

# 03, март 2016

УДК629.052

## **Технология разработки, изготовления и конкурентных испытаний студенческих подводных аппаратов ROV. Часть 2.**

*Ремизов И.И., студент,  
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,  
кафедра «Подводные роботы и аппараты»*

*Некрасов А.А., студент,  
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,  
кафедра «Подводные роботы и аппараты»*

*Научный руководитель: Северов С.П., д.т.н, профессор  
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана  
кафедра «Подводные роботы и аппараты»  
[ivan-remizov@bmstu.ru](mailto:ivan-remizov@bmstu.ru)*

### **Введение**

Одним из наиболее значимых компонентов комплекса телеуправляемого необитаемого подводного аппарата (ТНПА) является надводная станция управления (далее НСУ), которая представляет собой систему, включающую в себя следующие основные составляющие:

- корпус надводным модулем управления (НМУ)
- береговая система электропитания комплекса ТНПА;
- комплекс устройств управления движением и технологическими операциями;
- комплекс устройств отображения информации, поступающей от датчиков ТНПА;
- интегративная береговая система управления комплексом в целом;
- система диагностики неполадок и предотвращения аварий.

Помимо необходимости обеспечения надежной работы всех вышеперечисленных систем, к НСУ предъявляются требования к компактности и мобильности. Особенно актуальны эти требования при проектировании комплексов малых мобильных осмотровых ТНПА, которые не являются составной частью судна и зачастую должны транспортироваться к месту работ без привлечения специальных видов транспорта.

Манипуляционные системы подводного аппарата это механическая система с гидравлическим или электрогидравлическим приводом, позволяющая оператору,

находящемуся в прочном корпусе обитаемого подводного аппарата или на судне-носителе, производить с помощью исполнительных устройств этой системы различные работы с объектами, находящимися в воде.

### **Проблематика проектирования надводных станций управления**

При близком рассмотрении каналов информационного взаимодействия аппарата «Акватор» и элементов структурной декомпозиции, можно обнаружить, что по существу исследуется, изготавливается и испытывается комплекс систем, в том числе буксирно-кабельная система, система модулей надводного поста управления, комплекс подводных операндов-объектов подводных операций робота [1,2].

Сложности проектирования НСУ заключаются в следующем:

- обеспечение малых габаритов и веса НСУ в целях портативности;
- выполнение требований механической прочности и устойчивости к воздействию статических, вибрационных и ударных нагрузок;
- компактное размещение, обеспечивающее возможность быстрой замены аппаратуры в корпусе НСУ;
- обеспечение эргономики и удобства работы оператора НСУ;
- обеспечение возможности подключения разных ТНПА в пределах одной модельной серии.

В УНМЦ «Гидронавтика» за все время работы центра было создано несколько вариантов НСУ для различных комплексов. В результате анализа и обобщения полученных при проектировании результатов был спроектирован универсальный НСУ, адаптированный для управления всей линейкой ТНПА, разработанных в центре и удовлетворяющий всем вышеперечисленным требованиям.

### **Анализ разработанных версий надводных станций управления**

За время работы УНМЦ «Гидронавтика» было разработано три версии НСУ, в разной степени удовлетворяющие требованиям.

В начале разработки первого прототипа НСУ (рис. 1) была предложена концепция установки аппаратуры в корпусе противоударного пластикового оружейного бокса, что идеально подходило для наших задачи, т.к. он прочен, износостойчив, обладает необходимой механической прочностью, что обеспечивает должную защиту внутренних компонентов. В верхнюю крышку ящика был вмонтирован монитор диагональю 26", а в

нижнюю часть устанавливалась алюминиевая панель со смонтированной на ней аппаратурой.



Рис. 1. Первый прототип НСУ

Данная система позволяла компактно разместить и транспортировать все компоненты надводной части системы управления в составе одного модуля, что особенно удобно в командировках и существенно сокращает время развертывания комплекса перед началом работ в акватории.

Однако система имела и недостатки, связанные с тем, что все компоненты крепились к верхней панели. Для обслуживания, диагностики или ремонта была необходима практически полная разборка НСУ. Во второй модификации НСУ (рис. 2) было решено отказаться от крепления компонентов к внешней панели, и в результате была разработана внутренняя система крепления компонентов на основе алюминиевой крепежной пластины. Были добавлены кабельные вводы. Это позволило организовать грамотную трассировку кабелей внутри НСУ.



Рис. 2. Модификация НСУ, предназначенная для управления ТНПА «Акватор 2» и «Акватор 3D»

Также для улучшения обзора был установлен монитор диагональю 30". Данное решение хорошо зарекомендовало себя на международных студенческих соревнованиях МАТЕС. В то же время началась разработка аппарата с другим интерфейсом связи и возникла необходимость установки других компонентов, что было проблематично сделать из-за плохой модульности конструкции. Для решения данной проблемы было решено модернизировать НСУ с целью повышения модульности, а данный момент в УНМЦ «Гидронавтика», разработана третья модификация НСУ, в которой была решена эта проблема, а также ряд других.

Как и все предыдущие разработки, НСУ был разработан студентами МГТУ им. Н.Э. Баумана в графических пакетах проектирования, таких как SolidWorks. НСУ третьей итерации не стал исключением и был спроектирован в пакете SolidWorks 2014, затем изготовлен по созданным чертежам (рис. 3)

Главной особенностью нового НСУ стало использование конструкционного алюминиевого профиля, что позволило организовать очень гибкую модульную структуру. Появилась возможность грамотно выстроить трассировку кабелей, возможность «горячей» замены компонентов, также установить новый увеличенный сенсорный дисплей для отображения статистических данных.

С улучшением модульности конструкции увеличился полезный объем внутри НСУ что позволило разместить компоненты для работы с разными типами аппаратов УНМЦ «Гидронавтика».



Рис. 3. Общий вид НСУ в третьей итерации

Такое применение позволило сместить центр тяжести к центру пульта, что стало особенно заметно при переноске. В результате использования новой технологии закрепления внутренних компонентов улучшилась виброзащита, уменьшилось время, необходимое на обслуживание, ремонт и диагностику станции.

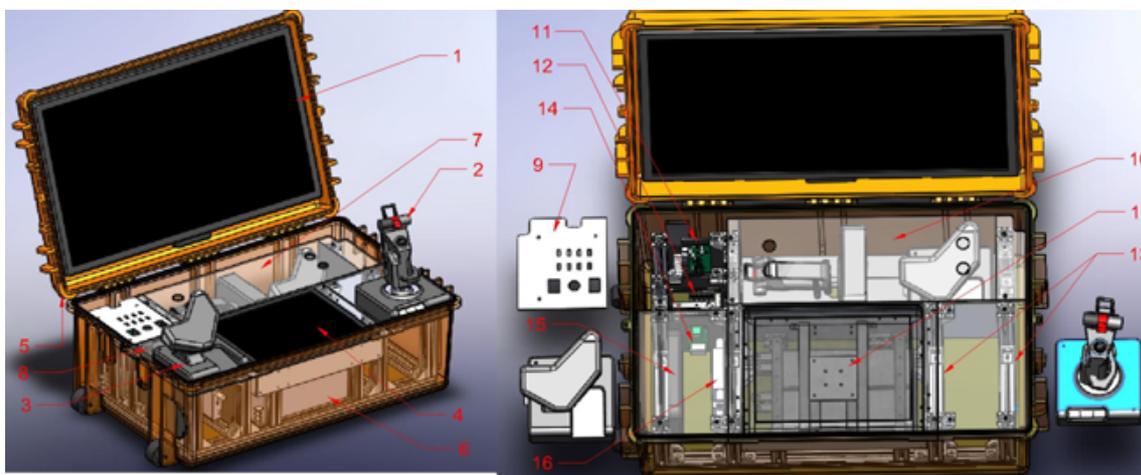


Рис. 4 НСУ в пакете SolidWorks

Взаимодействие внутренних компонентов:

1. Джойстик управления по атаке
2. Джойстик управления по глубине
3. 17" монитор для статистической информации
4. Крышка бокса
5. 2 кВт блоки питания 48В
6. Крышка отсека для джойстиков
7. Крышка отсека под электронику
8. Крышка отсека под электронику с отверстиями под кнопки включения и

USB-порты

9. Ящик для джойстиков
10. Система крепления электроники на выдвижных стойках с установленной

платой расширения

11. Источник питания 12В
12. Алюминиевые стойки из конструкционного профиля
13. Конвертер сигнала USB<->RS485

Взаимодействие внутренних компонентов НСУ:

В результате проектирования получены продукты рассмотренного класса, сопоставимые по своим характеристикам с известными разработками.

### **Основные сведения о манипуляторах и системах на их основе**

По определению, понимание термина технологии разработки ROV (Remotely operated underwater vehicle) является широким. Оно включает в себя, по меньшей мере, два вида технологий: технологию изготовления самого манипулятора, как объекта изготовления, и технологию выполнения подводных работ с помощью определенного манипулятора.

В первом случае манипулятор является операндом, т.е. тем, над чем работают, а во втором случае техническим манипулятором, производящим определенные подводные операции.

В настоящем исследовании рассматриваются технологии разработки, изготовления, испытания, настройки манипуляционной системы робота.

Представляется очевидным, что технология изготовления является способом реализации подводных операций с помощью манипуляционного технического комплекса

(МТК), включающего манипулятор, бункер сменных инструментов, систему захвата, координирование и др.

### **Манипулятор подводного аппарата.**

Манипулятор подводного аппарата – это механическая система с гидравлическим или электрогидравлическим приводом, позволяющая оператору, находящемуся в прочном корпусе обитаемого подводного аппарата или на судне-носителе, производить с помощью исполнительных устройств этой системы различные работы с объектами, находящимися в воде.

Манипулятор подводного аппарата состоит из органов управления (задающих органов), располагаемых на рабочем месте оператора, исполнительных устройств, находящихся в воде вне прочного корпуса подводного аппарата или на необитаемом привязном аппарате, и системы управления. Исполнительные устройства представляют собой многозвенный пространственный механизм со встроенными элементами гидравлической или электрогидравлической системы, с помощью которой манипулятор подводного аппарата приводится в движение. Конструктивное исполнение их различно, но кинематика схем, как правило, близка к кинематике руки человека. Они имеют звенья, называемые «плечом», «предплечьем» и «кистью», а также «плечевой», «локтевой» и «кистевой» шарниры и заканчиваются схватом. Часто исполнительные устройства манипулятора подводного аппарата называют "руками" ввиду их функционального и кинематического сходства. Манипулятор подводного аппарата может иметь 1 или 2 руки, которые обеспечивают возвратно-поступательное и вращательное движения в различных плоскостях, захват предметов или инструмента и работу с ними. Органы управления простейших манипуляторов подводного аппарата представляют собой небольшой пульт для включения и выключения приводов, обеспечивающий исполнение элементарных отдельных движений звеньев руки (поворот "плеча", сжатие схвата, его вращение и т. д.). В более совершенных манипуляторах подводного аппарата управление производится задающими устройствами, выполненными в виде сложной, многозвенной мнемонической рукоятки. В этом случае командой для исполнения является непосредственно поступательное или вращательное движение кисти руки оператора вместе с рукояткой, которое копируется исполнительным устройством, т. е. движение вперед и назад руки оператора приводит к движению вперед и назад "руки" манипулятора подводного аппарата, вращательное движение кисти руки оператора вызывает вращение «кисти» и т. д. С помощью датчиков, расположенных на схвате, оператор ощущает момент

соприкосновения губок схвата с объектом работ, а также изменение силы давления схвата на объект. Оператор обитаемого подводного аппарата ведет наблюдение за работой исполнительных устройств манипулятора подводного аппарата через иллюминатор или специальную зрительную трубу, а оператор необитаемого подводного аппарата - с помощью пульта управления. При этом место и объект работ освещаются забортными светильниками. Многие манипуляторы подводного аппарата имеют набор специального дистанционно заменяемого инструмента.

### **Применение подводных манипуляторов**

Современные подводные аппараты способные работать в недоступных местах и в экстремальных погодных условиях становятся меньше в своих размерах, а качество и выполняемые функции значительно расширились. Промышленные роботы манипуляторы используются при сварке и при прокладке подводных кабелей и в нефтедобывающей промышленности. Эффективность применения стимулирует дальнейшее развитие и увеличение инноваций в этой сфере.

Глубоководные роботы собирают биологические образцы на глубине около 2000 метров. Из аппаратов в этом сегменте можно отметить индийский робот Oceanering Millenium Plus, который способен работать на глубинах свыше 3000 метров. Многофункциональный аппарат «Ventana» считается одним из самых совершенных на сегодняшний день.

ООО «Дайвтехносервис» является эксклюзивным представителем на российском рынке ведущих мировых производителей телеуправляемых подводных аппаратов: PerrySlingsbySystems (Великобритания) – ведущий мировой производитель ТПА рабочего класса; Sub-Atlantic (Великобритания) – ведущий мировой производитель ТПА осмотрового и инспекционного классов, а также компонентов для ТПА рабочего класса; VideoRay (США) – ведущий мировой производитель малых ТПА осмотрового класса.

В России накоплен богатый опыт по разработке и использованию подводной робототехники типа ROV. Так в 2001 году было учреждено ООО «Индэл-Партнер», основным направлением деятельности стала разработка и производство малогабаритных, мобильных подводных аппаратов управляемых с помощью телекоммуникаций и применение их на практике. В начале производства они предназначались только для собственных внутренних нужд, но изделие оказалось настолько удачным, что им заинтересовались специалисты из других областей техники. Было расширено производство и компания начала продавать свои аппараты не только в России, но и за

рубеж. Секрет успеха кроется в больших возможностях этого аппарата выполненного на основе высоких технологий. Кроме невысокой стоимости относительно зарубежных аналогов. Аппараты, получившие имя ГНОМ (глубоководный обитаемый осмотровый мини-аппарат) показали и лучшие технические и эксплуатационные характеристики.

Более 500 подводных аппаратов ГНОМ применяются в различных подводных работах во многих точках мира. Маневренность, экономичность и простота управления вместе с малым весом и возможностью работы с любого плавательного средства делают этот аппарат лидером в своем классе. Во всяком случае, ГНОМ является наиболее миниатюрным среди всех известных осмотровых аппаратов.

Рассмотренный аппарат был прототипом для созданного в УНМЦ «Гидронавтика» аппарата «Акватор»].

### **Техническое решения для манипулятора «Акватор»**

Важным фактором для изготовления студенческого ROV – умение оптимально сочетать самостоятельно изготавливаемые и коммерчески приобретаемые компоненты. Без покупных изделий ROV изготовить нельзя, но их чрезмерное использование исключает оригинальность и новизну проекта.

На практике малогабаритные, в том числе студенческие роботы, изготавливаются с минимальным числом готовых комплектующих элементов, которые невозможно изготовить собственными силами. К их числу относятся датчики ориентаций, микроконтроллеры и т.д.

Наиболее часто используемыми технологиями в рамках студенческих разработок являются лазерная резка, объемная штамповка, 3-D прототипирование.

### **Манипулятор ТНПА АЗ**

Одной из самых актуальных проблем современного подводного мира является загрязнение акваторий нефтепродуктами и взрывчатыми веществами затонувших судов. Для работы в этой области в 2012 году группа студентов из отдела «Гидронавтика» сконструировала подводный аппарат Акватор-2D (рис. 5).

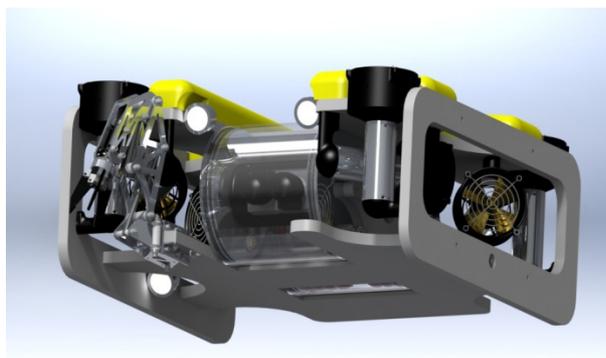


Рис. 5. 3-D модель ТНПА Акватор-2D

Робот способен физически имитировать выполнение ряда важных функций:

- откачку нефти из топливных баков затонувших судов;
- определение месторасположения и извлечение металлических образцов со дна;
- определение габаритов судна.

Многофункциональным приспособлением гидробота Акватор-2D является 3-х степенной манипулятор (рис. 6). Манипулятор используется при позиционировании датчика меченных нейтронов. Он используется при пересадке макетов кораллов, зацеплении и переносу мачты, при проникании в порты топливного бака и в других операциях.



Рис. 6. 3-D модель манипулятора ТПА Акватор-2D

В основу его конструкции были положены пневматические цилиндры, используемые в авиамоделях для выдвижения шасси. Тем самым достигается эффект оригинальности за счет переноса не нового элемента в новую область функционирования и в новую область подводной робототехники. Каждый смоченный цилиндр приводится в движение другим таким же цилиндром находящемся в сухом корпусе аппарата.

Задающий цилиндр, в свою очередь, связан с мощным сервоприводом. Манипулятор был задуман и разработан для ряда миссий как многофункциональное приспособление, взаимодействующее с остальным навесным оборудованием полезной нагрузки. Каждому новому назначению соответствует своя адаптация исполнительных органов и микропроцессорных программ управления манипулятором.

### **Манипулятор ТНПА АЗ**

В 2013 году студентами был создан телеуправляемый подводный аппарат, в первую очередь приспособленный для монтажа станций протяженных донных обсерваторий. Гидравлическая система манипулятора этого аппарата построена на основе элементов производства компании Limbic Modellbau (рис. 7). Их основное применение – в моделях экскаваторов, грузовиков и подъёмных кранов, способных оперировать с тяжёлыми грузами. Эти детали, как и ожидалось, продемонстрировали отличную работу в составе подводного манипулятора.



Рис. 7. Манипулятор ТПА «АКВАТОР-3Д»

Для захвата предметов, «АКВАТОР-3D» использует модернизированный схват компании Seabotix. Механизм закрытия схвата был заменён на оригинальную разработку, которая позволила укоротить его на 10см, сохранив при этом функциональность.

### **Манипулятор ТНПА Jellyfish**

Следующей разработкой центра «Гидронавтика» является ПА «АКВАТОРJellyfish» - представитель класса осмотровых и рабочих аппаратов. Робот достаточно многофункционален. Необходимость применения таких аппаратов обуславливается большим количеством океанических проблем, а, в особенности, экологические загрязнения океана. «АКВАТОР Jellyfish» предназначен для изучения затонувших судов, определения габаритов судна, получения панорамы кораблекрушения, взятия опытных образцов, измерения проводимости грунтовых вод на месте крушения и другое. Необходим в таких сферах как экология и гидрология.

ПА оснащен двумя манипуляторами. Один состоит из укороченного малогабаритного корпуса, разработка которого велась студентами с целью минимизации габаритов (рис. 8). За основу был взят схват SEABOTIX. Рифленные губки захвата позволяют схватить и удержать элементы маленького размера. Данный схват имеет универсальное крепление и может быть использован в других манипуляционных системах, разработанных нашей командой.

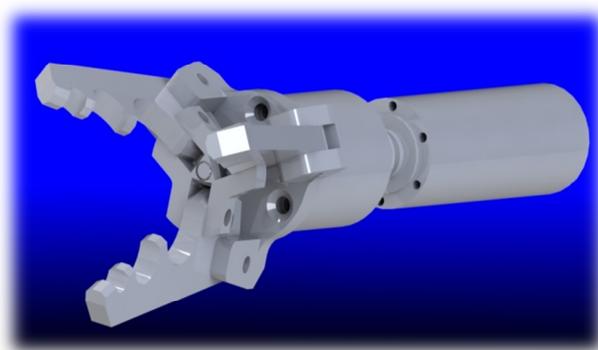


Рис. 8 Схват 1

Второй манипулятор является отечественной разработкой (Рис. 9). Принцип действия тот же, но имеет удлиненный корпус, что позволяет охватить большую область. Схват манипулятора также дает возможность захвата крупных объектов.



Рис. 9. Схват

Оба манипулятора подсоединены к одному приводу. Манипуляторы необходимы для ряда задач как многофункциональное приспособление, взаимодействующее с остальным навесным оборудованием полезной нагрузки. Каждому новому назначению соответствует своя адаптация исполнительных органов и микропроцессорных программ управления манипулятором.

Преимуществом этих манипуляторов является наличие отсечек по току. Это позволяет исключить заклинивание в крайних положениях, а также избежать чрезмерно сильного сжатия схватом инородного тела, например, человеческого пальца.

Рассмотрены основные особенности манипуляционного комплекса и сферы его применения и особенности технологических решений проектирования манипуляторов.

### **Результаты**

В результате исследования проблемы выявлено, что подводный робот является весьма информационной и наукоемкой технической системой. При его создании используются практически все технологии подводного приборостроения и аппаратостроения. Для практического успеха молодежной команды проектантов ROV являются 3D технологии: геометрическое 3-D моделирование, 3-D конструирование, 3-D имитация среды, 3-D твердотельное прототипирование, физическое моделирование.

По мнению комиссии экспертов десятой всероссийской студенческой инновационной научно-инженерной выставки в МГТУ им. Н.Э. Баумана (7-10 октября 2015 года) предложенное решение признано лучшим проектом в номинации «Практическая реализация высокотехнологичной системы».

## **Выводы**

Основной вывод, который следует из статьи «Технология разработки, изготовления и конкурентных испытаний студенческих подводных роботов ROV. Часть 2.» заключается в выявлении условий и возможностей создания надводной станции управления подводным аппаратом и манипуляционных систем используя наработки УНМЦ «Гидронавтика».

## **Заключение**

Значительная часть настоящего исследования выполнена при содействии Министерства образования, при полной поддержке развития студенческих творческих объединений. В настоящее время полученные методические, организационные и технические решения сохраняют свое значение, в особенности, если они достигнуты на основе проектного менеджмента, допускающего трансляцию опыта на другие ВУЗы и коллективы.

## **Список литературы**

- [1]. Овчинников И. Е. Вентильные электрические двигатели и привод на их основе. СПб.: КОРОНА-Век, 2006. 336 с.
- [2]. М.Н., Дмитриев А.Н. Покорение глубин. 3-е изд. Л.: Судостроение, 1969. 380 с.
- [3]. Войтов Д. В. Телеуправляемые необитаемые подводные аппараты. М: Моркнига, 2012. 506 с.