

Подводные роботы на подводном вулкане: проектно-конкурентный подход к высшему профессиональному образованию в действии

07, июль 2015

Северов С. П.^{1*}

УДК: 551.461/467.67

¹Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана

[*sseverov@mail.ru](mailto:sseverov@mail.ru)

Введение

Предприятия и организации РФ, занятые разработкой подводных технологий и средств освоения Мирового океана, известны [1]. Уровень компетенций выпускников технических вузов предполагается определенным. Общее представление о масштабах и уровне развития дистанционно управляемых подводных роботов класса ROV, можно получить, обратив внимание на публикации [2, 3]. Ранее изложены методология и проектно-конкурентный подход к высшему инженерному профессиональному образованию в области подводной робототехники [4-7]. Здесь конкретно рассматривается головной, в ряду разработанных, опытный образец подводного робота «АКВАТОР» типа ROV [2,8]. Аппарат представляется с позиций функционально адекватного соответствия его подсистем океанологическим и геофизическим задачам, а также технологиям, дистанционного, с помощью роботов, восстановления донного инженерного оборудования, частично выведенного из строя подводным вулканом. Аппарат разработан, изготовлен, испытан и использован для тренинга команды операторов, принимавших участие в международных студенческих соревнованиях подводных роботов. Аппарат использовался в качестве демонстрации объекта научно-технической инноватики молодежи, а также в учебных целях, при подготовке инженеров подводной робототехники и морской индустрии [4].

Аппарат «АКВАТОР», **рисунок 1**, разработанный и построенный студенческой командой «Гидронавтика» ROV МГТУ им. Н.Э., фактически является комплексом, включающим судовой/береговой надводный пульт управления роботом; многоканальную механически прочную информационную связь с аппаратом в виде кабель-троса; донное оборудование, физически моделирующее определенную оперативную акваторию. В данной работе из всего комплекса выделен, в основном, только телеуправляемый подводный аппарат «АКВАТОР» и проблемы его разработки и изготовления в «металле» для выполнения миссии 2010 года на международных соревнованиях MATEC ROV Competition [8].

Конструктивно-силовое основание аппарата

Им является трубчатая поливинилхлоридная (ПВХ) рама, на которой устанавливаются герметичный прочный корпус, активный движительный комплекс, манипуляционно-технологические устройства и сенсорное оборудование. Движительный комплекс включает 4 винтомоторных агрегата, выполненных на базе электродвигателя фирмы MAXON Швейцарского производства. Количество движителей, с фиксированным вектором тяги и схема их расположения дает возможность активно управляемого на нем комплекса манипуляционных и функциональных устройств. К оригинальным функциональным устройствам отнесены: инжектор, всасывающий исследуемых ракообразных; дозирующий пробоотборник бактериального налета; бортовой гидрофон и термодатчик заборной среды. Концептуально предполагалось, с учетом маневренности платформы аппарата, как инструмента, что для выполнения всех заданий миссии 2010 года достаточно одного двух-ступенного манипулятора и указанных рабочих устройств. Система управления аппаратом позволяет управлять аппаратом, как в ручном, так и в полуавтоматическом режиме. Видеосистема состоит из одной поворотной камеры высокого разрешения и 2-х кластеров светодиодных осветителей. Для проверки предположений и технических решений, с учетом рекомендации и требований МАТЕС [8] был изготовлен и установлен в бассейне ЦАГИ комплекс донного оборудования, включающий в себя имитаторы донной станции HUGO, затемненный туннель с ракообразными, имитаторы новых кратеров и сосуд с бактериальным налетом. Работоспособность аппарата «АКВАТОР» подтверждена во взаимодействии с донным оборудованием при технических, функциональных испытаниях и тренингах операторов. Использовалась видео-съемка и презентации натуральных испытаний аппарата в бассейне, **рисунок 2**.



Рисунок 1. Вид аппарата справа спереди



Рисунок 2. Вид аппарата «АКВАТОР» с левого борта

О сущности проекта

Аппарат «АКВАТОР» спроектирован и создан командой МГТУ как малогабаритный переносный телеуправляемый подводный робот, способный выполнять базовые подводно-технические монтажно-демонтажные операции, измерять температуру водной среды, отбирать донные вулканические трубчатые образцы, собирать ракообразных на поверхностях, выявлять гидроакустические источники излучения, брать дозированные пробы донного вулканического бионалёта. По представлениям разработчиков, апробированная способность малого конкурсного аппарата «АКВАТОР» выполнять более 10 функционально различных операций может рассматриваться как предварительная проектная проработка профессионального проекта аппарата. При создании аппарата «АКВАТОР» предложен и реализован ряд оригинальных технических решений.

Электрическая схема

Исходные электрические схемы аппарата «АКВАТОР» являются результатом последовательного эволюционного наращивания функциональности систем управления, которое проводилось в форме научно-исследовательской работы, курсового и дипломного проектирования студентами предыдущих курсов. До того как определить схемы аппарата «АКВАТОР» команда МГТУ разработала и собрала схемы тестового аппарата -Test Akvator Modified (ТАМ). Аппарат ТАМ оказался целесообразным для освоения технологических операций пайки, сборки узлов, монтажа, а также отработки навыков пилотирования при подходе к объектам донного оборудования в бассейне и работы с ним. Позже в

схему ТАМ были добавлены сегменты схем, относящиеся к всасывателю ракообразной биоты, температурному датчику, сейсмогидрофону и другим навесным элементам аппарата «АКВАТОР».

Схемам энергопитания и схемам защиты придано приоритетное значение в целях обеспечения пассивной и активной защиты операторов, работающих с достаточно мощными, до 2-5 кВт роботами, в оперативных акваториях бассейнов. Допуск команд и роботов к соревнованиям разрешается только после квалификационной экспертизы.

Конкретно, на входном контроле и инженерной презентации соревнований МАТЕС-2010, в целях обеспечения безопасности были представлены схемы [8]:

- SHEMA PRINCIPALNAY BEREG- принципиальная схема берег-аппарат;
- BEREG CAM BOT – схема, содержащая диодные мосты, которые введены для защиты системы, если будут перепутаны полярности источников питания;
- BEREG CAM TOP – схема, к разъемам которой подключается штатный источник питания на 48В; джойстик; разъем под кабель; разъем просмотра видео; разъем записи видео;
- CPU MODULE - схема подключения датчика температуры, поворота камеры, шины I2C, датчика давления;
- CPU MODULE VIDEO - схема обработки видеосигнала;
- STANDART BORT V10.37 - схема первой платы на борту аппарата;
- STANDART DC V10.37 - схема второй бортовой платы;
- SOEDINENIE BLOKOV KAMERY 2-2 - схема соединения блоков камеры, разъемов подключения питания, предохранителя fuse; индикаторов режима работы аппарата: 1 сд означает, что с аппаратом есть связь; 2 сд, что произошел вход в меню управления; 3 сд, что в системе имеются перегрузки.

В бортовой части системы управления и в наземном сегменте использовался процессор Atmega 128. Таким образом, был разработан, изготовлен, испытан и введен в действие не только подсистемно обособленный аппарат-носитель «АКВАТОР», но и надводно-береговой пульт управления роботом, в варианте технического кейса, переносимого двумя операторами, и информационно-энергосиловой кабель-трос, связывающий пульт с аппаратом. В целом образуется целостный функционально обусловленный комплекс автономных подсистем для физического моделирования в бассейне подводных операций ликвидации последствий извержения подводного вулкана с помощью ROV.

Конструктивно силовое основание аппарата «Акватор» [8]

В качестве материала для конструктивно-силового основания (КСО) были выбраны полипропиленовые трубки диаметром 1 дюйм (25,4 мм) и соединительные части к ним. Плотность материала КСО составляет 980 кг/м^3 , что обеспечивает их положительную остаточную плавучесть не только в морской, но и в пресной воде. Форма рамы КСО была выбрана в соответствии с требованиями оптимального расположения и удобства доступа

ко всем блокам и системам аппарата в условиях минимизации габаритных размеров (Рисунок 3).

Неотъемлемой подсистемой ресурсного обеспечения соревнований подводных роботов является донное и плавающее операнд-оборудование, изготавливаемое каждой командой в полном соответствии с общими требованиями соревнований [8]. При изготовлении каркасов донного оборудования, также как при изготовлении рамы (Рисунок 3), использовались технологии разметки исходного материала, резки и термической сварки или склейки элементов каркаса. При изготовлении конструктивно силовой рамы аппарата использована технология склейки, как более точная. Решение о выборе полимерного материала обусловлено острым дефицитом времени на изготовление робота. Приняты во внимание: доступность; экологичность; малая плотность; изоляционные свойства диэлектрика; низкая трудоемкость обработки материала [8]. Решение принято в соответствии с концепций - проект является созданием оригинального продукта за ограниченный срок при определенных материальных ресурсах [5]. Негатив решения - склейка не гарантирует герметичность стыков. Возможно частичное, не контролируемое, заполнение водой внутренних полостей. Соответственно, возможна неконтролируемая потеря удифферентовки, начального крена и других параметров балансировки аппарата. Принято частное техническое решение – провести частую перфорацию всех полостей трубчатой рамы. При этом, в погруженном состоянии, выравниваются гидростатические нагрузки, но снижается остаточная плавучесть, увеличивается масса и инерционность рамы. Появляется временная задержка вследствие ожидания при спуске под воду, из-за инфильтрации воды в раму, и на вытекание воды из перфорированных элементов рамы. В целом, робот трансформируется в более медленный и инерционный аппарат, но с сохранением функциональной пригодности бортового комплекса датчиков и устройств [8].

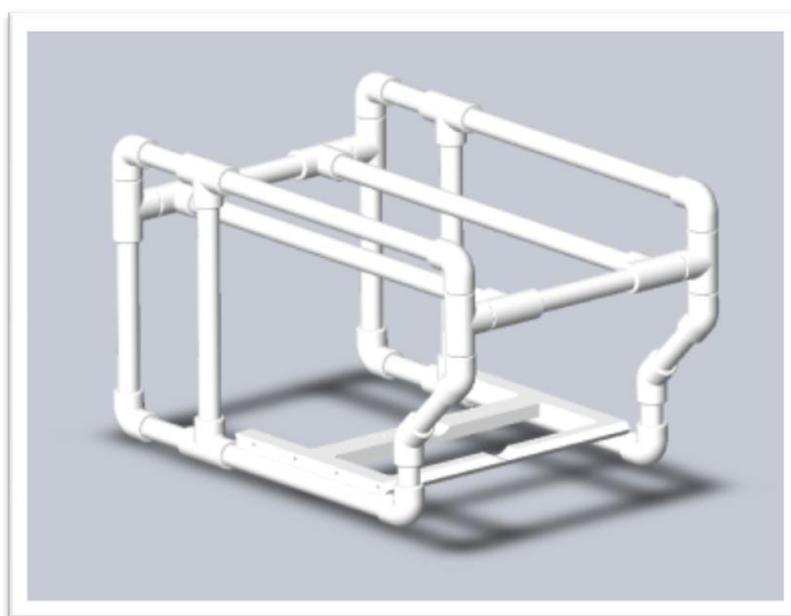


Рисунок 3 . Модель каркаса подводного аппарата «Акватор»

Системы аппарата

Аппарат оснащен 4 винтомоторными агрегатами – 2 горизонтальными и 2 вертикальными. Основными конструктивными компонентами каждого из агрегатов являются коллекторные двигатели постоянного тока фирмы Махон, гребные винты и магнитные муфты. Аналогичного типа движитель используется для приведения в действие всасывающего импеллера биообъектов, в частности ракообразных, а также мелких объектов с размерами того же порядка, что входное отверстие конфузора импеллера,

Видеосистема

Аппарат оснащен стандартной аналоговой модульной видеокамерой, с композитным видеосигналом, установленной на подвижной платформе. Эта платформа управляется сервомашинкой, типа рулевой машинки, используемой в RC-микромоделях малых подвижных платформ. Увеличение области обзора камеры достигается при помощи зеркала, аналогичного зеркалу заднего вида пилотируемых надводных транспортных систем (Рисунок 4).



Рисунок 4 . Минимонитор блока управления подводным аппаратом «Акватор».

Система датчиков

На аппарате «Акватор» установлен и используется датчик температуры Microchip MCP9804. Это цифровой датчик, который для связи использует протокол I2c. Он имеет достаточно малые размеры, что позволяет замерять температуру в малодоступных местах, в частности, в затопленных струях физического имитатора вулкана, в соответствии с миссией МАТЕС ROV-2010.

- Для аппарата «АКВАТОР» было также создан специальный акустический датчик – гидрофон для исследования и измерения, в частности, частоты звука подводного

источника. Гидрофон представляет собой герметичный металлический корпус с тонкой мембраной. Внутри корпуса находится электретный микрофон с усилителем. Усилитель состоит из 2-х операционных усилителей, включенных последовательно, один в режиме усиления, второй как повторитель, чтобы не допустить усиления шумов. Для приема сигнала гидрофона используется гидрофонный провод, идущий непосредственно на надводный береговой пульт управления. Через провод идет питание на усилитель и сигнал с гидрофона. Данные с гидрофона, позволяющего определить частоту сигнала, регистрируются на ноутбуке через микрофонный вход с помощью свободно распространяемого ПО.

Буксирно-кабельная связь

Кабельная однопроводная многожильная связь, представленная на [рисунке 5](#), была эффективной в тестовом варианте аппарата «ТАМ», питавшегося от источника напряжения 180 В [8].



Рисунок 5. Вьюшка с кабелем однопроводной многожильной связи без дополнительных легких элементов плавучести на кабеле.

При переходе, в соответствии с техническими требованиями МАТЕС, с 180 В на 48 В, а также в связи с оснащением конкурсного аппарата гидрофоном, температурным датчиком и другими бортовыми устройствами потребовался переход к 3-х проводной кабельной системе ([Рисунок 6](#)) [8].



Рисунок 6. Блок питания

При разработке системы управления аппарата «Акватор» команда МГТУ следовала, в основном, архитектуре известных прототипов, представленной ниже [8].

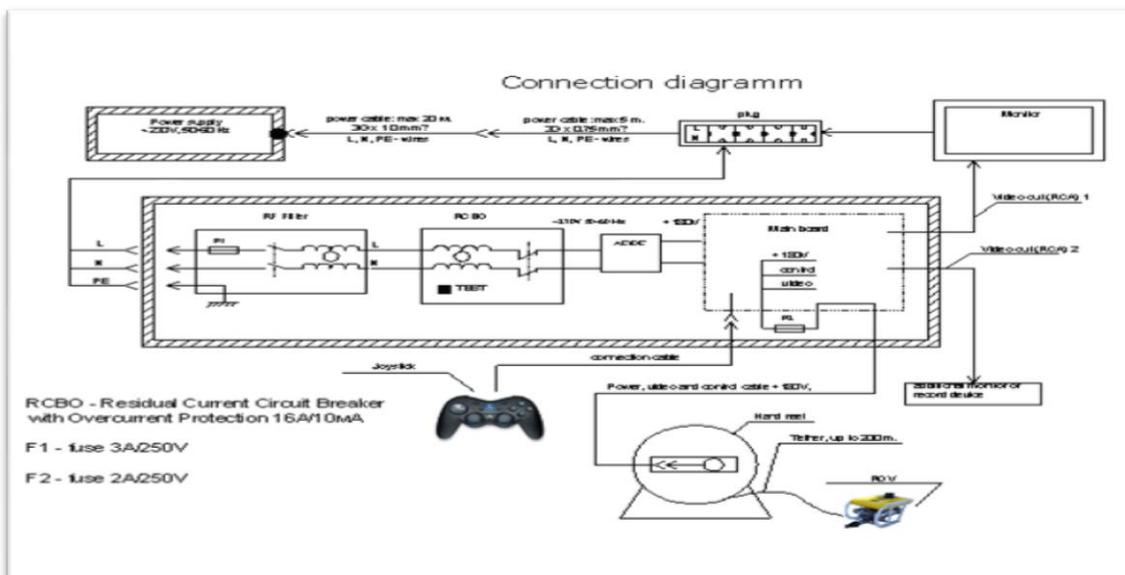


Рисунок 7. Архитектура системы управления робота-аппарата.

Основными подсистемами архитектуры являются управляемый аппарат, буксирно-кабельная связь, береговой блок управления и пульт управления, рисунок 7. Дальнейшая декомпозиция определяется целями рассмотрения и необходимостью. Вследствие различий функционального назначения и структурных отличий аппарат «АКВАТОР» отличается

ся от прототипов и аналогов. Его система управления получила ряд существенных дополнений. Часть из них можно видеть в разделе «Электрические схемы». Другая часть отличий представлена в изображениях компонентов носимого бортового комплекса.

Береговой надводный блок управления представлен в универсальном исполнении, соответствующем питанию от источников 180 В для тестового, от сети, и конкурсного 48 В, от аккумуляторов, вариантов питания. В последнем случае, из-за ненужности понижения тока, система питания упрощается и сводится к одной плате, зеленого цвета, показанной в нижней передней части бокса.

Здесь демонстрируется минимонитор блока управления подводным аппаратом, который использовался при отработке навыков пилотирования операторами «АКВАТОР» в операциях по выполнению заданных подводно-технических работ в различных акваториях, в том числе, в гидробассейне института ЦАГИ. Для конкурсных условий предусмотрено использование типового ноутбука.

Устройства для осуществления подводной миссии

Для выполнения конкурсных Заданий №1, №2, №3, №4 разработаны специальные устройства [8].

Задание №1: Реконструкция донной обсерватории HUGO. В качестве тестирующего гидрофона используется микрофон, помещенный в гермоблок с низкочастотным фильтром, сигнал которого, по отдельному кабелю, передается непосредственно на ноутбук.

Задание №2: Сбор образцов новых типов ракообразных. Разработано специальное приспособление для сбора ракообразных. Принцип действия: водометный движитель-импеллер засасывает воду с ракообразными, которые оседают на специальной сетке.

Задание №3: Образцы новых жерл вулканических кратеров. Для выполнения задания №3 подводной миссии было разработано специальное устройство, в основе которого лежит термодатчик (MCP9804 $\pm 0,25^{\circ}\text{C}$ Typ. Accuracy Digital Temperature Sensor). Сигнал датчика передается на плату, располагающуюся на борту аппарата.

Задание №4: Отбор образцов биопленки. Приспособление -пробоотборник основано на свойстве малой вязкости гелеобразного агара в воде. Состоит из твердых трубок в виде шприцов объемом 50 мл, гибких резиновых трубок и основания на котором крепятся указанные твердые и гибкие трубки. Порядок использования приспособления - пробоотборника: опустить часть приспособления с твердыми трубками в чашу с агаром, используя вертикальные движители робота; схватом манипулятора пережать гибкие трубки и перекрыть доступ воды в твердые трубки; поднять приспособление и сам аппарат на свободную поверхность акватории и разжать захват.

Сложные задачи и проблемы

При осуществлении программы «Гидронавтика» и проекта аппарата «Акватор» члены команды столкнулись со сложными проектными задачами и проблемами, которые не удалось преодолеть и которые пришлось обходить. Из представленных задач наиболее сложной явилась задача №1 Реконструкция донной обсерватории HUGO, которая должна рассматриваться отдельно [4-7].

По конструкции: проблема контроля конфигурации рамы при ручном изготовлении сваркой; проблема надежности закрепления агрегатов аппарата и приспособлений на раме при вибрационном нагружении после авиа-и автотранспортировки; малая степень подвижности конструкции манипулятора.

По электронной части: стабилизация напряжения питания на борту; передача видеосигнала; стабилизация напряжения на "береговой части"; вывод телетекста на экран.

По программному обеспечению: реализация протоколов межблочного обмена данными;

Проблемы персонала и поставок: дефицит достаточного числа программистов в команде; задержка зарубежных поставок критических комплектующих компонентов. Последнее явилось во внедрении проектно-конкурентной образовательной технологии одной из самых сложных задач которую команда Центра «Гидронавтика» разрешила. Удалось преодолеть нескончаемо, казалось бы, длительную фазу нейтрального отношения к проекту со стороны спонсоров, заинтересовать инвесторов результатами слаженной работы команды и организовать студенческое сообщество, занимающееся проектированием подводных аппаратов в форме проектно-конкурентного подхода к учебному процессу подготовки инженеров подводной робототехники и морской индустрии на мировом уровне качества.

Технические проблемы

В процессе исследований, настройки и отладки постоянно возникали технические проблемы. Например, постоянно перегревался преобразователь напряжения на борту аппарата, предназначенный для питания винтомоторных движителей аппарата. После долгого поиска решения, пришли к выводу, что стабилизатор питания необходимо вынести на наземную «береговую» часть системы управления комплекса. Были свои проблемы с передачей видеосигнала, но они были решены путем коррекции необходимого усиления видеосигнала. Проблемы управления проектом разрешались в соответствии со стандартами проектного менеджмента.

Полезный груз аппарата

Полезный груз аппарата включает все компоненты бортового комплекса, установленные на конструктивно силовом основании носителя. К полезному грузу отнесены: сис-

тема регулирования плавучести; манипулятор; сейсмогидрофон; всасывающий импеллер ракообразных; пробоотборник биопленки; термодатчик; светильники; видеокамера.

Специфически характерным устройством для конкурсного аппарата «АКВАТОР» является импеллерный всасыватель для сбора ракообразных. Принцип работы этого устройства основан на действии водометного движителя. Устройство включает корпус из сегментов полимерных труб, коллектор-накопитель для ракообразных и движитель всасывателя, такой же, как и используемые в активном движительном комплексе системы управления движением аппарата [8].

Будущие усовершенствования

- **Манипулятор.** Улучшить крепежные элементы манипулятора, предусмотреть возможность регулировки положения основания манипулятора (максимально выдвинуть или максимально задвинуть), а также возможность установки манипулятора под оптимальным углом, чтобы схват манипулятора был лучше виден в камере оператору.
- **Рама аппарата.** Сделать раму просторной, чтобы все элементы, в том числе манипулятор и приспособления располагались внутри защищенного габаритного объема аппарата.
- **Электроника и СУ.** В среднесрочной перспективе разработать, изготовить и испытать новую интегративную “начинку” аппарата, т.е. разработать, изготовить и испытать платы и ПО оптимального управления движителями, светильниками, манипулятором аппарата. Задача трудоемкая, но выполнимая.
- **Плавучесть.** Сохранить как есть, т.е. систему регулирования плавучести (СРП) из телескопических цилиндрических контейнеров-труб, с возможностью регулировки объема и выталкивающей силы, что удобно в процессе разработки и испытаний аппарата, однако повысить надежность конструкции и снизить лобовое сопротивление трубчатых контейнеров СРП. Создать альтернативную секционированную СРП для аппарата из легкого материала, придав плавучести адаптированную к движителям форму с минимальным гидродинамическим сопротивлением.

Приобретенные знания, умения и навыки

Технические навыки в перечислении. Навык конструирования реальных объектов подводной робототехники. Получение навыков отладки бортового оборудования. Практические навыки тестирования электронных схем. Опыт настройки каналов передачи видеосигнала. Навык работы с микропроцессорами. Умение доработки и отладки программного обеспечения подсистем управления. Навыки подготовки документации для разработанных объектов и систем.

Организационные навыки. Научились работать в команде, распределять роли и обязанности между участниками команды. Приобрели в университете умение, в соответствии со стандартами управления проектами, взаимодействовать со спонсорами, менеджерами и стейкхолдерами. Выработали формы взаимодействия с поставщиками оборудования. Ос-

воили технику принятия критических решений в проекте при отсутствии или дефиците времени, комплектующих элементов и др. ресурсов.

Извлеченные уроки. Необходимо предусматривать достаточный набор сменных элементов (резисторы, предохранители, диоды др.), предотвращающих выгорание ответственных элементов, таких как камера и т.д. в случае короткого замыкания. Размещать элементы конструкции приспособлений так, чтобы они в минимальной степени перегорали рабочее поле камеры и светильники. Все подготовительные работы (настройка движителей, регулировка видео, отладка) проводить в лабораторном бассейне, а не во время испытаний в опытовом бассейне, чтобы у пилотов было больше времени натренироваться на выполнение заданий миссии. Иметь в виду, что во время транспортировки аппарата возможны обрывы контактов, виброударные последствия в виде локальных разрушений, саморазвинчивание, расфиксация, вплоть до потери комплектующих, например, гребных винтов (что имело место в проекте «АКВАТОР») и другие технические отказы. Во время работы аппарата возможны риски затекания прочных корпусов, выход из стоя функционально специализированных приспособлений и оборудования и другие инциденты, требующие предварительной проработки реакции на риски и угрозы проекта (рассматриваются отдельно).

Оперативная акватория подводного вулкана Лоихи (справочно) [4,11]

Для команды МГТУ, работавшей над созданием подводного аппарата «Акватор», информация о подводном вулканизме Лоихи была базовой информацией при выборе рациональных и альтернативных технических решений. По сути, разработка аппарата «Акватор» и донного оборудования для соревнований в опытовом бассейне была физическим моделированием реальной ситуации на подводной горе Лоихи.

Большая часть информации о Лоихи получена после погружений, сделанных в связи с извержением 1996 года. Во время погружения, проведённого практически сразу после сообщений о сейсмической активности, было выявлено, что видимость значительно снижена из-за высокой концентрации взвешенных минералов и больших сгустков биоплёнки в воде.



Рисунок 8. Коммутационный бокс обсерватории HUGO, подготовленный к подъёму со дна [11].

В 1997 году учёные из Гавайского Университета установили на вершине подводной горы Лоихи донную океанологическую обсерваторию HUGO -Hawaii Undersea Geological Observatory- Гавайская Подводная Геологическая Обсерватория [4-7]. HUGO была соединена оптоволоконным кабелем длиной 34 км с берегом. С её помощью учёные получали информацию о сейсмической активности, химических данных и визуальную информацию о Лоихи, которая к тому времени стала международной лабораторией для изучения подводного вулканизма. Кабель, снабжавший HUGO энергией и обеспечивавший связь, оборвался в октябре 1998 года, фактически отключив её. Расположение Лоихи в середине Тихого Океана и его устойчивая гидротермальная система вносят свой вклад в появление богатого оазиса микроорганической экосистемы. В конце 1980-х в кратере, на северном склоне и вдоль всей вершины Лоихи обнаружены обширные области гидротермальных источников. Наиболее значительные источники находятся на вершине - Pele's Pit (Яма Пеле) и Капо's Vents (Геотермальные источники Капо). Ранее они считались «низкотемпературными» источниками, так как температура их выбросов составляет всего 30 °С. Извержение 1996 года и образование Ям Пеле изменило это и запустило процесс высокотемпературных выбросов; измеренная в 1996 году температура выбросов - 77 °С.

Геотермальные источники располагаются на глубине от 1100 до 1325 метров. Температура выбросов составляет от 10 до 200 °С. Для состава выбросов характерно высокое содержание CO₂ и Fe (железа), но малое содержание сульфида. Низкое содержание кислорода и низкий уровень pH - важные факторы, поддерживающие высокий уровень содержания железа, что является отличительной особенностью Лоихи. Эти параметры создают прекрасную среду для железоокисляющих бактерий, названных FeOB, процветающих здесь.

Разнообразные группы биологических плёнок окружают геотермальные источники и практически покрывают всю Яму Пеле. Гавайская подводная исследовательская лаборатория (HURL) при центре исследований на Гавайях и в западной части Тихого океана NOAA, отслеживает и исследует гидротермальные системы и изучает локальное природное сообщество. Национальная Научная Организация (NSF) спонсировала взятие проб экстремофилов в рамках экспедиции на Лоихи в 1999 году. Биологические плёнки окружали источники температурой 160 °С и включали в себя неизвестный ранее желеобразный организм. В 2001 году аппарат Pisces V собрал образцы микроорганизмов и поднял их на поверхность для изучения [10-12].

Окружающая среда проекта

Команда МГТУ в начале своего проекта участия в соревнованиях МАТЕС имела очень мало оснований для успеха. Первоначально проект МАТЕС-2010 рассматривался как обычная студенческая исследовательская работа. Но по мере нарастания интереса студентов к МАТЕС-соревнованиям учебные задания трансформировались в реальные МАТЕС-задания. Учебные группы были трансформированы в команды, следующие одна за другой. Существенную консультационную помощь команде МГТУ оказала команда ДВГТУ-Дальневосточного государственного технического университета. Наставник команды ДВГТУ д.т.н., профессор. Щербатюк А.Ф. имеет опыт успешного участия в соревнованиях МАТЕС-2008 и МАТЕС-2009. Опыт подготовки ДВГТУ и МГТУ к соревнованиям МАТЕС вызывает интерес и других университетов России, в том числе Москвы и Петербурга.

Командная работа

Основным фактором реализации проекта «АКВАТОР» стало системное управление проектом. Командой был разработан паспорт проекта и план-график выполнения работ, где расписывались ключевые роли в команде, вехи проекта, а также возможные риски. Кроме календарного плана был разработан финансовый план, план внесения изменений, план управления рисками. Командная работа была организована в соответствии с рекомендациями стандарта ANSI PMI PMBOK GUIDE 5-е издание 2010 года по управлению проектами [2].

В целом можно полагать, что команда проекта справилась с поставленной задачей - за ограниченное время, один учебный год, при ограниченных ресурсах, смогла выдать оригинальный продукт – действующий подводный робот «АКВАТОР».

Бюджетный лист команды проекта АКВАТОР МГТУ

В современной социально-экономической среде бюджетирование инновационных молодежных любительских проектов является критическим процессом. В рассматриваемом проекте, как следует из приведенного бюджетного листа, финансирование было обеспечено путем частичного использования бюджета, форм дарения комплектующих компонентов и технологических сервисов научными организациями МОН, РАН и личных средств активных участников проектной команды.

Бюджетный лист проекта АКВАТОР

Таблица

Статья расходов	Источник	Дарение	Закупки
Travel Stipends	МГТУ им. Баумана		18000 руб.
Fiber Optic Video Link	ИОРАН	15000 руб.	
Main Camera & Housing	ИОРАН	90000руб.	
25 Student Versions of SolidWorks	DASSO	65000	
Thrusters (8)	ИОРАН	2800 руб.	
Printed Circuit Boards	ИОРАН	4500 руб.	
Underwater Connectors	ИОРАН	29000 руб.	
Foundation Grant	МГТУ им. Баумана	2100 руб.	
Rapid Prototype Camera Housings	ЗАО ТЕТИС	1400 руб.	
Tether	ИОРАН	61000 руб.	
Waterjet Services	ЗАО ТЕТИС	15000 руб.	
LED Lamps	EDVOERAS	11800 руб.	
IP68 Rated Cabling & Connectors	ИОРАН	30500 руб.	
Plastic & PVC sheets	ТЕТИС	9000 руб.	
Aluminum Hard Anodizing	ОКБ ОТ РАН	8000 руб.	
16 ea PIC18F4431 Processors	МГТУ им. Баумана	3900 руб.	
Acrylic Tubing	МГТУ им. Баумана		2900 руб.
Batteries	МГТУ им. Баумана		2200руб.
CNC work for aluminum parts	ОКБ ОТ РАН		11000руб
Electronic Components	МГТУ им. Баумана		10200 руб.
Fiber Optic Cable	ИОРАН	100 руб.	9000руб
Foam Float Material	МГТУ им. Баумана		6750 руб.
Misc Supplies	МГТУ им. Баумана		8100 руб.
Motors (2)	МГТУ им. Баумана		450 руб.
O-Rings, shaft seals & sealant	ОКБ ОТ РАН		10500 руб.
Pulleys and cog belts	МГТУ им. Баумана		2100 руб.
Salvage Parts - Hydraulics & Pneumatics	ОКБ ОТ РАН		12000руб
Salvage Parts - Video Mixer (в переводе)	ЗАО ТЕТИС		8000руб
Salvage Parts - Video Selector Box (2006)	ИОРАН		14000руб
Salvage Video Cameras	ОКБ ОТ РАН		6000руб
Solenoids (left over from 2006)	ОКБ ОТ РАН		10000руб
Страхование временного пользования	МГТУ им. Баумана		20000 руб.
Stainless Fasteners	МГТУ им. Баумана		3600 руб.
Travel Costs			18000 руб.
Student input to travel costs		45000 руб.	
Student Fundraising on Ebay		12000 руб.	
Общая стоимость дарений		870 000 руб.	
Общая стоимость оплат			498 000 руб.
Общая стоимость проекта, дарение и оплата:			1 368 000 руб.

Таким образом, основная часть проектных расходов компенсировалась безвозмездной помощью академических и коммерческих организаций, связанных с подводной робототехникой. В таблице представлены организации содействующие проекту: МГТУ им. Баумана, ИОРАН; ЗАО ТЕТИС; ОКБ ОТ РАН; DASSO. Расходы по заграничному командированию частично взяло на себя Федеральное агентство по делам молодежи РФ.

Благодарности

Созданию аппарата АКВАТОР содействовал ряд организаций. **ИПМТ ДВО РАН** - институт дал технические консультации, рекомендации, предостережения, экспертные оценки известных образцов. **ФГУП ОКБ ОТ РАН** - бюро предоставило комплектующие элементы, лаборатории, инструмент и сопутствующие сервисы для создания малых подводных аппаратов. **ЗАО ТЕТИС** - предложило испытательную гидрошахту, комплектующие элементы и консультации по манипуляторам типа Seabotiks. **Лаборатория подводной видеотехники ИОРАН** предоставила наиболее ценный, с точки зрения студентов, опыт разработки прототипов движителей базовых носителей. Нарращивание бортового носимого комплекса дало возможность создавать новые конкурсные подводные аппараты.

На проект АКВАТОР существенное влияние оказали: кафедра подводной робототехники, факультета СМ и МГТУ им. Н.Э. Баумана, в лице президента МГТУ И.Б. Федорова и ректора МГТУ А.А. Александрова.

Автор благодарит команду проекта «Гидронавтика» - студентов Учебно-научного молодежного центра МГТУ им. Н.Э. Баумана: Гарбузова Д.; Козлова С.; Куимову Г.; Мышковского В.; Некторова П.; Семина И. и др.

Выводы и рекомендации

Инженерная эволюция студенческой подводной робототехнической инноватики в национальных технических университетах и международной практике прогрессирует. Соответственно развиваются креативные формы активного инженерного образования. Из опыта рассмотренного пилотного проекта и усвоенных уроков менеджера проекта и ментора команды проекта «АКВАТОР» следует признать продуктивность проектно-конкурентного подхода к качеству подготовки специалистов высшей квалификации в области подводной робототехники и не только.

Список литературы

1. Подводные технологии и средства освоения Мирового океана. М.: Издательский дом «Оружие и технологии». 2011. 780 с.
2. A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide). 4th ed. Project Management Institute. 2008. 459 p.
3. Moore St.W., Bohm H., Jensen V. Underwater Robotics: Science, Design @ Fabrication. Publisher: Marine Advanced Technology Education Center (MATEC). Monterey, CA, USA. 2010. 769 p.
4. HURL / Hawai'i Undersea Research Laboratory. // NOAA'S Undersea Research Center for Hawai'i and the Western Pacific. /In the school of ocean and technology at the University of Hawai'i at Manoa. (Сайт Гавайской подводной исследовательской лаборатории.) Режим доступа: www.soest.hawaii.edu/HURL (Дата обращения: 25.06.2015)

5. Северов С.П. Инновационные технологии профессиональной подготовки инженеров подводной робототехники и морской индустрии в России. // Наука и образование. Электронное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2011. № 10. (Приложение к номеру). 15 с. (77-30569/233419). Режим доступа: <http://technomag.bmstu.ru/doc/233419.html> (Дата обращения: 25.06.2015)
6. Северов С.П. Практическое управление студенческим креативным МАТЕС проектом гидробота // Наука и образование. Электронное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2012. № 8. (Приложение к номеру). 12 с. (77-48211/435186). Режим доступа: <http://technomag.bmstu.ru/doc/435186.html> (Дата обращения: 25.06.2015)
7. Северов С.П. Практическое управление качеством МАТЕС проекта в конкурентной среде соревнований. // Наука и образование. Электронное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2012. № 3. (Приложение к номеру). 25 с. (77-30569/330374). Режим доступа: <http://technomag.bmstu.ru/doc/330374.html> (Дата обращения: 25.06.2015)
8. Severov S.P. (professor, team mentor); students: Kozlov S., Hvostov B., Garbuzov D., Arefyeva E., Kalinina E., Kouimova G., Popov I., Semin I., Shalagina M., Sherbina M., Nektorov P., Myshkovsky V. ROV AKVATOR / Bauman Moscow State Technical University // 2010 International MATE ROV Competition Engineering Evolution ROVs in Treacherous Terrain: Science Erupts on Loihi, Hawaii's Undersea Volcano. (June 24 – 26, 2010. University of Hawaii at Hilo.) The Big Island. 2010. 20 p. Режим доступа: http://archives.marinetech.org/rov_competition/2010/technical_reports/explorer_tech/BMSTU%20tech%20report.pdf (Дата обращения: 25.06.2015)
9. Гном // Официальный сайт компании «Подводная робототехника» Института океанологии им П.П. Ширшова РАН, разработчика серии подводных аппаратов «Гном». Режим доступа: <http://www.gnom-rov.ru/> (Дата обращения: 25.06.2015)
10. Fe-Oxidizing Microbial Observatory // EarthRef.org. The website for Earth Science reference data and models. Режим доступа: <http://earthref.org/FEMO/> (Дата обращения: 25.06.2015)
11. HUGO // Soest. School of Ocean and Earth Science and Technology University of Hawai'i at Manoa. Режим доступа: <http://www.soest.hawaii.edu/HUGO/hugo.html> (Дата обращения: 25.06.2015)
12. Loihi seamount. // Wikipedia. The free Encyclopedia. Режим доступа: http://en.wikipedia.org/wiki/Loihi_Seamount (Дата обращения: 25.06.2015)