

УДК 62-529

ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ТЕЛЕУПРАВЛЯЕМЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ

**В.Ф. Филаретов¹, А.Ю. Коноплин²,
Н.Ю. Коноплин²**

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт автоматики и процессов управления ДВО РАН¹
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт проблем морских технологий ДВО РАН²

В работе рассмотрен подход к созданию информационно-управляющей системы телеуправляемых подводных аппаратов, основанный на использовании информации от различного навигационного оборудования и бортовых датчиков и позволяющий планировать маршруты перемещений аппаратов и судна-носителя в процессе выполнения подводных работ, а также формировать рекомендации и предупреждения для операторов. Архитектура системы обеспечивает простое построение и реализацию различных алгоритмов управления подводными аппаратами и их многозвенными манипуляторами с возможностью масштабирования и добавления различного оборудования. При ее создании реализован пользовательский интерфейс, наглядно отображающий всю необходимую информацию для успешного выполнения подводных операций, а также позволяющий загружать и формировать карты рабочей зоны, ставить путевые точки, сохранять данные и т.д. Экспериментальные исследования созданной информационно-управляющей системы выполнялись в глубоководной научно-исследовательской экспедиции в Беринговом море с подводным аппаратом Sub-Atlantic Comanche 18. Разработанная система использовалась при обследовании морского дна, поиске различных объектов, видеосъемке, селективном отборе морских организмов, а также взятии проб грунта и геологических пород. Использование реализованных алгоритмов позволило повысить качество подводных операций и сократить время их выполнения. Морские испытания полностью подтвердили высокую эффективность предложенной системы при относительной простоте ее практической реализации.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время для выполнения многих подводных операций с помощью телеуправляемых по кабелю подводных аппаратов (ТПА) (рис. 1) используется различное технологическое, а также навигационное и научно-исследовательское оборудование. При этом для эффективного и безаварийного управления ТПА операторам приходится анализировать большой объем информации и учитывать множество ситуаций, изменяющихся в процессе выполнения подводных операций. В частности, для точного управления перемещениями ТПА необходимо знать его расположение в пространстве относительно объектов работ и бло-

ка-заглубителя (рис. 1), учитывать влияния подводных течений, а также дрейф, положение и ориентацию обеспечивающего судна-носителя. В процессе выполнения подводных операций необходимо контролировать расстояние между ТПА и его блоком-заглубителем, а также разность их глубин с целью предотвращения аварийного натяжения гибкого кабеля и исключения ситуаций, в которых блок-заглубитель соударяется с дном.

Информационно-управляющие системы (ИУС) активно используются на различных типах ТПА [1–3]. ИУС ТПА «Аква-ЧС» [2] позволяет графически отображать его пространственную ориентацию и конфигурацию установленного на нем подводного многозвенного

манипулятора (ПММ), а описанная в работе [3] система бортового управления ТПА МАКС-300М обеспечивает режимы его движения, необходимые для автономного выполнения некоторых подводных операций. Однако указанные системы не выдают операторам рекомендаций (предупреждений) для исключения аварийных ситуаций и не являются универсальными, поскольку спроектированы только для конкретных типов ТПА конкретных производителей. Поэтому при изменении состава и типа бортового оборудования необходимо заново проектировать их ИУС.

¹ 690041, Владивосток, ул. Радио, 5. E-mail: filaretov@inbox.ru

² 690091, Владивосток, ул. Суханова, 5а. E-mail: konoplin@marine.febras.ru

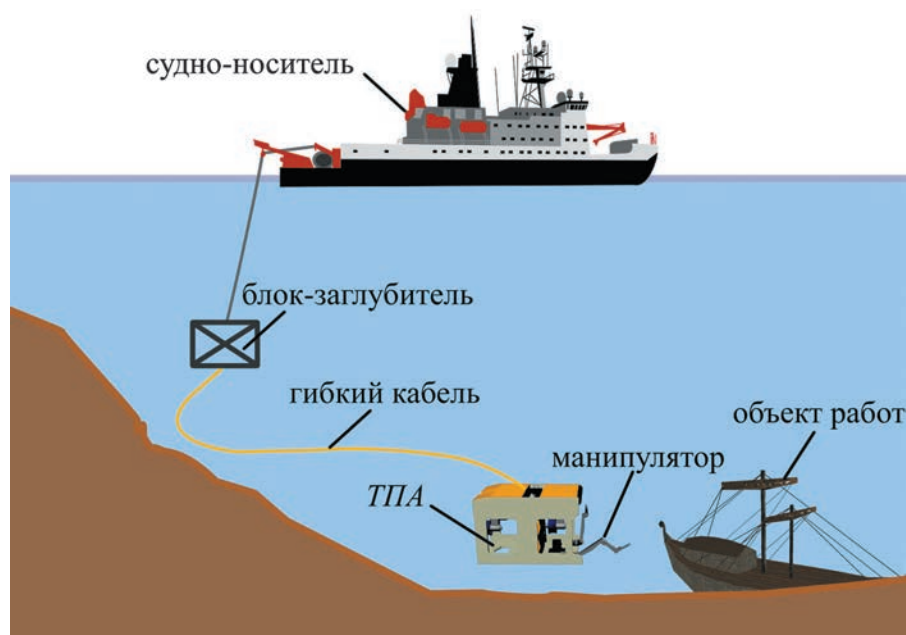


Рис. 1. ТПА в процессе выполнения операции

В работе [4] рассмотрена интеллектуальная контрольно-аварийная система автономного подводного аппарата, которая выполняет диагностику состояния его аппаратуры, выявляет аварийные ситуации, а также вносит изменения в выполняемые миссии. Но она спроектирована для автономных аппаратов, поэтому не обеспечивает диалога с оператором, а также интеллектуальную и информационную поддержку его работы.

В настоящее время разработаны и исследованы системы навигации и точного автоматического управления различными ТПА [3, 5, 6], методы их высокоточной стабилизации вблизи объектов работ [7, 8] и управления режимами движения ПММ, устанавливаемых на эти аппараты [9, 10]. Указанные разработки позволяют повысить качество и скорость выполнения подводных операций, но их широкое использование сдерживается ввиду отсутствия универсальных ИУС, включающих уже созданные системы. Поэтому до сих пор актуальна задача создания таких программно-аппаратных средств,

которые позволили бы обеспечивать реальную информационную и интеллектуальную поддержку деятельности операторов ТПА, оснащаемых ПММ, используя и реализуя более эффективные системы и алгоритмы управления.

С учетом отмеченного целью работы, которой посвящена данная статья, является создание ИУС, обеспечивающей планирование маршрута перемещений ТПА и судна-носителя, управление ТПА и его ПММ, выдачу предупрежде-

ний и рекомендаций операторам о возможных повреждениях и аварийных ситуациях в процессе работ. Кроме того, эта ИУС должна содержать пользовательский интерфейс, позволяющий наглядно отображать всю необходимую информацию для успешного и эффективного выполнения различных подводных операций.

1. Реализация ИУС ТПА

ТПА и их суда-носители имеют различный состав бортового оборудования и датчиков разных производителей, а поставляемое с ними программное обеспечение (ПО) имеет различные пользовательские интерфейсы. При управлении аппаратом оператору приходится одновременно оценивать и сопоставлять информацию, получаемую от различных устройств и систем, отображаемую сразу на разных мониторах (рис. 2).

Анализ оператором различных данных, получаемых в различной форме из различных источников, занимает много времени. Поэтому оператор не может одновременно точно определять смещения ТПА, его реальное местоположение на карте зоны работ, его расстояние до блока-заглубителя, оценивать рабочую зону и конфигурацию ПММ



Рис. 2. Лаборатория управления ТПА Comanche 18 на НИС «Академик М.А. Лаврентьев»

и другие параметры, быстро изменяющиеся в процессе выполнения поставленных задач. В результате производительность его работы резко снижается, а утомляемость возрастает вместе с ростом вероятности ошибок и возникновения аварийных ситуаций.

Для различных ТПА, содержащих навигационные устройства и бортовые датчики нескольких производителей, создаваемая ИУС должна:

1) использовать язык программирования C#, который позволяет эффективно разрабатывать высокопроизводительное многозадачное ПО для наиболее распространенных компьютеров под управлением ОС Windows 8, 8.1, 10, используя современные средства среды .NET Framework;

2) помимо взаимодействия соответствующих устройств и обработки информации обеспечивать вывод и сохранение необходимых данных для ее эффективного функционирования на современных компьютерах с многоядерными процессорами;

3) реализовывать стандартные протоколы обмена данными

с гидроакустическими навигационными комплексами, GPS системами и компасами судов-носителей ТПА, абсолютными доплеровскими лагами, а также обеспечивать поддержку большинства стандартных форматов обмена данными с возможностью задействования новых типов устройств при минимальных изменениях системы;

4) создавать наглядный и удобный пользовательский интерфейс, отображающий всю необходимую информацию для успешного выполнения подводных операций (в том числе с помощью ПММ), и обеспечивать загрузку или формирование карт зоны работ, планирование маршрутов, постановку путевых точек и другие сопутствующие функции;

5) обеспечивать простую практическую реализацию различных алгоритмов управления ТПА и ПММ.

2. Особенности архитектуры созданной ИУС

Структурная схема созданной ИУС, обладающей приведенными выше свойствами, представлена

на рис. 3. Основой этой ИУС является ядро, в котором диспетчер задач распределяет вычислительные ресурсы между модулями системы, предоставляя им ресурсы для асинхронного выполнения внутренних функций в различных потоках. Система коммуникации с внешними устройствами выполняет обмен данными с различными устройствами асинхронно, что позволяет минимизировать машинное время, затрачиваемое на ожидание данных.

Навигационная система определяет параметры движения, положение, а также пространственную ориентацию ТПА и обеспечивающего его судна-носителя на основе информации, получаемой от имеющегося навигационного оборудования, а система определения конфигурации ПММ формирует вектор его обобщенных координат. Система диагностирования своевременно выявляет неисправности в работе всех подсистем и уведомляет операторов ТПА о состоянии основных элементов и блоков с помощью графического интерфейса.

Система формирования карт, маршрутов и рекомендаций составляет карты зон работ, определяет и планирует маршруты движения ТПА и обеспечивающего судна-носителя, формирует информацию о текущей пространственной ориентации ТПА и конфигурации ПММ, а также рекомендации и предупреждения оператору о возможной опасности для последующего отображения графическим интерфейсом.

В блоке управления исполнительными устройствами (ИУ) формируются желаемые (программные) сигналы управления ТПА и ПММ для выполнения требуемых операций. При использовании новых систем и алгоритмов управления ТПА и ПММ без внесения

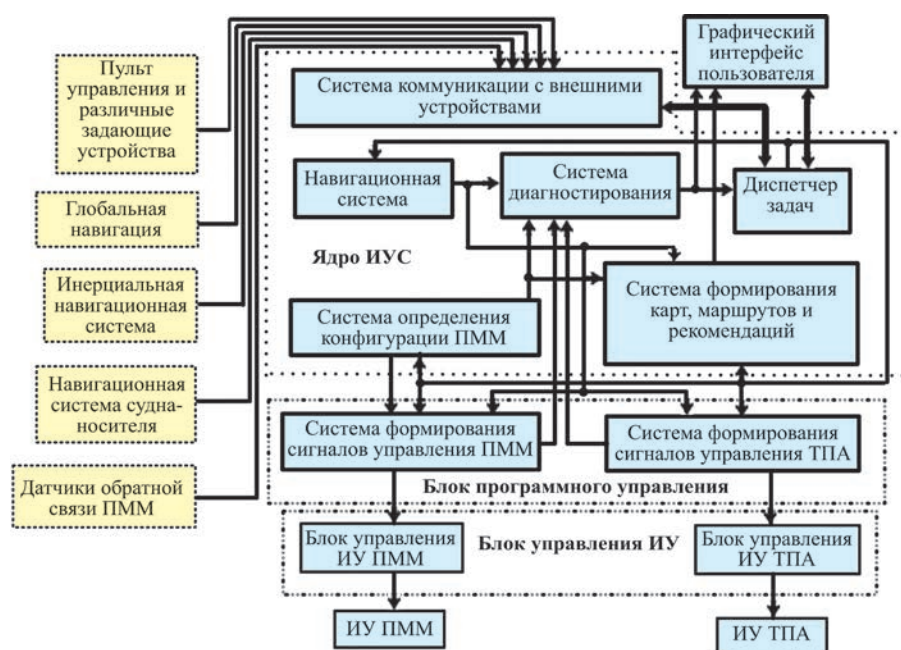


Рис. 3. Обобщенная структурная схема ИУС ТПА

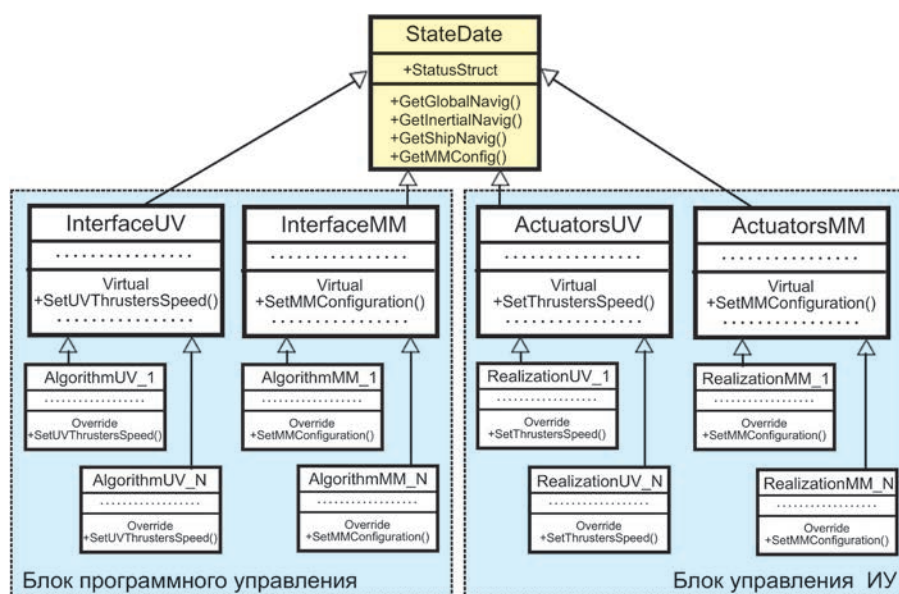


Рис. 4. Диаграмма классов блоков управления ИУ ТПА и ПММ

изменений в ядро ИУС предложено использовать систему классов блоков программного управления приводами ТПА и ПММ, изображенную на рис. 4.

Вновь создаваемые системы и алгоритмы управления легко инкапсулируются в классы AlgorithmUV и AlgorithmMM, наследуемые от абстрактных классов InterfaceUV и InterfaceMM соответственно. Также необходимо переопределить виртуальные функции абстрактных классов: SetUVThrustersSpeed(), формирующую программные значения желаемых скоростей вращения винтов двигателей ТПА, и SetMMConfiguration(), формирующую программные значения желаемых обобщенных координат ПММ и параметров их движения.

Абстрактные классы InterfaceUV и InterfaceMM наследуют от класса StateDate и определяют интерфейсы взаимодействия алгоритмов управления ТПА и ПММ с ядром ИУС и с блоком управления ИУ. При этом в классе StateDate определено поле StatusStruct, содержащее информацию о параметрах и состоянии ИУС, а также определены методы,

позволяющие новым системам и алгоритмам управления получать информацию о глобальной навигации – GetGlobalNavig(), об инерциальной навигации – GetInertialNavig(), о судовой навигации – GetShipNavig() и о конфигурации ПММ – GetMMConfig().

Поскольку каждый тип ТПА и ПММ имеет свои ИУ, то для реализации систем управления (СУ) конкретными двигателями ТПА и приводами ПММ эти СУ необходимо инкапсулировать в классы

RealisationUV и RealisationMM, наследуемые от абстрактных классов ActuatorsUV и ActuatorsMM, которые, в свою очередь, формируются с учетом описанного выше класса StateDate и определяют интерфейс взаимодействия блоков программного управления и управления непосредственно ИУ. При этом необходимо переопределить соответствующие виртуальные функции SetThrustersSpeed() и SetMMConfiguration(), реализующие управление двигателями ТПА и приводами ПММ соответственно.

Предложенная архитектура позволяет легко расширять ИУС, делая ее универсальной за счет введения различных систем и алгоритмов программного управления и СУ ИУ.

3. Экспериментальная проверка созданной ИУС

Эффективность созданной ИУС была экспериментально проверена в 2016 году во время научно-исследовательской экспедиции в южную часть Берингова моря на НИС «Академик М.А. Лаврентьев» при погружении ТПА Comanche 18 (рис. 5), оснащен-

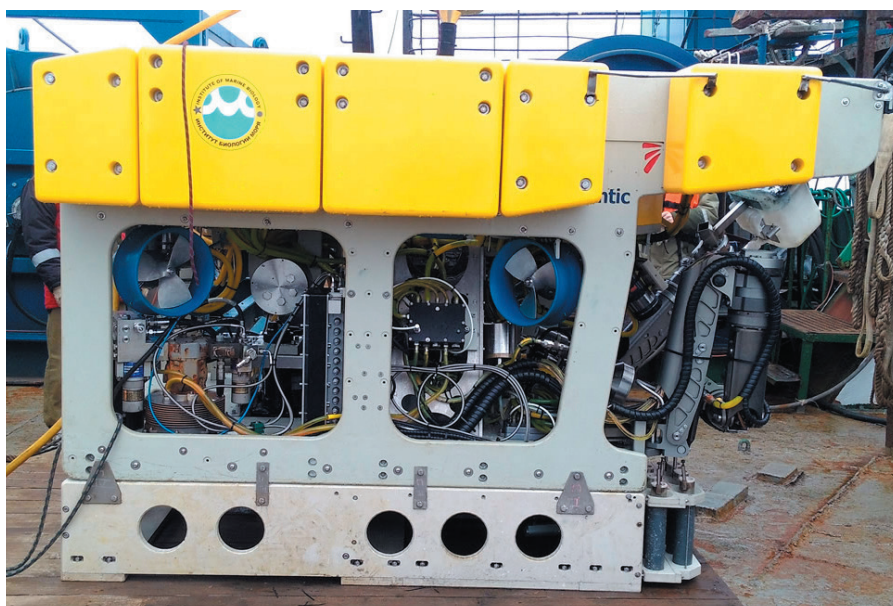


Рис. 5. ТПА Comanche 18

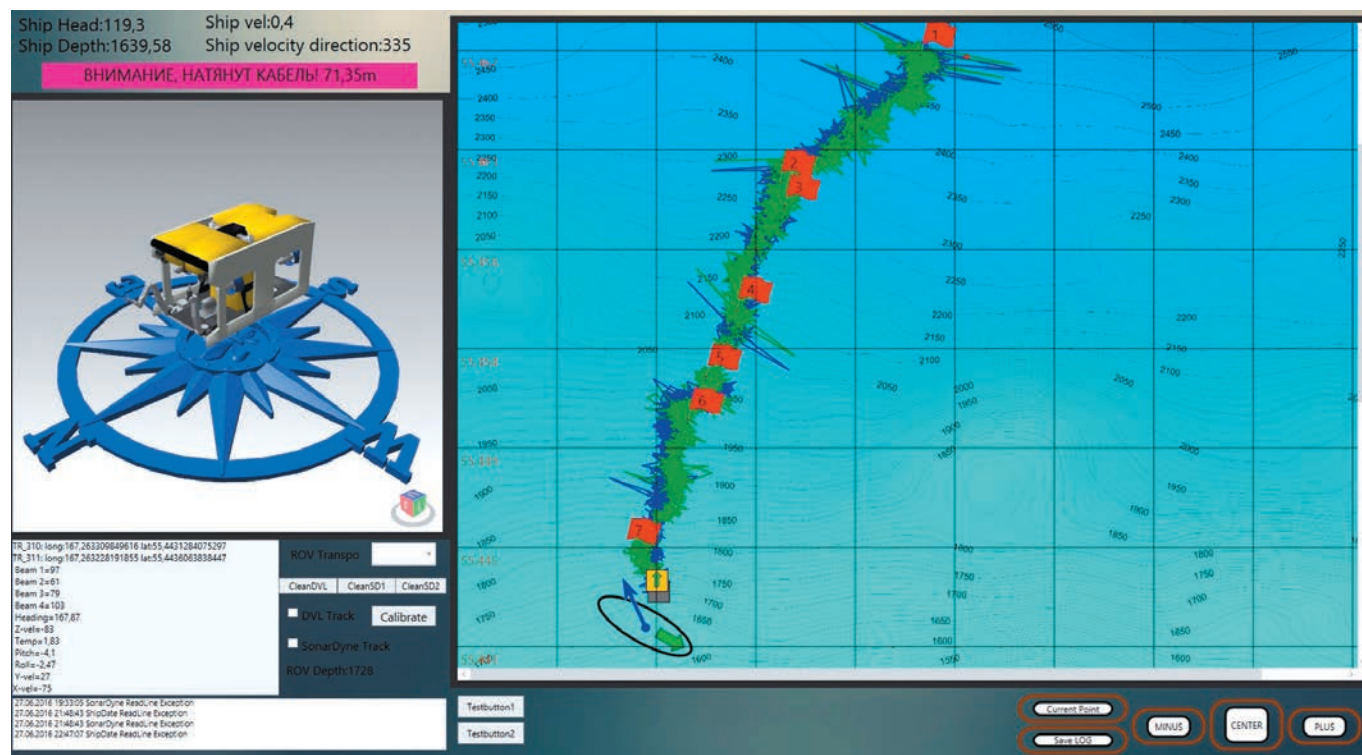


Рис. 6. Интерфейс ИУС

ного ПММ Schilling Orion 7P. Задачей экспедиции являлось комплексное исследование экосистем гидротермальных полей подводного вулкана Пийпа и подводных гор северо-западной части Тихого океана. Подводные работы велись на глубинах от 345 до 4273 метров и включали в себя обследование склонов и вершин вулкана, поиск различных объектов, видеосъемку, селективный отбор морских организмов, а также взятие проб грунта и геологических пород.

Созданная ИУС реализована на языке программирования C#. Она взаимодействует с маяками-ответчиками ТПА, обменивается данными с судовой навигационной системой, содержащей GPS и компас, а также с гидроакустическим навигационным комплексом, имеющим ультракороткую базу Sonardyne Fusion. Это позволяет ей с помощью графического интерфейса, изображенного на рис. 6, одновременно показывать оператору на телемониторе местоположение

обеспечивающего судна-носителя и направление его движения, расположение блока-заглубителя относительно этого судна, а также планировать и отслеживать маршрут движения ТПА.

Во время экспериментов ИУС постоянно информировала оператора о текущей дистанции между ТПА и его блоком-заглубителем, а также о разности их глубин, помогая ему избежать натяжения гибкого кабеля и ситуаций, при которых блок-заглубитель мог соудариться с дном. После оперативной обработки всей поступающей информации используемая ИУС позволяла также формировать и загружать на телемонитор карты зоны работ, ставить путевые точки и отображать принимаемую от доплеровского лага Navigator Teledyne RD Instruments информацию о скорости и направлениях перемещения ТПА. Все это давало оператору возможность точно и с требуемой скоростью перемещать ТПА в заданном направлении

даже при наличии неизвестных подводных течений.

В построенной ИУС также был реализован алгоритм автоматической ориентации носа ТПА в сторону подъема поверхности дна [10]. Придерживаясь курсового угла, рекомендованного системой, оператор всегда направлял нос ТПА на склон морского дна и принимал меры по своевременной остановке его спуска, а также вносил корректировки в программу погружения. Используя этот алгоритм, а также непрерывное графическое отображение конфигурации ПММ, оператору удалось существенно повышать скорость и безопасность выполнения манипуляционных операций с учетом сложного рельефа дна.

В целом во время реальной эксплуатации ИУС зарекомендовала себя как многофункциональное, надежное и эффективное средство, позволившее более чем в 2 раза сократить время обнаружения и захвата подводных объек-

тов, а также избежать аварийных ситуаций в процессе выполнения достаточно сложных исследовательских задач и технологических операций.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе предложен подход к созданию универсальной ИУС, реализующей различные системы и алгоритмы управления ТПА и установленными на них ПММ, а также обеспечивающей интеллектуальную и информационную поддержку операторов, планируя миссии и выдавая рекомендации и предупреждения о возможных аварийных ситуациях. Экспери-

ментальные исследования разработанной ИУС полностью подтвердили ее высокую эффективность при выполнении различных миссий и подводных операций. Разработанное ПО для ТПА рабочего и осмотрового классов активно используется в научно-исследовательских экспедициях, способствуя значительному повышению качества и скорости выполнения дорогостоящих подводных работ.

Однако следует отметить, что даже с использованием эффективных ИУС работа ТПА на больших глубинах значительно осложняется влияниями кабель-троса и отсутствием возможности свободного

перемещения ТПА без соответствующих перемещений блока-заглубителя, а следовательно, и обеспечивающего судна-носителя. Поэтому при выполнении технологических операций наиболее целесообразным и перспективным является использование полуавтономных и полностью автономных необитаемых подводных аппаратов, оснащаемых многозвенными манипуляторами. Это позволит дешевле, проще и эффективнее решать поставленные глубоководные задачи.

Работа выполнена в рамках грантов РФФИ 16-29-04195 офи_м, 16-38-00488 мол_а.

ЛИТЕРАТУРА

1. Черненко К.В., Молчанов А.В., Егоров С.А., Куценко А.С. Особенности построения информационно-управляющей системы телеуправляемого подводного аппарата // Вестн. Моск. гос. техн. ун-та им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. Спец. вып. «Специальная робототехника и мехатроника». 2012. С. 65–74.
2. Вельтишев В., Кропотов А., Николаев Е., Челышев В., Ходкин А. Информационно-управляющая система необитаемого подводного аппарата // Современные технологии автоматизации. 1997. № 2. С. 46–49.
3. Ваулин Ю.В., Костенко В.В., Павин А.М. Особенности навигационного и алгоритмического обеспечения телеуправляемого необитаемого подводного аппарата // Подводные исследования и робототехника. 2013. № 2 (16). С. 4–16.
4. Инзарцев А.В., Грибова В.В., Клещев А.С. Интеллектуальная система для формирования адекватного поведения автономного подводного аппарата в аварийных ситуациях // Подводные исследования и робототехника. 2015. № 2 (20). С. 4–11.
5. Филаретов В.Ф., Юхимец Д.А. Особенности синтеза высокоточных систем управления скоростным движением и стабилизацией подводных аппаратов в пространстве. Владивосток: Дальнаука, 2016. 400 с.
6. Scherbatyuk A., Dubrovin F. Development of Algorithms for an Autonomous Underwater Vehicle Navigation with a Single Mobile Beacon: The Results of Simulations and Marine Trials // Proc. of the XXII Intern. Conf. on Integrated Navigation Systems. Saint Petersburg, Russia, 2015. P. 144–152.
7. Filaretov V.F., Konoplin A.Yu. System of Automatic Stabilization of Underwater Vehicle in Hang Mode with Working Multilink Manipulator // Intern. IEEE Conf. on Computer, Control, Informatics and Its Applications. Bandung, Indonesia, 2015. P. 132–137.
8. Костенко В.В., Павин А.М. Автоматическое позиционирование необитаемого подводного аппарата над объектами морского дна с использованием фотоизображений // Подводные исследования и робототехника. 2014. № 1 (17). С. 39–47.
9. Filaretov V.F., Konoplin A. Yu. System of Automatically Correction of Program Trajectory of Motion of Multilink Manipulator Installed on Underwater Vehicle // Procedia Engineering. 2015. V. 100. P. 1441–1449.
10. Filaretov V.F., Konoplin A. Yu., Konoplin N. Yu., Gorbachev G.V. Control system for underwater vehicle with multilink manipulator for automatic manipulation operations // Proceedings of the 27th DAAAM Intern. Symp. Vienna: DAAAM International, 2015. P. 714–720.

