическая модель [6], которая позволяет в полном объёме решать задачи расчёта. Входящие в уравнение параметры (коэффициент теплопроводности и удельная теплоёмкость огнегасящего порошка; теплофизические свойства материала) получены из справочной литературы.

Для подтверждения полученных в результате расчётов выводов было проведено компьютерное моделирование в программе Flow Vision 2.3.0 [7]. Для расчёта были выбраны следующие исходные данные: трёхмерная модель переборочного уплотнения располагается по центру участка переборки с размерами 1000×1000 мм; нагревом уплотнения будет имитироваться пожар в смежном объёме; удельный тепловой поток нагрева мощностью 40 кВт/м²; измерения будут проводиться в моменты времени, соответствующие 15, 30, 45 и 60 мин с начала нагрева.

По результатам проведённых исследований были определены пути дальнейшего совершенствования конструкции:

- дополнительная защита узлов крепления внешнего корпуса к переборке для повышения огнезадерживающих свойств;
- применение тепловой изоляции наружной поверхности внешнего корпуса;
- улучшение технологичности конструкции корпусов с точки зрения изготовления с учётом освоенных технологических процессов и применяемого оборудования.

Необходимо отметить, что предварительные огневые испытания опытного образца уплотнительного устройства, проведённые в испытательной печи в соответствии с требованиями ГОСТ 30247.0-94 [3] с учётом «Рекомендаций по методике испытаний на огнестойкость перекрытий классов «А» и «В» ИМО А.754 (18) подтвердили достоверность результатов, полученных при расчётах и компьютерном моделировании.

Выводы.

В результате выполнения работы разработана конструкция опытного образца уплотнительного устройства, создана компьютерная модель, позволяющая в реальном масштабе времени получать картины тепловых полей переборочного кабельного уплотнения при различных величинах тепловых потоков со стороны обогреваемой части.

Полученная модель позволяет решать поставленные задачи в полном объёме и может быть использована для выполнения работ по дальнейшему совершенствованию конструкции кабельных уплотнительных устройств для подводных аппаратов.

Литература

- 1 Правила Российского Морского Регистра судоходства. Правила классификации и постройки морских судов. Часть XI «Электрическое оборудование».
- 2 ОСТ5Р.6103-76. Изделия уплотнительные для электрических кабелей и проводов. Общие технические условия. [Текст]. – Введ. 1978–01–01. М., 1977.
- 3 ГОСТ 30247.0-94. Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Общие требования. – Введ. 1996–01–01. М. : ИПК Изд-во стандартов, 1996. – 15 с.
- 4 ОСТ5Р.1180-93. Суда. Методы и нормы испытаний на непроницаемость и герметичность. [Текст]. – Взамен ОСТ5.1180-87 ; введ. 1994–07–01. –ЦНИИ «Лот».
- 5 ОСТВ5.1013-80. Переборки межотсечные стальные изделий 21. Правила и нормы проектирования. [Текст]. – Введ. 1980–01–01. М., 1980.
- 6 920.211.937. Разработка математической модели расчета конструктивных параметров уплотнительных устройств. Отчет [Текст]. – Введ. 2006. – Северодвинск : ФГУП НИПТБ «Онега».

7 ЯНМИ.305318.024Д2. Устройство уплотнительное. Моделирование термических испытаний. Научно-технический отчёт [Текст]. – Введ. 2010. – Северодвинск : ОАО НИПТБ «Онега».