

ВЫБОР КОНСТРУКЦИЙ ГЕРМЕТИЧНЫХ КАБЕЛЬНЫХ ВВОДОВ И СОЕДИНИТЕЛЕЙ

С.В. Казанцев

Морской гидрофизический институт
НАН Украины
г. Севастополь, ул. Капитанская, 2
E-mail: oaoi@alpha.mhi.iuf.net

Обзор методов и средств герметизации кабельных вводов и соединителей. Предлагается конструкция унифицированного, простого в изготовлении и сборке соединителя.

В настоящее время остается актуальным вопрос герметичных кабельных вводов и соединителей. Герметизация контактов кабельных соединений широко распространена в авиационной, военной и морской технике. Назначением вводов и соединителей является изоляция электрических контактов соединения от окружающей, часто химически агрессивной, среды в условиях низких или высоких температур и давлений. К разъемам применяются ряд конструктивных, механических, электрических, климатических и эксплуатационных требований. При изготовлении герметичных соединителей используются различные высокотехнологичные материалы на металлической и неметаллической основе. Для гидрофизических погружаемых приборов кабельные вводы и соединители должны обладать следующими качествами: обеспечивать герметичность и выдерживать заданные нагрузки, обладать минимальными габаритами, быть взаимозаменяемыми, изготавливаться из доступных материалов, быть недорогими в изготовлении и эксплуатации. Основные принципы герметизации кабельных вводов и соединителей давно изучены и широко используются в промышленности, однако технологии герметизации не общедоступны. То есть для изготовления разъемов в целом требуется использование заводского оборудования и отработанных технологических режимов. Цены на готовые герметичные соединители довольно высоки в силу их сложности изготовления, специфики применения, а также широкого диапазона рабочих глубин и давлений. К недостаткам таких соединителей можно отнести высокую стоимость, и часто низкую взаимозаменяемость, невозможность ремонта без специального оборудования, особенно в полевых условиях.

Цена таких вводов значительно сказывается на стоимости прибора в целом. Поэтому целесообразно проектирование соединителя, соответствующего реальным условиям эксплуатации, используя методы и средства, не требующие особых условий сборки. Для реализации такой конструкции требуется четкая постановка задачи, включающая ряд требований к соединителю: знание и владение методами герметизации кабельных вводов и соединителей; отработка и экспериментальное определение оптимальных параметров методов герметизации.

Требования к герметичным кабельным вводам и соединителям можно подразделить на конструктивные, электрические, механические, климатические, эксплуатационные [1].

К конструкционным требованиям относят простоту и технологичность, обеспечение заданной герметичности, механическую прочность, высокую надежность при эксплуатации и долговечность. Для достижения этих требований большое значение имеет правильный выбор материалов деталей и вид их покрытия, так как детали соединителей должны обладать высокими механическими и электрическими свойствами, быть работоспособными в условиях заданных механических нагрузок, обладать высокой коррозионной стойкостью и технологичностью. Немаловажным параметром герметичных кабельных вводов и соединителей являются габаритные размеры и обтекаемая форма, снижающая гидродинамическое сопротивление. Также детали должны быть максимально унифицированы, для обеспечения взаимозаменяемости одного компонента или ввода в целом на другой без дополнительной доработки.

Электрические требования направлены на минимизацию искажения сигнала. Для того чтобы обеспечить минимальное искажение, соединители должны обладать малыми потерями мощности, низким и стабильным переходным сопротивлением, обеспечивать пропускание заданного тока без перегрева и прожога изоляции в течение заданного срока службы.

Совокупность механических параметров должна обеспечивать работоспособность герметичных соединителей и кабельных вводов на протяжении заданного срока службы и уровня рабочих нагрузок, обеспечивать заданное число стыковок и расстыковок разъемов и циклов погружения. Для этого необхо-

димо обеспечение низких контактных усилий при стыковке и расстыковке корпусов соединителя, низкий коэффициент трения, высокую износостойкость, прочность и жесткость электропроводящих деталей.

К климатическим требованиям относят требования, обеспечивающие работоспособность вводов, при следующих условиях эксплуатации: заданный температурный диапазон окружающей среды, возможный частотный диапазон вибраций, амплитуда виброускорения. Также соединитель должен выдерживать кратковременное воздействие нагрузок, превышающих предельно допустимые рабочие нагрузки.

К эксплуатационным требованиям относят: простоту и удобство эксплуатации, скорость и удобство стыковки и расстыковки разъема, взаимозаменяемость узлов, ремонтпригодность в судовых условиях, обеспечение сохранности прибора при выходе из строя соединителя.

Герметичный разъем можно условно разделить на следующие составляющие: корпус соединителя, место ввода (заделки) кабеля в корпус, место соединения корпусов, блоки электрических контактов внутри корпусов.

Корпуса соединителей, как правило, изготавливают из коррозионно-стойких материалов на металлической основе. Корпус должен обладать достаточной прочностью, чтобы выдерживать заданные нагрузки. Однако для некоторых условий эксплуатации (химически активные среды) корпус может изготавливаться из неметаллов, таких как резины, пластики, пластмассы и пр. Герметизация области соединения корпусов разъема наиболее отработана, уплотнение (герметизация) осуществляется, как правило, при помощи эластомерных колец круглого сечения (рисунок 1) и притертых поверхностей. Для осуществления такого способа герметизации требуется точная обработка контактирующих поверхностей, как по геометрическим параметрам, так и по чистоте обработки поверхности, также требуется подобрать кольца и масло для колец, соответствующие условиям эксплуатации соединителя. Уплотнение кольцами является наиболее распространенным, простым и недорогим способом герметизации. Для обеспечения надежности уплотнения необходимо: создать начальное контактное давление путем соответствующего натяга и предварительного обжатия уплотнительного кольца; использовать принцип самоуплотнения; не допустить возможность

выдавливания кольца в зазор, обеспечив малую величину зазора между деталями. Рекомендуется ставить кольца парами, для увеличения надежности соединения. Уплотнения кольцами подразделяются на радиальные, торцевые, уплотнения по конусной фаске, уплотнения резьбового соединения [2,3]. Преимуществом таких корпусов является прочность, взаимозаменяемость, ремонтпригодность вне цеховых условий, однако такие корпуса могут иметь большие габариты и быть непригодными для работы в некоторых химически активных средах. Корпуса, изготовленные из неметаллов, например эластомеров (неопрена в частности) могут эксплуатироваться в целом с введенным кабелем на глубине до 6 км, при этом обладать минимальными габаритами, быть стойкими к химически активным средам. Однако стоимость таких разъемов довольно высока в силу технологичности используемых материалов, пульверизации в условиях вакуума, индивидуального подбора корпусов друг к другу, высокой вероятности брака на производстве. К недостаткам соединителей с неметаллическими корпусами можно отнести низкую взаимозаменяемость и невозможность ремонта вне цеховых условий.

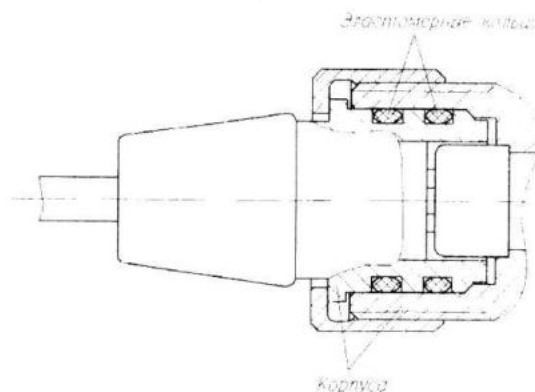


Рисунок 1 – Герметизация соединения корпусов.

Блок контактов, как правило, представлен в виде цилиндрического изолятора с включенными в него контактами. Материалами диэлектрика могут быть различные материалы, обладающие высокими механическими и диэлектрическими качествами. По ряду качеств диэлектрика для использования его в соединителях приборов, погружаемых под воду, наибольший интерес представляет стекло. Стекло в качестве диэлектрика обладает не только отличными изоляционными свойствами, но и высокой механической

прочностью, также к достоинству стекла можно отнести то, что оно может образовать стойкие компрессионные связи с металлическим корпусом, обеспечивая высокую герметичность и защиту от коррозии. Электрические контакты обычно изготавливаются из бронзы, латуни и сталей со специальным покрытием. Блок контактов может быть в собственном металлическом корпусе, и уплотняться эластомерными кольцами, или может быть непосредственно установлен или запрессован в корпус соединителя (рисунок 2). Использование блоков контактов определенного назначения в собственном уплотняемом корпусе позволяет унифицировать разъем с точки зрения передаваемого сигнала, то есть при использовании соответствующей вставки возможна работа с различными сигналами (низко и высокочастотными), а также с оптическими линиями.

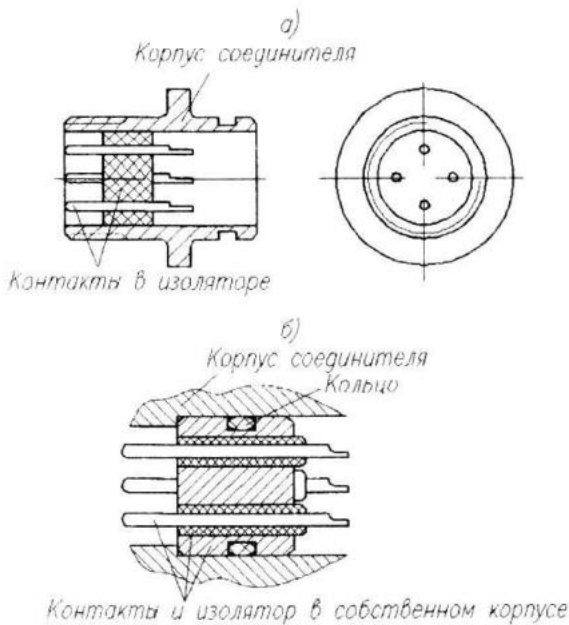


Рисунок 2 – Блоки контактов (а – в корпусе соединителя; б – в собственном корпусе).

Наиболее критичным является место заделки кабеля в корпус, так как предел давления, при котором происходит протечка этого участка значительно меньше, чем предел в месте соединения корпусов. Герметизация ввода кабеля осуществляется различными способами, условно их можно разделить на деформационные и способы, в основе которых лежит явление диффузии.

Деформационные методы основаны на деформации кабеля с целью плотного соединения деформируемых поверхностей кабеля с поверхностью прокладки (или другого элемента) и одновременным установлением

герметичного соединения прокладки (другого элемента) с корпусом ввода, вследствие чего происходит заполнение микронеровностей поверхностей и обеспечивается контактное давление, препятствующее проникновению жидкости в корпус (рисунок 3). При деформационном способе заделки используются следующие элементы: эластомерные манжеты и кольца; фторопластовые кольца; шайбы; винты; обоймы; накладные гайки и пр. Очевидно, что такой способ имеет свои недостатки, а именно усталостная деформация кабеля приводит к уменьшению контактного давления и образованию зазоров, также в связи с воздействием окружающей среды происходит потеря смазочного материала с поверхности прокладок и колец, что приводит к ослаблению контакта между поверхностями, и образованию протечек. Для реализации данного метода герметизации ввода кабеля предъявляются, в первую очередь, повышенные требования к используемым кабелям: к механическим свойствам; к материалу и качеству обработки поверхности. Наилучшими свойствами обладают армированные кабели с внешней резиновой изоляцией, сочетающие в себе высокую жесткость и высокое качество поверхности. Также для избежания распространения жидкости под внешней оболочкой кабеля, вследствие его повреждения, используют кабели с гидрофобным наполнителем, препятствующим распространению жидкости[4].

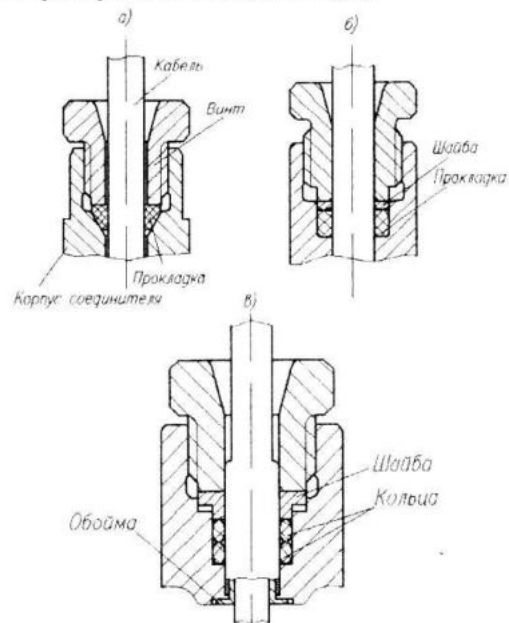


Рисунок 3 – Герметизация ввода кабеля (а – прокладкой, б – шайбой и прокладкой; в – шайбой, кольцами, и обоймой)

В основе диффузионных методов герметичного ввода кабелей в корпус, основанных на явлении адгезии, лежит установление межмолекулярных связей между субстратом и адгезивом. В качестве субстрата выступает поверхность стенок корпуса и поверхность изоляции кабеля, а в качестве адгезивов применяются различные компаунды, герметики, эпоксидные смолы. Для реализации данного метода требуется выбор правильного адгезива, оптимально реагирующего с субстратом и обладающий требуемыми свойствами, обеспечить требуемую чистоту поверхности, как механическую, так и химическую. Также, для лучшей адгезии, применяют специальные грунты. Этот метод является довольно перспективным, так как современные герметики могут образовывать стойкие связи с поверхностями при обычных (комнатных) условиях. Однако требуется экспериментальное определение параметров обработки поверхностей требуемого материала и режимов отверждения, при которых образуется наиболее стойкое соединение. Также к диффузионным методам относят заделку кабеля при помощи полимерных материалов (термопластов, реактопластов), которые при пульверизации (структурировании) образуют стойкую связь с оболочкой кабеля и металлическим корпусом[2]. При использовании полимерных материалов можно обеспечить герметичность ввода при высоких давлениях (до 150 атм), однако пульверизация должна осуществляться при жестких температурных режимах в цеховых условиях, иначе возможно набухание и появление трещин на структурированном полимере, из-за чего возможна потеря герметичности ввода (рисунок 4).

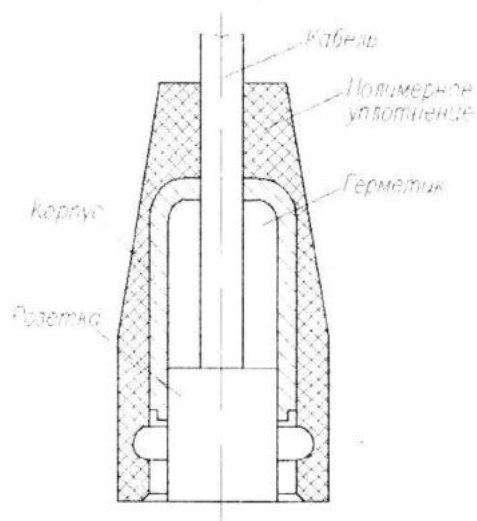


Рисунок 4 – Уплотнение ввода кабеля при помощи полимерных материалов и герметиков.

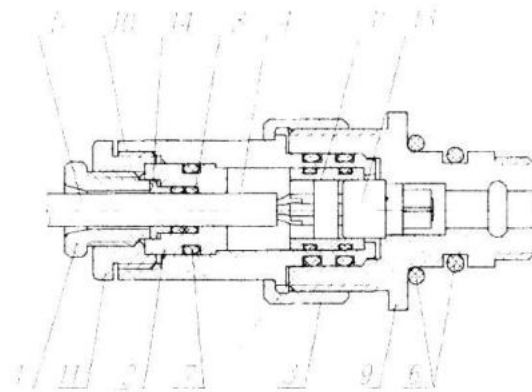


Рисунок 5 – Герметичный кабельный ввод (1 – винт; 2 – втулка; 3 – гайка; 4 – герметик; 5 – кабель; 6, 7, 8 – кольца; 9 и 10 – корпуса; 11 – крышка; 12 – проходник герметичный; 13 – розетка; 14 – шайба).

Заключение. Исходя из изложенных выше требований и описанных методов герметизации кабельных вводов и соединителей, можно сделать вывод, что наиболее сбалансированный соединитель должен состоять: из металлического корпуса с вставленным в него блоком контактов в собственном металлическом корпусе уплотненным эластомерными кольцами; кабельного ввода, герметизируемого при помощи эластомерных колец и при помощи заливки герметиками или компаундами; соединения корпусов, уплотняемого эластомерными кольцами (рисунок 5). Такой соединитель будет обладать достаточным диапазоном рабочих внешних давлений, небольшими габаритами, высокой степенью взаимозаменяемости, возможностью проведения сборки и ремонта вне цеховых условий.

Л и т е р а т у р а

1. Г.В. Смирнов, М.И. Иваненко. Проектирование погружаемых устройств в модульных измерительных системах // МГИ АН УССР. 1982.–37 с.
2. Л.А. Кондаков, А.И. Голубев. Уплотнения и уплотнительная техника: Справочник. М.: Машиностроение 1986.–486с.
3. Э. Майер. Торцевые уплотнения: Пер. с нем.-М. Машиностроение, 1978.–288 с.
4. В.Каток, А. Ковтун. Кабель в воду. Журнал "Сети и Телекоммуникации", 2006, №5.