

**ГЕРМЕТИЗАЦИЯ ПЕРВИЧНЫХ
ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ И
КАБЕЛЬНЫХ ВВОДОВ
ГЛУБОКОВОДНЫХ
ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ**

С.В. Казанцев

Институт природно-технических
систем

г. Севастополь, ул. Ленина, 28

E-mail: kazantsevsv@mail.ru

В статье приводится классификация и обзор методов герметизации первичных измерительных преобразователей, кабельных вводов и других механических элементов гидрофизических приборов.

Введение. Несмотря на многолетнюю историю эксплуатации морской гидрофизической техники, нет единых стандартов проектирования, изготовления и герметизации ее узлов. Это связано с некоторой специфичностью, нестандартностью, мелкосерийным или единичным производством. Как правило, организация, выпускающая тот или иной прибор для подводного использования, разрабатывает свои стандарты в области проектирования и герметизации, либо руководствуется требованиями, предъявляемыми заказчиком к будущему прибору: количеству и метрологическим характеристикам измерительных каналов; компоновке и габаритным размерам прибора; глубинам эксплуатации; температурным диапазонам эксплуатации и хранения; методу эксплуатации (стационарный, телеметрический или автономный режим использования); методом крепления и используемому такелажу; стойкости к биологическому обрастанию. Часто заказчик предъявляет серьезные требования к дизайну, эстетике и эргономике.

Однако же наиболее важным остается то, чтобы прибор и датчики оставались герметичными во время эксплуатации и хранения. Выдерживали кратковременные повышения предельных

условий эксплуатации, вызванные различными нештатными ситуациями.

Основная часть. Под герметизацией или герметичностью понимают обеспечение непроницаемости для газов и жидкостей поверхностей и мест соединения деталей. Герметизация поверхностей обеспечивается за счёт покрытия материалами, непроницаемыми для газов и жидкостей. Места соединений герметизируются за счёт применения дополнительных деталей из упругого материала, или заполнения зазоров уплотняющим материалом [1]. С понятием герметичности неразрывно связан такой термин, как адгезия, который характеризует степень контакта между материалами и поверхностями.

Кроме того, существует ряд международных стандартов относительно герметичности и пыли – влага защищенности электрооборудования – так называемая система кодификации IP (Ingress Protection Rating с англ. «степень защиты от проникновения»). В которой классифицируется степень защиты электрооборудования от проникновения воды и твердых частиц и предметов. Под оболочкой понимают часть, обеспечивающую защиту оборудования от некоторых внешних воздействий и защиту по всем направлениям от прямых контактов [2].

Данный стандарт регламентируется следующими нормативными актами: IEC 60529, DIN 40050, ГОСТ 14254-96. Наибольшей степенью защиты по данному стандарту является IP 68, где первая цифра показывает степень защиты от пыли и твердых частиц, вторая - от воды. Данная степень предусматривает погружение оборудования на глубину более 1 метра на длительное время. Кроме того, по данной классификации существует еще ряд стандартов для специфического оборудования. Следует отметить, что для гидрофизического оборудования таких стандартов не предусмотрено, хотя гидрофизические приборы нуждаются в такой классификации, т.к. они используются в широчайшем диапазоне глубин, температур и др. условий.

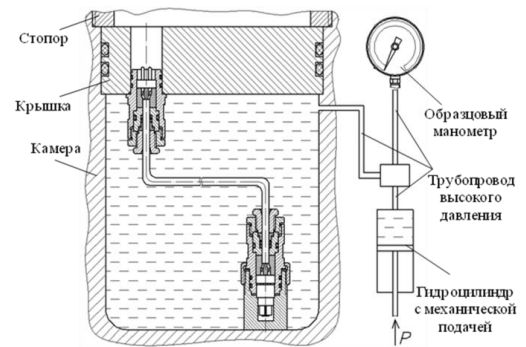
Нестандартизированными остаются и вопросы проведения испытаний глубоководных приборов в лабораторных ус-

ловиях, не существует стандартных стендов, разброс по габаритам погружаемой аппаратуры побуждает создавать специальные камеры высокого давления для конкретного типа оборудования. Актуальным является вопрос фиксации процесса разгерметизации (по падению давления вследствие попадания воды внутрь корпуса прибора или замыкании контактов из-за попадания воды под оболочку уплотнения) на данных стендах.

В отделе ЦАМИ Института природно-технических систем используется следующий стенд (рис. 1). Стенд состоит непосредственно из камеры высокого давления, крышки, фиксирующей крышку гайки, гидравлического цилиндра с ручной подачей, манометра и соединяющей арматуры с трубопроводами высокого давления. Данная конструкция позволяет испытывать герметичные разъемы, датчики и корпуса приборов. Стенд работает следующим образом – камера заполняется водой, в нее опускается испытуемый узел, далее камера закрывается крышкой, которая жестко фиксируется, после удаляется остаточный воздух из камеры, затем происходит сжатие среды посредством гидроцилиндра, степень сжатия фиксируется манометром. Испытания проводятся путем одевания специальной заглушки на датчик или разъемное соединение, имитирующей полость прибора. При разгерметизации датчика или разъема происходит попадание воды в полость заглушки, что вызывает видимое падение давления на манометре. Однако распространены случаи разгерметизации кабельных вводов или датчиков без попадания воды в полость заглушки или прибора. Часто вода просачивается под изоляцию или под уплотнение в столь малых количествах, что они не определены на манометре. Для фиксации данного момента можно вывести через крышку корпуса контакты датчика или герметичного разъема, замыкание или появление сопротивлений на контактах свидетельствует о потере герметичности и появлении протечек.

С появлением современных миниатюрных устройств и конструктивных элементов, призванных выполнять раз-

личные задачи во множестве областей техники, встает вопрос о применении данных устройств в конструкциях современных гидрофизических приборов. К таким устройствам можно отнести чувствительные элементы датчиков, приводы различного вида и назначения, видео камеры, разъемы и кабельная продукция, перспективные материалы для корпусов и крышек приборов и т.п. Для их применения *in situ* в составе гидрофизических приборов и комплексов требуется соответствующая адаптация и герметичная упаковка.



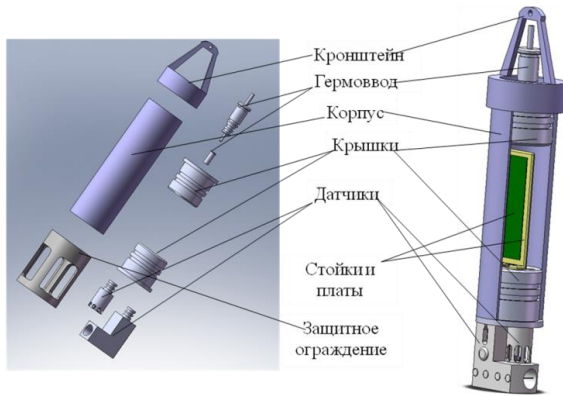
Р и с. 1. Стенд высокого давления

Выпускаемые в настоящее время устройства, представляющие интерес для применения в гидрофизической аппаратуре не удовлетворяют требованиям, предъявляемым к приборам, даже если устройства имеют степень защиты IP68. Это связано с тем, что узлы приборов, осуществляющих измерения под водой, подвергаются значительному гидростатическому давлению, агрессивному воздействию среды и перепадам температур. Поэтому устройства, изготовляемые изначально для таких эксплуатационных требований, выпускаются мелкосерийно или единично и имеют значительную стоимость, или же не производятся вовсе. В связи с этим задачи, направленные на герметизацию и упаковку различных узлов и устройств, не теряют свою актуальность.

Перед адаптацией узла необходимо провести его тщательный анализ, чтобы выбрать тот или иной способ герметизации.

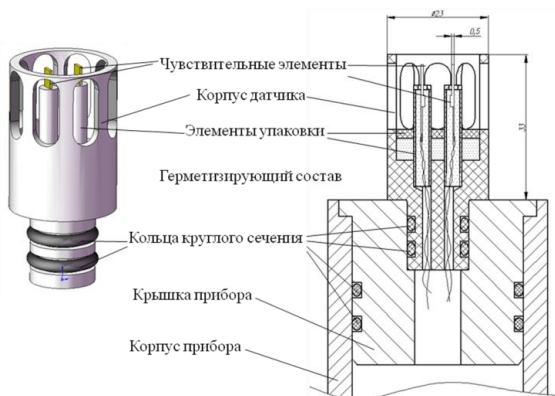
Процесс герметизации можно классифицировать по узлам герметизации. Условно можно разделить герметизацию корпусов и крышек приборов, герметичных кабельных вводов и разъемов, пер-

вичных преобразователей и датчиков (рис. 2).



Р и с. 2. Конструкция STD зонда

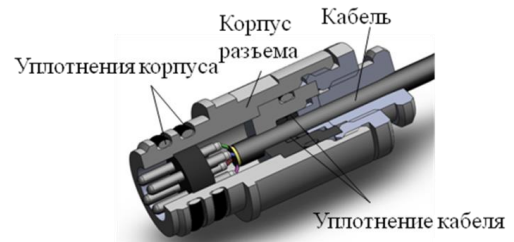
Как правило, большинство производителей используют наиболее распространенный и изученный метод герметизации крышек прочных корпусов и тел датчиков с помощью колец круглого сечения различными способами (рис. 3). Данный метод является надежным и простым и гарантирует герметичность. Однако критичными с точки зрения затекания являются кабельные вводы и чувствительные элементы первичных преобразователей, так как в большинстве случаев разгерметизация происходит в данных узлах по причине повреждения, старения уплотнения и др.



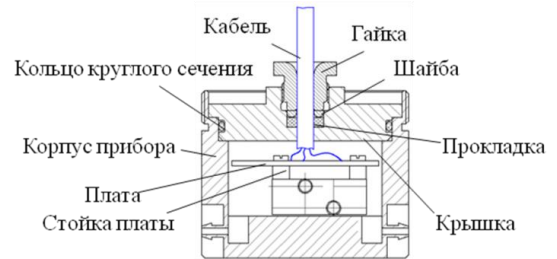
Р и с. 3. Уплотнение тел датчиков и крышек прибора

Герметизация кабельных вводов и разъемов производится различными способами. Методы можно условно разделить на деформационные, диффузионные и метод заливки кабельного ввода различными герметизирующими и гидрофобными составами [3]. Кабельные разъемы условно можно разделить как

минимум на два узла герметизации – корпуса кабельного разъема и непосредственно ввода кабеля (рис. 4). В некоторых случаях отдельно выделяют кабельный ввод, когда кабель герметично вводится через крышку прибора в корпус прибора и его жилы припаиваются к плате или взаимодействуют с ней через промежуточный разъем (рис. 5).



Р и с. 4. Кабельный разъем



Р и с. 5. Кабельный ввод прибора ИСТ-1

Деформационные методы основаны на деформации кабеля с целью плотного соединения деформируемых поверхностей кабеля с поверхностью прокладки и одновременным установлением герметичного соединения прокладки с корпусом ввода, вследствие чего происходит заполнение микронеровностей поверхностей и обеспечивается контактное давление, препятствующее проникновению жидкости в корпус [3].

Для реализации данного метода герметизации ввода кабеля предъявляют, в первую очередь, повышенные требования к используемым кабелям: к механическим характеристикам и геометрическим свойствам, к материалу и качеству обработки поверхности. Уплотнение данным способом актуально для жестких кабелей с ровной цилиндрической поверхностью.

Диффузионные методы герметичного ввода кабелей основаны на явлении адгезии, в основе которой лежит уста-

новление межмолекулярных связей между субстратом и адгезивом. К методам относят заделку кабеля при помощи полимерных материалов (термопластов, реактопластов), которые при пульверизации (структурировании) образуют стойкую связь с оболочкой кабеля и корпусом разъема. Данный метод пригоден для не жестких кабелей и кабелей нецилиндрической формы. Отдельно выделяют метод герметизации ввода кабеля путем заливки кабельного ввода специальными не отвердевающими составами, обеспечивающими герметичность [3].

При герметизации или так называемой упаковке первичных преобразователей следует детально изучить их конструкцию и принцип работы. Условно можно разделить методы упаковки на упаковку с разгрузкой по давлению и без разгрузки.

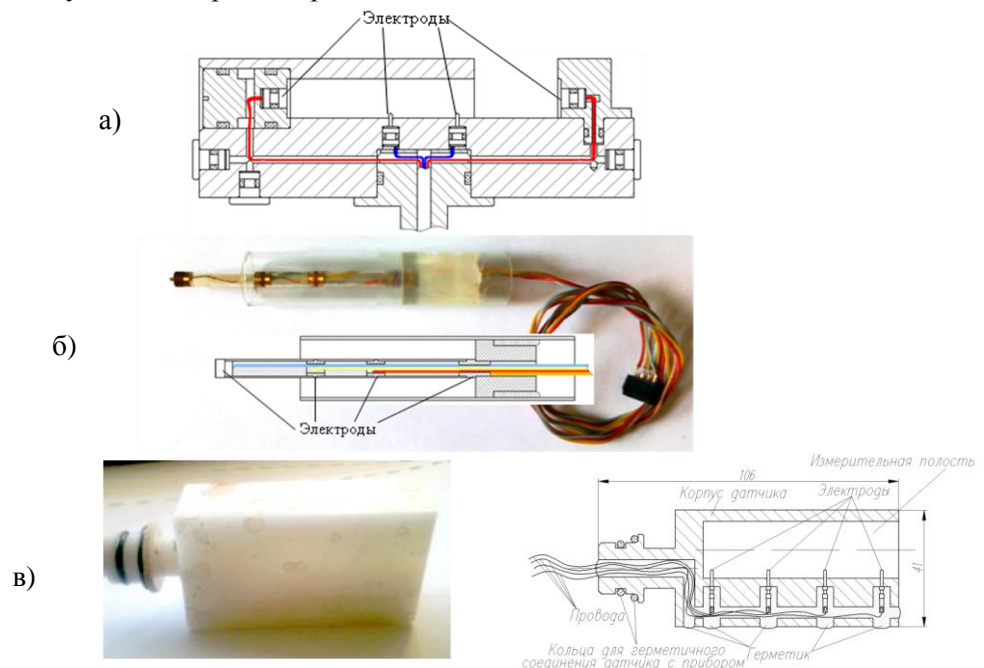
Под герметизацией без разгрузки подразумевают герметизацию от проникновения жидкости в устройство, где давление среды действует на узел уплотнения с одной стороны, т.е. с внешней среды. Как правило, осуществляется при помощи различных уплотнений или с использованием клеев и герметиков.

Данным образом герметизируют электроды контактных датчиков измерения электрической проводимости жидкости. В данных узлах электроды герме-

тизируются от внешней среды при помощи колец круглого сечения (рис. 6 а), заливкой эпоксидной смолой (рис. 6 б) и заливкой герметиком (рис. 6 в). С использованием данных методов были изготовлены опытные и рабочие образцы датчиков, измеряющих электрическую проводимость жидкости, которые прошли не один сезон эксплуатации *in situ*.

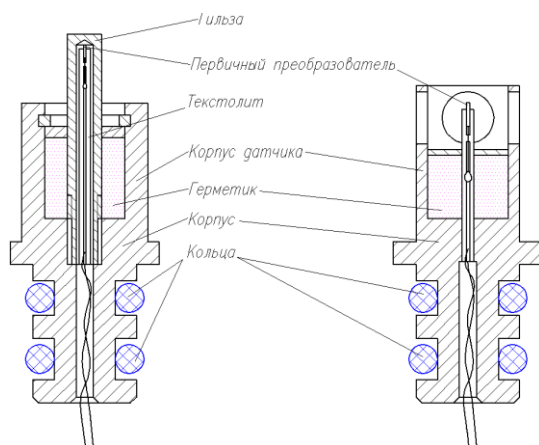
Помимо приведенных выше способов ряд преобразователей герметизируется при помощи покрытия непроницаемыми для жидкости составами или помещения преобразователя в прочную оболочку, как это указано на рис. 7. Первичный преобразователь температуры слева помещен в гильзу, справа преобразователь покрыт герметизирующим составом, после чего они герметизируются в корпусе датчика.

Как видно из представленных конструкций датчиков проникновению жидкости под воздействием давления внутрь датчика или прибора в целом противостоят уплотнения в виде резиновых колец, эпоксидной смолы и герметиков. В результате такого одностороннего воздействия уплотнения подвергаются износу и деформации, из-за чего они могут потерять герметичность. Далее возможен выход из строя узла (датчика) или еще более ощутимые материальные потери, вызванные попаданием жидкости в прибор и выходом из строя дорогостоящей электроники.



Р и с. 6. Датчики электрической проводимости жидкости

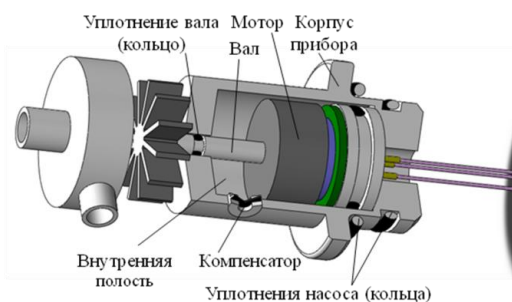
Способ так называемой разгруженной упаковки датчика либо любого другого подходящего для данного способа герметизации устройства позволяет одновременно решить ряд задач – разгрузить узлы уплотнения, повысить надежность прибора в целом за счет уменьшения нагрузки на узлы уплотнения. При потере герметичности разгруженного узла значительно снижается риск попадания жидкости внутрь прибора. Помимо этого данный способ упаковки позволяет герметизировать узлы, которые невозможно упаковать неразгруженным методом. Это относится к таким устройствам, как приводы с выведенными вращающимися валами или перемещающимися шторками во внешнюю среду, т.к. зажатое уплотнение окажет значительное сопротивление вращаемому валу. Кроме того, это относится и к хрупким измерительным преобразователям, таким как ионоселективные преобразователи рН, кислорода и др., где односторонняя деформация уплотнения может повредить преобразователь.



Р и с. 7. Датчики температуры

Разгруженная упаковка в общем случае выглядит следующим образом. Это полость внутри корпуса герметизируемого устройства, которая заполняется подходящей несжимаемой жидкостью (масла, проводящие жидкости, растворы реактивов необходимые для работы датчика) и герметизируется относительно полости прибора, в которую выводятся герметично заделанные контакты из этой полости. Далее из данной полости выходит уплотняемый элемент (чувствительная часть датчика, вал двигателя и т.п.) взаимодействующий с окружающей средой. В залитом жидкостью корпусе дан-

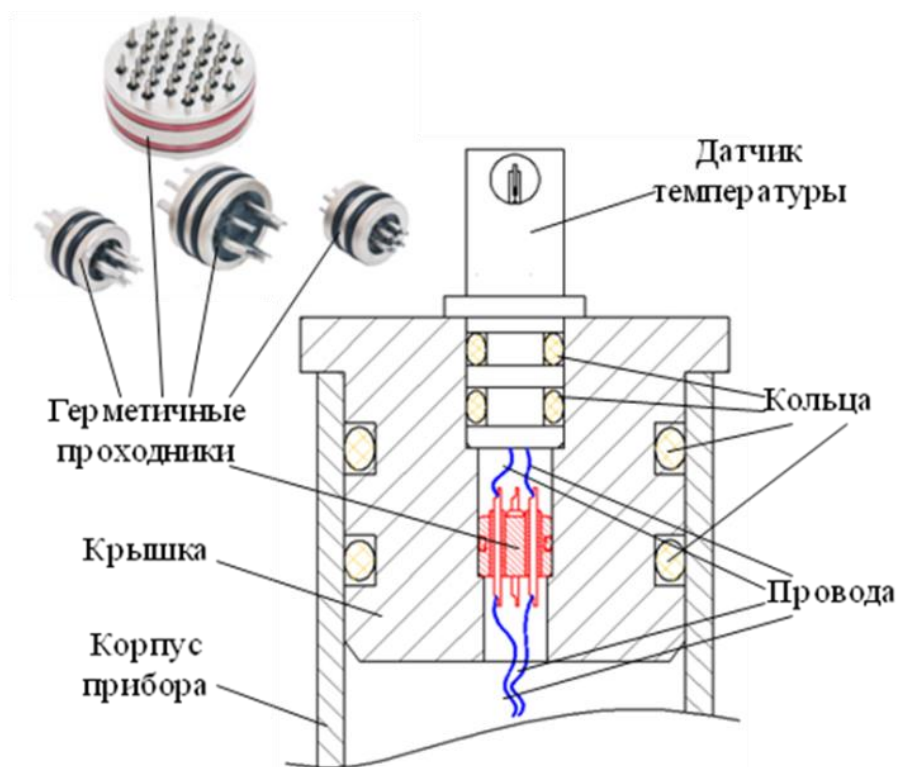
ного устройства присутствует элемент, осуществляющий разгрузку по давлению, так называемый разгрузочный клапан или мембрана. Назначение данного элемента уравнивать давление внутри полости устройства с давлением окружающей среды. На рис. 8 изображен погружной насос, назначение которого работать под водой с валом, разгруженным по давлению. Внутренняя полость данного устройства заполняется маслом, вал выводится из данной полости через уплотнение кольцом, компенсатор выравнивает давление внутри полости, обеспечивая равное давление на уплотняющее кольцо с двух сторон (т.е. не происходит задавливание кольца в одну сторону), что позволяем валу вращаться под водой.



Р и с. 8. Конструкция погружного насоса

Кроме того, существуют устройства, позволяющие гарантированно обеспечить герметичность корпуса прибора от затекания со стороны датчика и герметично отделить разгружаемую полость датчика от корпуса прибора. Это так называемые герметичные проходники, представляющие собой загерметизированные при помощи стекла либо других уплотнений контакты в корпусе, который в свою очередь может различным образом уплотняться. Кроме того, данный элемент может выступать в качестве части датчика, гарантирующей его высокие эксплуатационные характеристики.

Существует метод, при котором в корпусе герметичного разъема устанавливается герметичный проходник, позволяющий герметизировать кабельный ввод различными уплотнениями, разгружая их по давлению при помощи компенсаторов. При таком исполнении ввод кабеля остается герметичным при меньшей нагрузке на уплотнение кабеля.



Р и с. 9. Применение герметичных проходников

На рис. 9 показаны электрические проходники фирмы ООО «Электросоединитель», и схема которая показывает возможное применение одного из проходников, установленных между датчиком температуры и полостью корпуса прибора в крышке, обеспечивает герметичность полости прибора с электроникой от проникновения воды из-за возможной разгерметизации датчика или из-за его повреждения в силу хрупкости конструкции.

Вывод. Выбор и изучения методов герметизации и способов герметичной упаковки первичных преобразователей, кабельных вводов и крышек корпусов приборов не теряет актуальности, так как постоянно создаются устройства, которые требуется использовать под водой, но которые неприспособлены для данных целей. Кроме того, постоянно появляются новые материалы и герметизирующие составы, позволяющие уменьшить габариты узла герметизации, увеличить его надежность и больший

период эксплуатации. Кроме того они не требуют особых условий для применения, позволяют герметизировать узлы гидрофизических приборов в полевых условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Большая Советская энциклопедия*, третье издание. – М.: Советская Энциклопедия, 1970–1977 (электронная версия. – М.: Научное издательство «Большая Российская энциклопедия», 2004.)
2. *Международный электротехнический словарь (VEI) 826–03–12*
3. *Казанцев С.В.* Выбор конструкций герметичных кабельных вводов и соединителей // Системы контроля окружающей среды. – Севастополь: МГИ НАН Украины, 2008. – С. 115–119.