

Д.Г. Бобов, Ч.С. Гусейнов

*Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) имени
И.М. Губкина*

ТЕХНОЛОГИИ ПОДВОДНОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ СОТРУДНИКОВ МЕЖДУ СУДАМИ

Аннотация. В работе представлен обзор технологий для проведения перемещения персонала с судна на платформу. Рассмотрено их устройство и принцип работы, выявлены достоинства и недостатки. На основании рассмотренных технологий представлены технические решения для перемещения персонала под водой между двумя подводными сооружениями. Проведена оценка масса-габаритных характеристик и представлены схемы транспортного аппарата.

Ключевые слова: подводный переход экипажа, подводная стыковка, транспортный подводный шлюз, подводный буровой аппарат, подводное освоение морских месторождений.

Введение

При работе под водой стоит обратить внимание на такой параметр, как автономность – это длительность пребывания судна в рейсе без пополнения запасов топлива, провизии и пресной воды, необходимых для жизни и нормальной деятельности находящихся на судне сотрудников и пассажиров [1].

Автономность традиционной морской платформы обеспечивается энергетической установкой и запасами топлива для её работы, опреснительной установкой, запасами провизии, объёмом цистерн для хранения отходов и условиями эксплуатации, для которых она разработана. Практически все платформы обслуживаются судами снабжения, а смена вахт производится вертолетом. Автономность морской платформы варьируется от 30 до 60 суток. Пополнение запасов провизии и смена вахт происходит каждые 14-16 суток в зависимости от погодных условий.

Рассматривая возможность освоения морских глубоководных месторождений на акваториях арктических месторождений, стоит решить проблему пополнения запасов провизии, смены персонала и вывоза твердых и жидких отходов.

В исследовании были поставлены следующие задачи:

- разработать концептуальные решения, которые позволят провести перемещение персонала и грузов под водой между подводным буровым аппаратом и подводным многофункциональным судном снабжения;
- определить общие размеры основных устройств и элементов разработанной концепции.

Цель исследования – определить степень возможности проведения под водой стыковки и обмена.

Методы и материалы исследования

Ввиду отсутствия реализованных решений и проработанных проектов, в исследовании используется теоретический метод исследования, основанный на сравнительном, логическом и статическом анализе схожих по назначению и принципу работы устройств. Теоретический метод исследования позволил сформулировать несколько концептуальных решений. Определение общих размеров устройств и элементов наиболее подходящей концепции было проведено эмпирическим методом исследования. Благодаря выбранному подходу было получено достаточно проработанное решение выявленной проблемы.

Рассмотрим способ эвакуации моряков-подводников, которая проводится с применением спасательного глубоководного аппарата (см. рисунок 1).

Эвакуация с подводной лодки проходит следующим образом [2]. При помощи комплекса датчиков, механизмов и устройств определяется положение подводной лодки и условия окружающей среды. На основании полученных данных принимается решение о стыковке к носовой или кормовой комингс-площадке аварийного объекта.

Комингс-площадка спасательного люка подводной лодки – прочное металлическое опорное кольцо, обрамляющее спасательный люк подводной лодки [3].

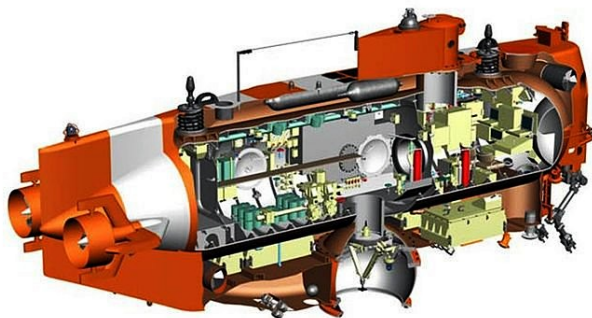


Рис. 1. Спасательный глубоководный аппарат «Бестер» пр. 18271

Определив комингс-площадку (носовую или кормовую), экипаж СГА подходит и занимает положение точно над ней. Заняв требуемое положение, производится опускание СГА на ПЛ. После стыковки, производится откачка воды из шлюзовой камеры в уравнительную цистерну. Внутри шлюзовой камеры создается атмосферное давление, в результате чего внешнее (гидростатическое) давление (которое всегда выше атмосферного) придавливает СГА к ПЛ. Убедившись в сохранении давления внутри шлюзовой камеры, отдраиваются люки, и производится «сухой» способ эвакуации подводников с ПЛ.

Проблема безопасного, быстрого и стабильного пополнения запасов и вахтовой смены персонала подводного бурового аппарата является одной из ключевых при подводном освоении морских нефтегазовых месторождений, решением которой можно будет значительно продвинуться в направлении реализации подводных нефтегазовых проектов.

Существует три пути решения:

- надводный;
- подводный;
- комбинированный.

Реализация надводного способа перемещения персонала и грузов требует подъема подводного бурового аппарата (ПБА) на морскую поверхность каждые 14 суток. В надводном положении перегрузка с многофункционального судна снабжения (МСС) будет проводиться традиционным способом при помощи кранов и устройств приема/отгрузки жидких и сыпучих материалов, установленных на МСС. Операции проводятся в период навигации МСС самостоятельно, либо в ледовый период с использованием сопровождающего ледокола. Для уменьшения затрат на проводку МСС ледоколом возможно строительство ледокола с функциями судна снабжения.

Реализация подводного способа перемещения потребует создания специального подводного многофункционального судна снабжения (ПМСС), способного произвести «жесткую» стыковку, для перемещения персонала и твердых грузов (оборудования), и «гибкую» стыковку, для приема/отгрузки жидких и сыпучих материалов.

Общая концепция снабжения ПБА грузами и персоналом при помощи ПЧА следующая:

1. Создается подводное или надводное многофункциональное судно снабжения, в конструкции которого предусмотрена камера, сообщающаяся с морем. Транспортные капсулы представляют собой прочные и герметичные

контейнеры, способные выдерживать давление окружающей воды в 2,0 МПа (20 кг/см²) – зависит от максимальной глубины погружения.

2. Перед выходом в море грузовые капсулы заполняются материалами, а вахтовые капсулы остаются пустыми до начала подготовительных работ к перемещению персонала.

3. После достижения места расположения ПБА, ПЧА устанавливается на одной из капсул и готовится к работе. Сначала поочередно спускаются грузовые капсулы, затем – вахтовые. За один поход ПЧА способен перенести только одну капсулу.

4. На ПБА для приёма капсул предусмотрен транспортный модуль, разделённый между собой водонепроницаемыми переборками и герметично закрывающимися створками – воротами – на камеры для приёма капсул. После установки капсулы в камеру происходит закрытие камеры и откачка воды.

5. В это время ПЧА перемещает остальные капсулы в другие камеры.

6. Когда капсула загружена отработанными материалами, она закрывается; задраиваются люки и в камеру подаётся морская вода. Заполнив камеру водой и, выровняв давление снаружи и внутри, створки открываются; и капсула готова к вывозу ПЧА.

7. К моменту перемещения последней вахтовой камеры с персоналом первая грузовая камера должна быть готова к её вывозу с ПБУ – должны быть выгружены привезённые материалы и загружены отработанные.

8. Вахтовая камера привозит сотрудников новой смены и увозит сотрудников предыдущей.

9. После завершения всех операций; транспортный модуль заполняется водой или полностью опорожняется. Это зависит от конструкции модуля и определяется на этапе формирования технического задания.

Подводный метод перемещения груза должен предусматривать применение специального транспортного шлюза, установленного между двумя подводными аппаратами (судов/лодок). При этом на протяжении всего периода проведения работ оба аппарата должны занимать одно положение друг относительно друга, допуская лишь незначительные перемещения.

Каждое подводное судно должно быть оборудовано системой динамического позиционирования, которая будет обеспечивать точное расположение буровой платформы над точкой бурения. Система динамического позиционирования (СДП) необходима для того, чтобы обеспечить точную корректировку курса, поскольку основным винтом это сделать очень сложно.

Компенсация продольных смещений грузов, которая всегда имеет место, осуществляется путём заполнения и откачки морской воды дифференциальными цистернами – носовой и кормовой (за эту работу отвечает стабилизатор глубины).

С целью определения положения подводных лодок в пространстве и относительно друг друга на опорном основании должны устанавливаться датчики ориентации. На подводных судах устанавливаются устройства для подачи и прима сигналов от датчиков ориентации. Подобными датчиками и устройствами должны укомплектовываться каждое подводное судно, чтобы сделать возможным стыковку судов наплаву.

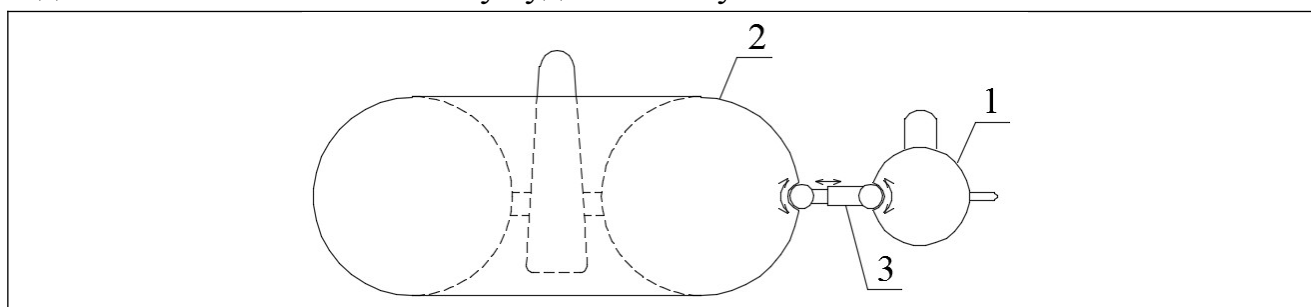


Рис. 2. Схема транспортного шлюза

1 – ПМСС; 2 – подводная буровая установка (ПБУ); 3 – транспортный шлюз

Приведенная схема позволяет компенсировать осевые перемещения за счет шарниров и продольные за счет телескопического корпуса шлюза. Необходимость использования шлюза с возможностью компенсации смещений вызвана тем, что подводные лодки не способны полностью зависать в толще воды.

При стыковке два подводных судна должны двигаться одновременно с высокой точностью. Задержки в реагировании ПМСС приведут к увеличению нагрузки на транспортный шлюз. И как следствие может привести к его разрушению. Для параллельного перемещения необходимо разработать систему управления, которая сможет управлять одновременно двумя подводными судами, определяя величину и направление движения и вычислять нужную мощность на каждом движителе СПД.

С большой долей вероятности можно сказать о высокой степени технической сложности задачи «жесткой» стыковки под водой. Поэтому наиболее перспективным является комбинированный способ проведения операций.

В качестве примера использования на судне камеры для подводных работ приведен проект Азориан, реализованный в 1974 году для подъема затонувшей советской подводной лодки «К-129» [6].

Для подъема советской лодки был построен Гломар Эксплорер водоизмещением 50 000 т. Это однопалубное судно с «центральной прорезью» размерами 60,65x22,5x19,8 м (ДхШхВ) с вышкой над камерой. Глубина спуска захватывающего устройства Клементина достигала 5000 м.

Подводная лодка не стоит на месте и не зависает в тоще воды в одном положении, она перемещается за счет вращения главного винта. Исходя из этого, можно сделать предположение, что и подводный буровой аппарат и ПМСС не сможет обеспечивать точное неподвижное расположение в процессе проведения работ. Необходимо предусмотреть устройство, компенсирующее продольные и угловые перемещения ПБА и ПМСС.

В качестве примера устройства, способного компенсировать качку судна, следует рассмотреть установку морского доступа компании Ampelmann (Нидерланды), изображенную на рисунке 5 [4]. Система предназначена для безопасной доставки персонала с судна на платформу и обратно. Вначале сотрудники поднимаются на переходную площадку, на которой располагается пульт управления системой с оператором. Затем установка переходит в рабочее положение, при котором трансферная палуба постоянно находится в горизонтальном положении. Это возможно благодаря 6 гидроцилиндрам с выдвигающимися штоками для компенсации качки судна. Компенсация расстояния между судном и морским сооружением осуществляется за счёт телескопического трапа.

В таблице 1 представлены достоинства и недостатки трех рассмотренных способов.

Таблица 1

Параметр	Надводный способ	Подводный способ	Комбинированный способ
отсоединение от водоотделяющей колонны	требуется	не требуется	не требуется
надводные условия эксплуатации	без ледовый период или ломаный лед, отсутствие шторма и сильного волнения	неограниченный	отсутствие шторма и сильного волнения
использование ледакола	да	нет	нет
время непрерывной работы	14 дней	без ограничений	без ограничений
пополнение запасов и смена персонала	на поверхности воды	без ограничений	без ограничений
необходимость создания новых типов судов	ледакол-МСС	подводное судно снабжения	ледакол-МСС с подводной камерой

Параметр	Надводный способ	Подводный способ	Комбинированный способ
дополнительные устройства	не требуются	транспортный шлюз, устройства приема/отгрузки жидких и сыпучих материалов, система динамического позиционирования под водой, устройства определения относительного положения, система спаренного управления, система контроля и безопасности, механизм компенсации продольных и угловых перемещений транспортного шлюза	устройства приема/отгрузки жидких и сыпучих материалов, подводный челночный аппарат

Из таблицы 1 видно, что комбинированный способ имеет больше преимуществ. В дальнейшем определение общих размерений устройств и элементов будет проведено эмпирическим методом исследования, на основании имеющегося опыта и близких аналогов.

Определение размерений устройств и механизмов

Разрабатываемый способ должен позволить перемещать большой объём запасов и различных материалов в обе стороны. В среднем за один рейс судно снабжения должно перевозить материалов в объеме около 190 м³. А ёмкости цистерн подводного многофункционального судна снабжения (ПМСС) должны позволять перевозить расходные материалы (дизельное топливо, ГСМ, цемент, утяжелитель бурового раствора, пресную воду и др.) для пополнения запасов и отгружать с ПБА отработанные жидкости (ляльные воды, буровые сточные воды, буровой раствор и др.).

Пополнение жидких запасов ПБА с ПМСС и их откачка с ПБА можно производить через комплекс приема/отгрузки жидких материалов. Если нет необходимости передавать твердый груз, непосредственная стыковка двух судов не требуется. Передача жидкого груза осуществляется через гибкие шланги высокого давления и высокой прочности (с металлическими оплетками).

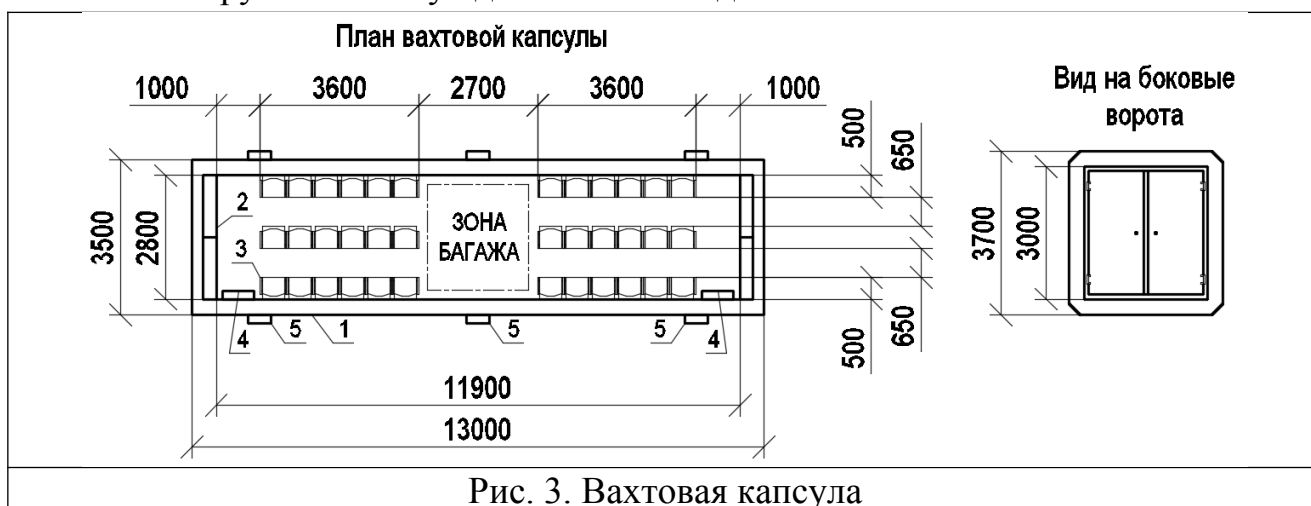
Общая компоновка комплекса состоит из следующих элементов:

1. блок перекачивающих насосов – для каждой системы отдельный насос (основной и вспомогательный);
2. наружная станция приема/выдачи жидких грузов;
3. блок замера отгруженного/принятого материала;
4. манифольд перекачивающих насосов;
5. набор гибких шлангов;
6. механизм подачи шланга от ПМФСС к ПБА;
7. система предотвращения разливов;
8. система продувки трубопроводов;
9. система видеонаблюдения;
10. система определения положения ПБА и ПМФСС.

Подводное многофункциональное судно снабжения используется для пополнения/вывоза жидких и сыпучих материалов. Используемые при перегрузке гибкие шланги позволят успешно компенсировать перемещения подводных судов относительно друг друга.

Количество капсул должно обеспечить перевозку материала в объеме около 190 м³ и персонала в количестве 100 чел. (состав рабочей команды в количестве 90 человек + 10 гостей).

С целью унификации и типизации разрабатываемых решений; размеры вахтовой и грузовой капсул должны быть одинаковыми.



Вахтовая капсула состоит из каркаса 1 с двойным дном, в котором расположены системы жизнеобеспечения (сжатого воздуха, система электропитания и освещения, балластная система) и оборудование (источники бесперебойного питания, насосы, Ёмкости с дыхательной смесью). В носовой и кормовой частях предусмотрены ворота 2 для уменьшения временных затрат на покидание капсулы. В капсуле предусмотрено 36 посадочных мест 3.

Управление системами капсулы осуществляется через щиты управления 4. Захват подводным челночным аппаратом вахтовой капсулы осуществляется за держатели 5.

Грузовая капсула имеет аналогичные вахтовой капсуле внутренние и внешние размеры. Но внутреннее пространство капсулы пустое, а в корпусе установлены: система электроснабжения и балластная система. Балластная система, заполняя пространство между сухим и мокрым корпусами, компенсирует действие подъемной силы.

ПЧА – это обитаемый телеуправляемый подводный аппарат «мокрого» исполнения. На раме располагаются движители, источники питания, распределительные щиты, системы охлаждения, электроснабжения, управления и контроля, наблюдения, связи, а также оборудование и инструменты, позволяющие удерживать капсулы, перемещаться в пространстве и др.

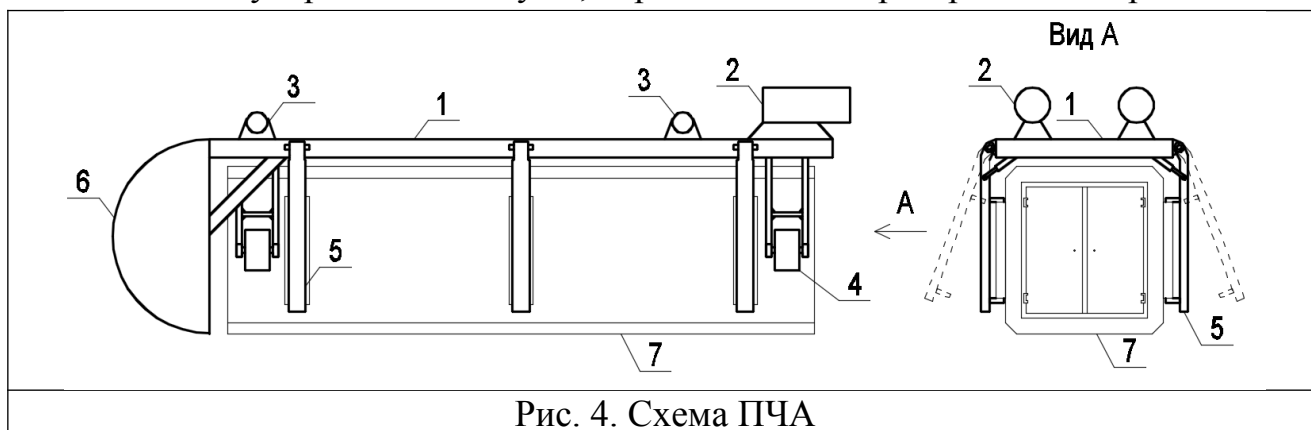


Рис. 4. Схема ПЧА

ПЧА состоит из несущей рамы 1, на которой установлены продольные (основные) 2, поперечные 3 и вертикальные 4 электрические движители. При помощи поворотных захватов 5 производится удержание капсулы 7. Обтекатель 6 имеет округлую форму для уменьшения лобового сопротивления при движении. За обтекателем располагаются источник питания, блок управления и контроля аппаратом, а также остальные устройства. По периметру располагаются датчики и сканеры, устройства видеонаблюдения.

Если разрабатывать полноценный подводный челночный аппарат для перевозки грузов и персонала ПБУ, то его габариты будут достаточно велики. Это связано с необходимостью установки большого объема оборудования в составе ПЧА. Представленная на рисунке 6 схема ПЧА – это телеуправляемый подводный аппарат с минимальным набором оборудования и систем.

ВЫВОД

Приведённые способы пополнения запасов – это концепты, обладающие своими преимуществами и недостатками. Но на их основе рассмотрены

решения основных проблем перемещения грузов и смены персонала для обеспечения круглогодичной эксплуатации подводной буровой установки.

Необходимость и главное возможность работы под водой подтверждается активной работой над проектом «Айсберг» таких известных компаний как ЦКБ «Рубин», ОКБМ «Африкантов», Политехническим университетом Петра Великого, Курчатовским институтом и Институтом проблем нефти и газа РАН при поддержке Фонда перспективных исследований. Также проект включён в программу развития арктической зоны РФ до 2025 г. [5].

Всеобщий интерес к подводному освоению арктических запасов углеводородов возрастает с каждым днем. И сейчас основная задача создавать новые методы и устройства для успешного освоения углеводородного потенциала арктического региона нашей страны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Дмитриев А.Н.* Проектирование подводных аппаратов
2. *Флаг Родины.* Газета Краснознаменного черноморского флота Российской Федерации. №65 (27321) от 05.09.2017 г.
3. *Кормилицин Ю.Н., Хализев О.А.* Проектирование подводных лодок. Учебник. Санкт-Петербург: Издательский центр СПбГМТУ, 1999, стр.344.
4. <https://www.ampelmann.nl/> Дата обращения 12.06.2019.
5. Постановление № 1064 от 31 августа 2017 г. О внесении изменений в постановление Правительства Российской Федерации от 21 апреля 2014 г. № 366 "Об утверждении государственной программы Российской Федерации "Социально-экономическое развитие Арктической зоны Российской Федерации на период до 2020 года".
6. <https://topwar.ru/9987-proekt-azorian.html> дата обращения 09.07.19

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Бобов Дмитрий Геннадьевич – Россия, 309850, Белгородская область, Алексеевка; инженер-конструктор; dmitry_bobov@mail.ru.

Гусейнов Чингиз Саибович – Россия, Москва; Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина; д.т.н., профессор; guseinov2@yandex.ru.