

РАЗРАБОТКА И НАТУРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ СИСТЕМЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОПЕРАТОРОВ ТНПА

**В.Ф. Филаретов^{1,2}, А.Ю. Коноплин^{2,3},
Н.Ю. Коноплин^{2,3}**

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт автоматки и процессов управления ДВО РАН¹
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт проблем морских технологий ДВО РАН²
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования Дальневосточный федеральный университет³

Обсуждаются результаты разработки системы интеллектуальной поддержки деятельности операторов (СИПДО) телеуправляемых необитаемых подводных аппаратов (ТНПА) и ее практической реализации для ТНПА Comanche 18. Предлагаемая система реализует алгоритмы управления согласованными перемещениями ТНПА и его блока-заглубителя для одновременного точного и безаварийного перемещения по протяженным маршрутам. В реальном масштабе времени формируются наглядные рекомендации и предупреждения для операторов на основе экспертной оценки информации, получаемой с различных датчиков и навигационных систем. В разработанной системе реализованы возможности планирования маршрутов перемещений ТНПА и его судна-носителя, ввода целевых точек, а также сохранения карт, треков и местоположений обнаруженных подводных объектов. Приведены результаты испытаний, выполненных в глубоководной научно-исследовательской экспедиции Национального научно-исследовательского центра морской биологии ДВО РАН в Беринговом море в 2018 году с базированием на НИС «Академик М.А. Лаврентьев». Созданная система значительно расширила возможности ТНПА в процессе выполнения многих уникальных работ, сокращая время выполнения подводных операций.

ВВЕДЕНИЕ

Для эффективного решения исследовательских, технологических и аварийно-спасательных задач в глубинах Мирового океана в настоящее время активно разрабатываются и используются различного вида подводные робототехнические комплексы, и в частности телеуправляемые необитаемые подводные аппараты (ТНПА), оснащаемые видеокамерами, сенсорами, пробоотборниками и манипуляторами. В основном они используются для выполнения осмотровых и манипуляционных операций с малогабаритными объектами в ограниченной рабочей зоне. Для решения обзорно-поисковых задач и обследования протяженных объектов на больших территориях используются автономные необитаемые подводные

аппараты (АНПА), оснащаемые высокоточными системами навигации [1, 2] и способные автономно преодолевать большие расстояния.

Однако при выполнении исследований в областях гидрографии, геофизики, гидробиологии, биохимии, а также разведки нефтяных и газовых месторождений существует важная задача обследования больших глубоководных полигонов с необходимостью высококачественной видео- и фотосъемки, профилирования, обнаружения объектов, а также отбора проб воды, грунта, животных и газа на всем протяжении маршрута движения [3–6]. Возможностей современных АНПА недостаточно для решения манипуляционных задач и выполнения операций, которые в реальном масштабе времени должны контролироваться специалистами,

определяющими цели и места пробоотбора, а также корректирующими маршрут движения аппарата. Поэтому для эффективного решения всех перечисленных задач целесообразно использовать ТНПА, но возможности этих аппаратов сильно ограничиваются наличием гибкого кабель-троса, на который оказываются значительные гидродинамические и гидростатические влияния со стороны окружающей водной среды [7]. При работе на больших глубинах и в условиях сильных течений эти влияния приводят к негативным силовым и моментным воздействиям на ТНПА, затрудняющим его перемещение.

¹ 690041, Владивосток, ул. Радио, 5. Тел.: 8 (423) 2310439. E-mail: filaretov@inbox.ru

² 690091, Владивосток, ул. Суханова, 5а. Тел.: 8 (423) 2226416. E-mail: konoplin@marine.febras.ru

³ 690000, Владивосток, ул. Суханова, 8. Тел.: 8 (423) 2433472.

Для увеличения мобильности ТНПА используется промежуточный блок-заглубитель [3], соединяющий толстый армированный кабель-трос спускоподъемного устройства с гибким кабелем связи ТНПА. Эта распространенная схема повышает мобильность ТНПА в пределах его рабочей зоны, ограниченной длиной гибкого кабеля. Однако блок-заглубитель часто может соударяться с грунтом, создавая аварийную ситуацию, грозящую обрывом легкого кабеля. Для исключения аварийных ситуаций и высокоточного перемещения ТНПА по заданному маршруту необходимо одновременно и согласованно управлять и ТНПА, и судном-носителем, и длиной армированного кабель-троса, постоянно контролируя их взаимное расположение для полного исключения соударения заглубителя с дном. Управление движением указанной связки особенно осложняется при отсутствии у судна-носителя системы динамического позиционирования в пространстве.

Работы и эксперименты в экспедициях в Японском, Охотском и Беринговом морях с ТНПА рабочего класса Sub-Atlantic Comanche 18, базирующимся на НИС «Академик М.А. Лаврентьев», показали, что перемещение этого аппарата и его блока-заглубителя по протяженным глубоководным маршрутам является очень сложной задачей. При этом операторы испытывают большие эмоциональные и интеллектуальные перегрузки, поскольку им приходится принимать решения, анализируя большой объем информации и учитывая особенности сразу нескольких динамических объектов, а также условия выполнения подводных работ: течения, рельеф дна в зоне работ и желаемый маршрут перемещения ТНПА. В результате

человеческий фактор часто становится причиной снижения качества и увеличения времени выполнения научно-исследовательских и многих технологических подводных операций, не исключая даже аварийные ситуации.

Проблема интеллектуальной поддержки человека при работах со сложными техническими комплексами уже успешно решается с помощью компьютерного интеллекта, агентных технологий и человеко-машинного интерфейса [8]. При этом используются методы математического описания сложных причинно-следственных взаимодействий между объектами различной природы и алгоритмы для предотвращения причин аварий в сложных человеко-машинных системах [9, 10], методы распознавания опасных ситуаций и экспертной оценки риска опасного сближения морских судов [11, 12], а также новые подходы к созданию экспертных систем морского мониторинга [13]. Однако для современных подводных робототехнических человеко-машинных комплексов очевидна потребность в создании специализированных систем, учитывающих все особенности этих сложных подводных динамических объектов и условий их эксплуатации.

В работе [14] предложена интеллектуальная контрольно-аварийная система АНПА, которая на основе информации, получаемой от датчиков и средств самодиагностики подсистем аппарата, выявляет аварийные ситуации и вносит изменения в выполняемые миссии. Эта система реализована с использованием базы экспертных знаний и онтологического подхода. Однако поскольку эта система спроектирована для автономного режима работы и не имеет интерактивного графического интерфейса, без дополнительных доработок она

не может быть использована для интеллектуальной и информационной поддержки деятельности операторов ТНПА в процессе выполнения ими различных подводных операций. В работе [15] описан интуитивный интерфейс операторов ТНПА, основанный на технологии виртуальной реальности, которая создает эффект присутствия человека на ТНПА и позволяет повысить эффективность управления перемещениями этого аппарата. Но этот интерфейс также не обеспечивает интеллектуальную поддержку деятельности операторов при решении задачи согласованного перемещения всего подводного комплекса для всестороннего обследования больших глубоководных территорий. В результате указанная важная для практического использования задача до сих пор остается нерешенной.

Для ее успешного решения в статье ставятся задачи разработки, программной реализации и натурных испытаний новой универсальной системы интеллектуальной поддержки деятельности операторов, предназначенной для одновременного точного и безаварийного перемещения судна-носителя, ТНПА и его блока-заглубителя.

1. Управление согласованными перемещениями ТНПА и блока-заглубителя

Современные специализированные суда-носители ТНПА – «Академик Голицын» и «Мстислав Келдыш» оборудованы системами динамического позиционирования не ниже второго класса, которые автоматически удерживают суда в заданной точке пространства с требуемым углом курса при максимальных расчетных параметрах воздействия внешней среды [16].

Взаимное расположение ТНПА и его блока-заглубителя определя-

ется с помощью установленных на них маяков гидроакустической навигационной системы с ультракороткой базой, антенна которой закрепляется на обеспечивающем судне-носителе. Навигационная система определяет текущие координаты x_v, y_v и z_v ТНПА, а также текущие координаты x_d, y_d и z_d блока-заглубителя в жестко связанной с судном прямоугольной системе координат XYZ , начало которой расположено в центре его величины (водоизмещения), ось Y совпадает с горизонтальной продольной осью судна, ось Z – с его вертикальной осью (направлена вниз), а X составляет с ними правую тройку.

Работа ТНПА возможна только при нахождении объекта работ или целевой точки маршрута в рабочей зоне аппарата, размеры которой определяются длиной q гибкого плавучего кабеля (рис. 1), а ее расположение в пространстве – местоположением блока-заглубителя, удерживаемого жестким кабель-тросом. В процессе работы ТНПА вблизи донной поверхности операторам, помимо управления

его перемещениями, приходится постоянно выдавать команды экипажу судна-носителя на изменение длины армированного кабель-троса (рис. 1) с помощью спускоподъемного устройства и для перемещения этого судна в заданном направлении на заданное расстояние. Это необходимо для обеспечения наибольшей свободы при произвольном высокоточном и безаварийном маневрировании ТНПА в процессе перемещения по протяженным маршрутам при любом рельефе дна и при ограниченной длине гибкого кабеля.

Для эффективной работы ТНПА и исключения ситуаций, в которых блок-заглубитель и гибкий кабель связи касаются дна, этот блок должен удерживаться выше ТНПА на задаваемом оператором расстоянии h (см. рис. 1), которое определяется рельефом дна, а также на основе опытных данных и экспертных знаний. С целью сохранения с некоторой точностью желаемой величины h необходимо изменять текущую длину p выданного спускоподъемным устройством армированного кабель-троса

на величину m , которая определяется с помощью выражения:

$$m = \frac{((z_v - z_d) - h)p}{z_d}, \quad (1)$$

где z_v – изменяющаяся глубина ТНПА; z_d – текущая глубина блока-заглубителя. Экспериментальные исследования показали, что выражение (1) позволяет достаточно точно вычислять желаемую величину m , учитывая различные значения величин p и z_d , поскольку под влиянием вязкой среды на армированный кабель-трос и блок-заглубитель этот кабель, как правило, опускается не вертикально, а по дуге с переменными углами к горизонту. При достижении m некоторого порогового значения сигнал о необходимости очередного изменения длины кабель-троса направляется экипажу судна-носителя.

В процессе перемещения ТНПА к целевой точке и одновременно к границам его рабочей зоны на расстояние k (см. рис. 1) блок-заглубитель необходимо перемещать в сторону аппарата. При этом проверяется выполнение условия:

$$\sqrt{(x_v - x_d)^2 + (y_v - y_d)^2 + (z_v - z_d)^2} \geq (q - k), \quad (2)$$

и если оно выполняется, то вычисляются величина $l = \sqrt{(x_v - x_d)^2 + (y_v - y_d)^2}$ желаемого смещения судна-носителя, а также направление этого смещения, которое определяется желаемым углом β курса судна:

$$\beta = \beta_0 + \arccos \frac{y_v - y_d}{l},$$

$$\text{если } (x_v - x_d) \geq 0,$$

$$\beta = \beta_0 - \arccos \frac{y_v - y_d}{l},$$

$$\text{если } (x_v - x_d) \leq 0,$$

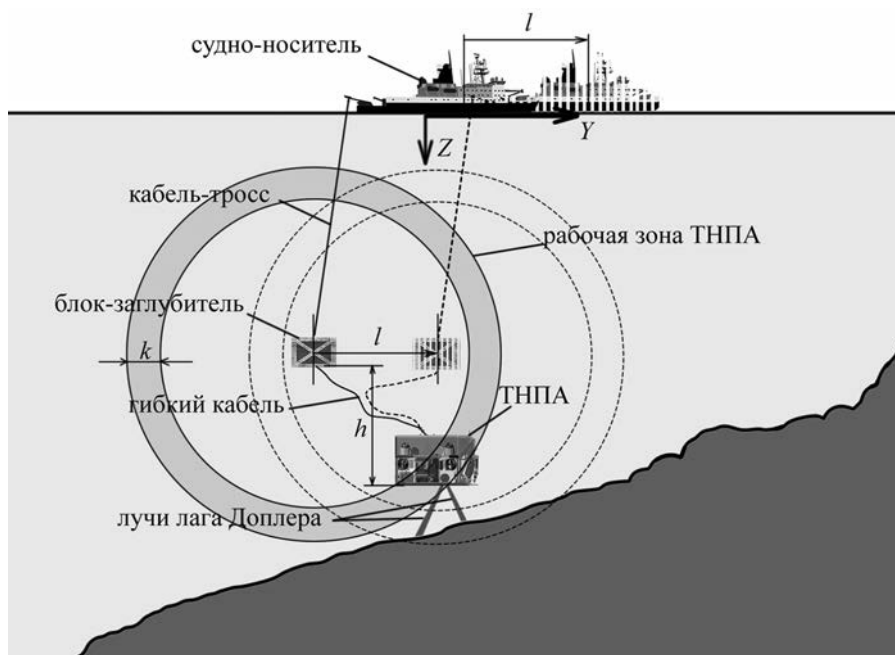


Рис. 1. Подводный комплекс ТНПА

где β_0 – текущий угол курса судна-носителя. Причем это судно может перемещаться в направлении курсового угла β , сохраняя исходную ориентацию β_0 . Величина k определяется оператором экспериментально с учетом рабочей обстановки. При выполнении условия (2) операторам подается сигнал – предупреждение о приближении ТНПА к границам его рабочей зоны.

Информация о величинах m , l и β , вычисляемых в реальном масштабе времени, позволяет операторам принимать правильные решения и эффективно управлять перемещением всего подводного комплекса по заданным маршрутам.

Для качественного управления блоком-заглубителем судно-носитель должно иметь точную систему динамического позиционирования в пространстве. Однако многие обеспечивающие суда, в том числе НИС «Академик М.А. Лаврентьев» и «Академик Опарин», имеют лишь ограниченные средства позиционирования (главный двигатель и носовые подруливающие устройства), позволяющие перемещать судно, но с неизбежными ошибками позиционирования. Особенно в условиях тече-

ний и при воздействиях сильного ветра. Опыт экспедиционных работ показал, что даже в условиях ограниченной маневренности таких судов все же возможно перемещение блока-заглубителя ТНПА с точностью, достаточной для выполнения исследовательских операций [3]. Однако даже под управлением опытного экипажа возникают существенные трудности реального управления аппаратом при его перемещении по протяженным маршрутам с помощью обеспечивающего судна без точной системы его динамического позиционирования. В указанной ситуации целесообразно задавать желаемые направление и скорость движения судна и перемещать ТНПА вслед за этим судном таким образом, чтобы он все время находился в передней полусфере своей рабочей зоны (рис. 2), то есть перед блоком-заглубителем. Такое взаиморасположение ТНПА и его блока-заглубителя дает возможность аппарату остановиться вблизи обнаруживаемых объектов и успеть выполнить заданные операции, не требуя моментальной остановки судна-носителя. Кроме того, при движениях вверх по склону указанное взаиморасположение позволяет избежать запу-

тывания плавучего кабеля связи и соударений блока-заглубителя с дном.

Если ТНПА находится в желаемом сегменте его рабочей зоны, то в системе координат XU угол между единичным вектором $b(t) = [\sin(\beta_r), \cos(\beta_r)]^T$, определяющим текущее направление движения судна, и вектором $c(t) = [(x_v - x_d), (y_v - y_d)]^T$, соединяющим ТНПА с его блоком-заглубителем, не превышает 90° . При этом выполняется условие:

$$\arccos \frac{b(t)c(t)}{\|b(t)\|\|c(t)\|} \leq \frac{\pi}{2}, \quad (3)$$

где β_r – текущий курсовой угол, определяющий направление перемещения судна-носителя в системе координат XYZ . Этот угол измеряется судовой системой GPS. Он может отличаться от угла курса β_0 , определяющего пространственную ориентацию продольной оси судна, при ветровом сносе и морских течениях. Если условие (3) не выполняется, то дается оповещение о необходимости перемещения ТНПА в желаемый сегмент его рабочей зоны. При этом согласно выражению (1) происходит вычисление длины m кабель-троса, но величина h (рис. 1) должна быть переменной и определяться на основе опытных данных и экспертных знаний с учетом выполнения условия (3), а также с учетом сложности рельефа донной поверхности, определяемого абсолютным доплеровским лагом с помощью метода, изложенного в работе [17].

2. Особенности программной реализации СИПДО

Для обеспечения операторов наглядными рекомендациями и предупреждениями, формируемыми в реальном масштабе времени на основе экспертной оценки информации, получаемой

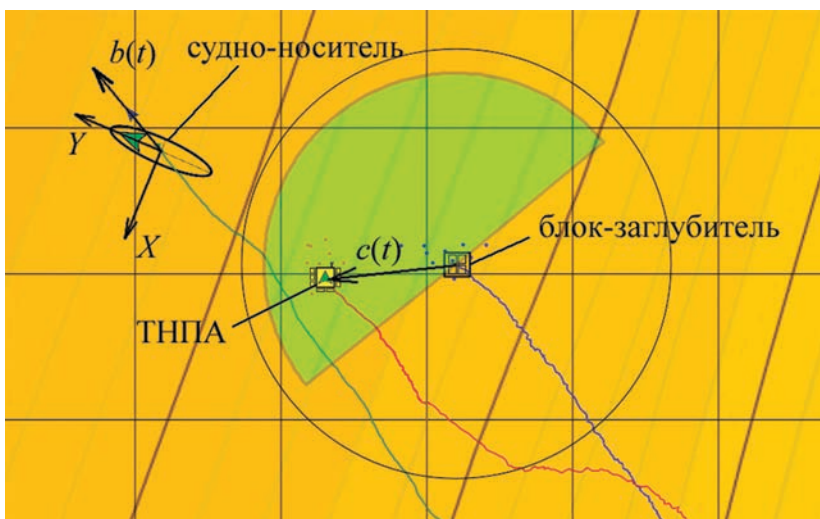


Рис. 2. Рабочая зона ТНПА

с различных датчиков, сенсоров и навигационных систем разных производителей, в работе предложена архитектура системы интеллектуальной поддержки деятельности операторов ТНПА, изображенная на рис. 3. Программная реализация этой системы создана в среде .Net Framework на основе подхода, предложенного в работе [3]. Для удобства подключения к системе различных датчиков и устройств в ее состав включен модуль коммуникации с внешними устройствами (рис. 3), который асинхронно выполняет передачу и обработку данных.

Диаграмма классов этого модуля представлена на рис. 4. Методы передачи и обработки данных с конкретными устройствами реализуются в соответствующих классах: SonarDyne, WinchCable, TrackLink и др., базовым для ко-

торых является абстрактный класс ACDevice, реализующий общие для всех устройств методы (ClosePort(), GetActions() и др.) и поля (actionList, name и др.). В классе каждого устройства определяются методы, которые должны выполняться асинхронно в отдельных потоках. Для этого создается коллекция объектов actionList типа ActionInfo. Поля этого типа хранят информацию о методе, который должен выполняться асинхронно, а также информацию, необходимую диспетчеру задач TaskManager для управления процессом асинхронного выполнения этого метода.

Созданная система интеллектуальной поддержки деятельности операторов взаимодействует с внешними устройствами посредством класса DeviceControl, методы которого позволяют созда-

вать классы отдельных устройств и запускать их внутренние методы в отдельных потоках с помощью диспетчера задач. Это позволяет минимизировать машинное время, затрачиваемое на ожидание поступления данных, а также управлять производительностью методов обработки этих данных.

Обработанные данные устройств поступают в блок управления данными (рис. 3), который перераспределяет их по другим блокам. В частности, координаты гидроакустических маяков и судна-носителя передаются в блок формирования карт, треков, целевых точек и маршрутов, который формирует треки и выполняет их фильтрацию для дальнейшей передачи в блок коммуникации с графическим интерфейсом, а также составляет карты зон работ, определяет и планирует маршруты дви-

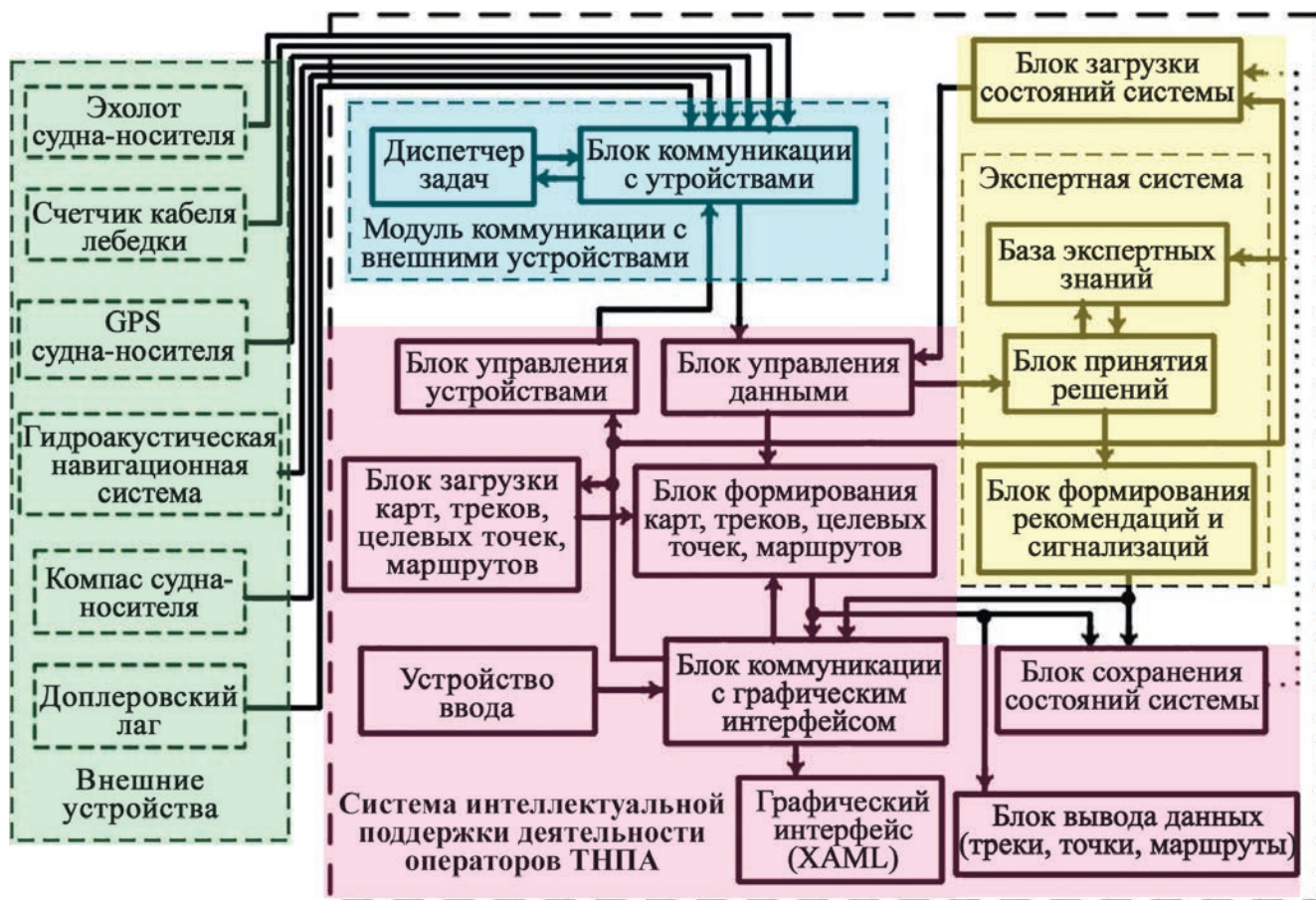


Рис. 3. Обобщенная структурная схема СИПДО для ТНПА

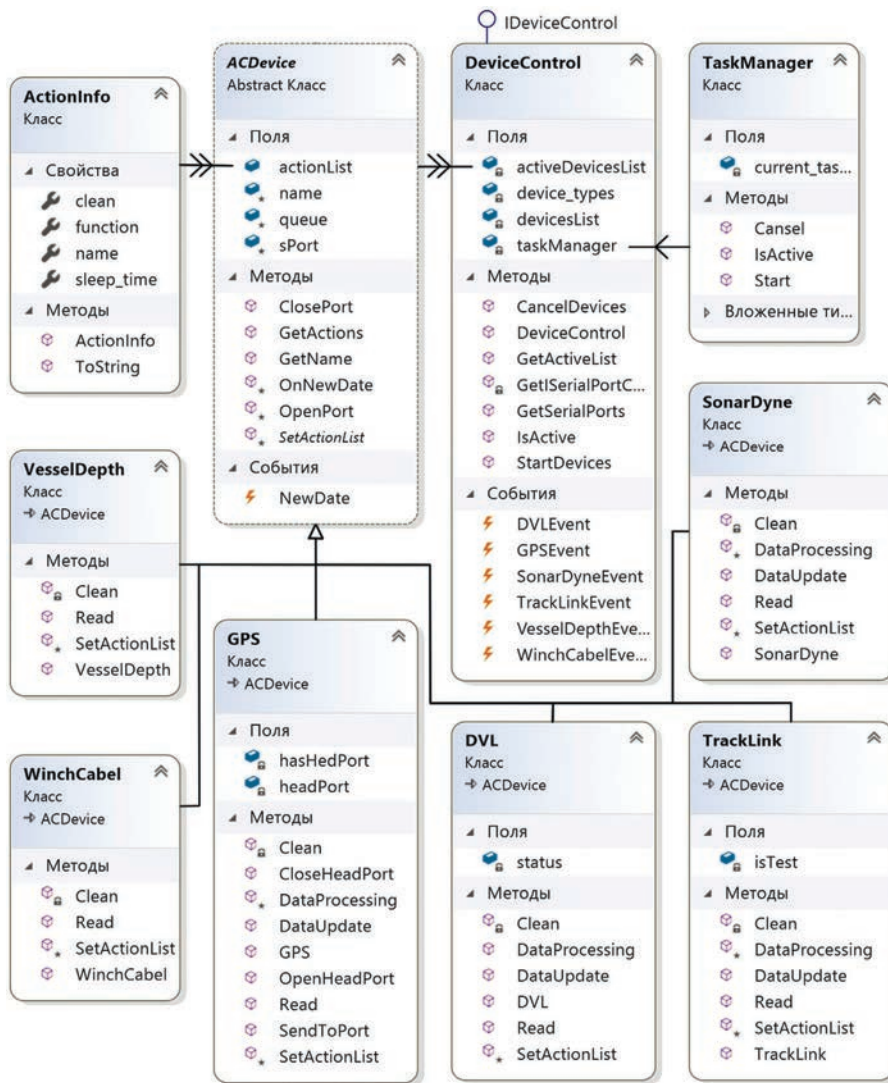


Рис. 4. Диаграмма классов модуля коммуникации с внешними устройствами

жения ТНПА и обеспечивающего судна-носителя. Блок управления данными также формирует информацию о взаимном расположении судна-носителя, ТНПА и его блока-заглубителя для дальнейшей передачи экспертной системе. Блок коммуникации с графическим интерфейсом отвечает за обработку команд оператора при взаимодействии с графическим интерфейсом и за его обновление в процессе работы системы.

Вычисление величин m , l , β и h , определяющих желаемое взаиморасположение указанных объектов, реализуется в блоке принятия решений. При этом переменная h формируется этим же блоком с ис-

пользованием экспертных знаний формализованных оценок, хранящихся в базе экспертных знаний, определяющей условия выполнения подводной операции. Эти оценки задаются операторами или определяются автоматически на основе информации, получаемой от датчиков. При этом учитываются накопленные опытные знания о последствиях выбора конкретного значения h . Кроме того, согласно схеме, представленной на рис. 3, блок принятия решений сопоставляет текущие данные, получаемые от датчиков и внешних устройств, с данными базы формализованных представлений безопасности: аварийное

натяжение гибкого кабеля, сложный рельеф морского дна, возможный контакт блока-заглубителя с дном или ТНПА, выход ТНПА из желаемого сегмента его рабочей зоны и др. При этом выявляется возможность возникновения аварийных ситуаций, а также формируются рекомендации и сигналы для операторов.

В системе интеллектуальной поддержки деятельности операторов ТНПА реализована возможность сохранения карт, треков, целевых точек и маршрутов для дальнейшего предоставления заказчикам подводных работ, а также возможность их загрузки в систему для выполнения повторных погружений ТНПА с целью поиска и дополнительного обследования найденных ранее подводных объектов. Указанные функции реализованы в блоках вывода и загрузки данных соответственно.

Дополнительно была реализована возможность сохранения и загрузки состояний системы. Причем каждое изменение ее состояния (поступление различных данных, команды операторов ТНПА, сигнализация и т. п.) автоматически сохраняется в файл. Эта возможность впоследствии позволяет анализировать процесс выполнения уже завершенных погружений ТНПА с целью выявления ошибок как в работе системы, так и в действиях операторов.

Указанные функциональные особенности разработанной системы позволяют значительно повысить качество и скорость выполнения дорогостоящих подводных операций. Это подтверждается исследованиями созданной системы при проведении реальных морских экспедиций.

2. Исследование СИПДО

Экспериментальные исследования разработанной системы

интеллектуальной поддержки деятельности операторов ТНПА выполнялись в глубоководной научно-исследовательской экспедиции в Беринговом море на НИС «Академик М.А. Лаврентьев». Задачей экспедиции являлось исследование экосистем гидротермальных полей массива Вулканологов и подводного вулкана Пийпа, а также берингоморского шельфа и континентального склона Чукотки от мыса Олюторский до мыса Наварин с помощью ТНПА Comanche 18 (рис. 5).

Разработанная система эксплуатировалась в процессе всех погружений ТНПА, позволяя операторам планировать маршруты перемещения аппарата и его судна-носителя, задавать целевые точки или указы-

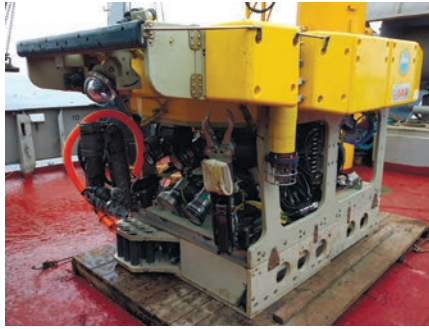


Рис. 5. ТНПА Comanche 18 на палубе НИС «Академик М.А. Лаврентьев»

вать местоположения подводных объектов как посредством ввода географических координат, так и с помощью отметок на загруженной карте зоны работ. При выполнении подводных операций активно использовалась возможность системы отмечать найденные подводные объекты и наблюдаемые

морские организмы с помощью маркеров и подписей, идентифицирующих подводные объекты. Графическим интерфейсом отображались добавленный нумерованный маркер с текущими координатами ТНПА на карте зоны работ, а также записи с идентифицирующими подписями в списке целевых точек (рис. 6). При этом система добавляла в лог-файл погружения запись, содержащую координаты объекта, его глубину, идентифицирующую подпись, а также время и дату. Эти записи в процессе текущего или любого другого погружения позволяют вернуться к обнаруженному ранее подводному объекту для его повторного изучения. При этом учет обнаруженных объектов был значительно упрощен.

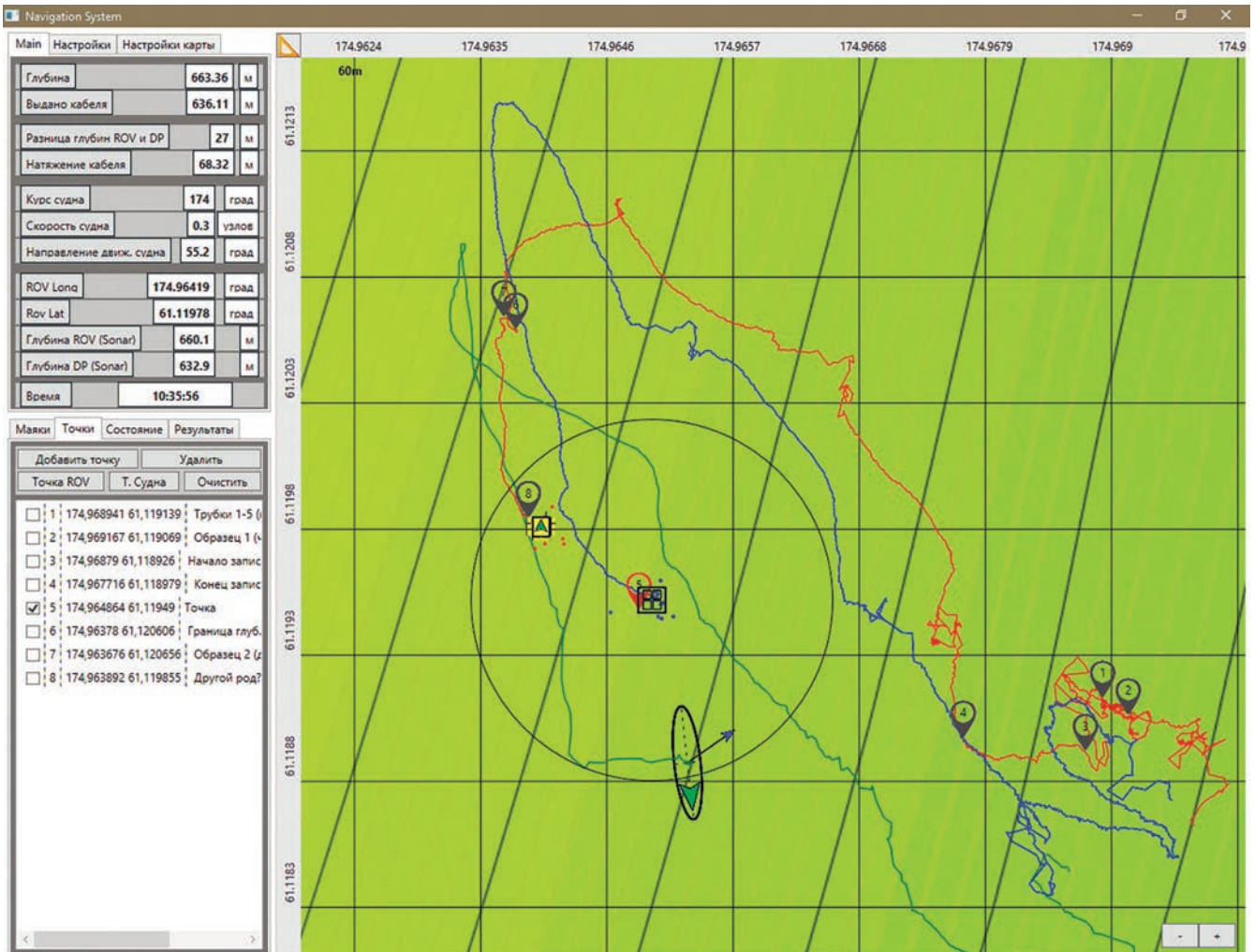
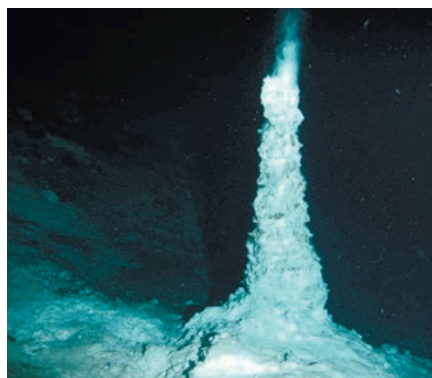


Рис. 6. Графический интерфейс СИПДО для ТНПА в процессе выполнения подводной операции

С использованием информации, получаемой от гидроакустического навигационного комплекса с ультракороткой базой Sonardyne Fusion, а также системы GPS судна-носителя, разработанная система с помощью графического интерфейса отображала треки перемещений этого судна, ТНПА и его блока-заглубителя. При этом в системе была реализована возможность фильтрации указанных треков с помощью экспоненциального фильтра, а также ручной настройки его коэффициента фильтрации. В процессе выполнения подводных работ треки сохранялись в лог-файлы, формат которых позволял легко загружать их в различные программы для построения трехмерных поверхностей и рельефов, в том числе морского дна. На рис. 7 изображена трехмерная модель поверхности подводного вулкана Пийпа, построенная с помощью программного пакета Surfer 13 фирмы Golden Software, а также треки перемещения ТНПА Comanche 18 в процессе исследования этого вулкана.

Генерируемые программой предупреждения и рекомендации операторам ТНПА позволили полностью избежать аварийных ситуа-



а



б

Рис. 8. Ангидритовая постройка северной вершины вулкана Пийпа (а); «Ежовый сип»: высачивание на глубине 426 м (б). Фотографии предоставлены ННЦМБ ДВО РАН

ций, а реализованная в системе возможность сохранения и загрузки ее состояний позволила выполнить анализ ошибок в работе системы и в действиях операторов, а также принять меры для их исключения.

Всего в процессе решения задач экспедиции было выполнено 21 погружение аппарата, который провел под водой более 150 часов и прошел над дном около 55 км. Подводные работы велись на глубинах от 345 до 3880 м и включали в себя обследование нескольких склонов и вершин вулкана Пийпа, обследование подводных склонов вблизи берегов Чукотки, а также поиск различных объектов, видеосъемку, селективный отбор морских организмов, забор придонной

воды, взятие проб грунта и геологических пород. В результате работы ТНПА исследовано около 55 км глубоководных бентосных сообществ, выполнено 128 станций для отбора бентосных организмов и донных осадков (рис. 8), 7 станций для отбора воды. Получено 4735 высококачественных фотографий разрешением 5 Мп и более 32 часов видеозаписей глубоководных экосистем в формате Full HD.

Возможность системы планировать маршруты перемещений с учетом изменяющейся рабочей зоны ТНПА позволила этому аппарату преодолевать более 6 км за одно погружение в процессе выполнения поисковых и исследовательских операций. При этом генерируемые системой предупреждения и рекомендации позволили существенно повысить скорость и качество выполнения дорогостоящих подводных работ, а также упростить построение треков перемещений ТНПА и вести постоянный учет обнаруживаемых подводных объектов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье описаны разработка, программная реализация и экспериментальные исследования системы интеллектуальной поддержки деятельности операторов ТНПА, раскрыты особенности

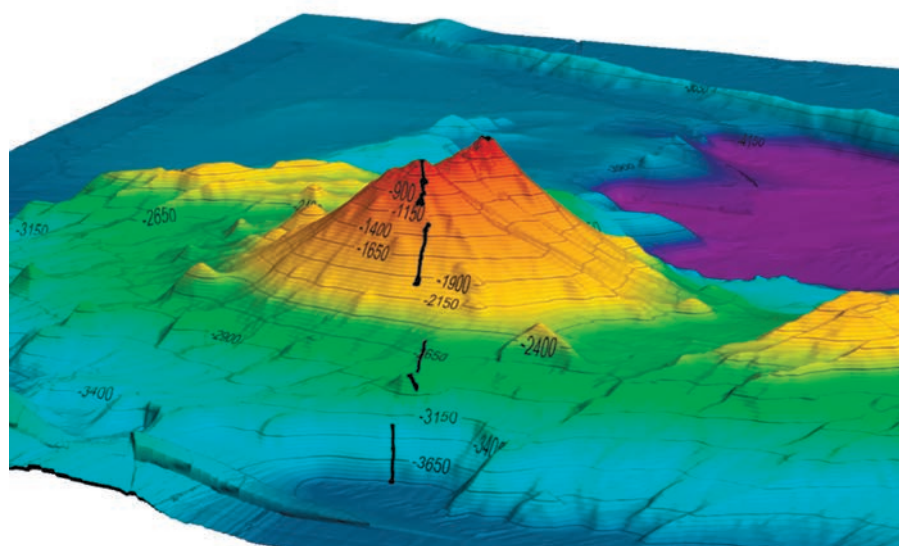


Рис. 7. Модель подводного вулкана Пийпа и треков перемещений ТНПА

ее архитектуры и детали программной реализации некоторых компонентов. Экспериментальные исследования, выполненные в глубоководной научно-исследовательской экспедиции в Беринговом море на НИС «Академик М.А. Лаврентьев» с ТНПА Comanche 18, позволили в полной мере оценить эффективность использования разработанной системы, обеспечивающей интеллектуальную и информационную поддержку операторов, планирование миссий, а также формирование рекомендаций и предупреждений о возможных аварийных ситуациях. Благодаря тесному взаимодействию с операторами ТНПА

и заказчиками подводных работ удалось создать удобное в эксплуатации программное средство и наделить его функциональными возможностями, необходимыми для эффективного и безаварийного выполнения сложных технологических и исследовательских подводных операций.

Представленная система разрабатывалась при активном участии коллектива инженеров отдела глубоководного оборудования ННЦМБ ДВО РАН, занимающегося эксплуатацией и техническим обслуживанием ТНПА Comanche 18.

Разработка и программная реализация системы интеллекту-

альной поддержки деятельности операторов ТНПА выполнены при финансовой поддержке РФФ (проект № 17-79-10064). Алгоритмы управления согласованными перемещениями ТНПА и блока-заглушителя разработаны при финансовой поддержке РФФИ (проекты 16-29-04195 оф м и 18-08-01204 а). Экспериментальные исследования выполнены в рамках программ № 29 (264-2018-0007(1.29)) и № 30 (264-2018-0008(1.30)) Президиума РАН. Экспедиция Национального научного центра морской биологии ДВО РАН на борту НИС «Академик М.А. Лаврентьев» (82-й рейс, июнь–июль, 2018) профинансирована ФАНО России.

ЛИТЕРАТУРА

1. Инзарцев А.В., Киселев Л.В., Костенко В.В., Матвиенко Ю.В., Павин А.М., Щербатюк А.Ф. Подводные робототехнические комплексы: Системы, технологии, применение / под ред. Л.В. Киселева. Владивосток: Дальпресс, 2018. 367 с.
2. 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 Int. Conf. on Int. Navigation Systems. Russia, Saint Petersburg, 2015. P. 144–152.
3. Филаретов В.Ф., Коноплин А.Ю., Коноплин Н.Ю. Подход к разработке информационно-управляющей системы для телеуправляемых подводных аппаратов // Подводные исследования и робототехника. 2017. № 1(23). С. 44–49.
4. Барашок П.И., Фирсов Ю.Г. Современные способы обследования дна для обнаружения и устранения взрывоопасных объектов // Вестн. ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова. 2016. № 1(35). С. 47–59.
5. Казанин А.Г., Казанин Г.С., Иванов Г.И., Саркисян М.В. Инновационные технологии при выполнении инженерно-геологических работ на арктическом шельфе России // Науч. журн. Рос. газового общества. 2016. № 3. С. 13–18.
6. Dulepov V., Scherbatyuk A., Jiltsova L. Investigation of bottom habitat diversity in Great Peter Bay using semi AUV TSL // Proc. of MTS/IEEE Conf. Oceans. USA, San-Diego, 2003. P. 182–187.
7. Костенко В.В., Мокеева И.Г. Исследование влияния кабеля связи на маневренность телеуправляемого подводного аппарата // Подводные исследования и робототехника. 2009. № 1(7). С. 22–27.
8. Филимонов А.Б., Филимонов Н.Б. Интеллектуальная поддержка человека-оператора в эргатических системах управления // Материалы 2-й междунар. конф. «Эрго-2016. Человеческий фактор в сложных технических системах и средах». Санкт-Петербург, 2016. С. 117–124.
9. Резчиков А.Ф., Иванов А.С., Домнич В.С. Анализ аварий в человеко-машинных системах с использованием моделей причинно-следственных связей // Мехатроника, автоматизация, управление. 2009. № 7. С. 30–35.
10. Клюев В.В., Резчиков А.Ф., Богомолов А.С., Филимонов Л.Ю. Взаимодействие ресурсов сложных человеко-машинных систем в критических ситуациях // Контроль. Диагностика. 2013. № 4. С. 41–45.
11. Гриняк В.М., Деятисильный А.С. Нейронечеткая система экспертной оценки риска опасного сближения морских судов // Вестн. компьютерных и информационных технологий. 2015. № 10(136). С. 23–28.
12. Гриняк В.М., Головаченко Б.С., Малько В.Н. Распознавание опасных ситуаций системами управления движением судов // Транспорт: наука, техника, управление. 2011. № 8. С. 42–45.
13. Смагин А.А., Липатова С.В., Рудковский Ю.А., Старостина А.В. Подход к созданию экспертных систем морского мониторинга // Автоматизация процессов управления. 2008. № 4. С. 47–52.
14. Инзарцев А.В., Грибова В.В., Клещев А.С. Интеллектуальная система для формирования адекватного поведения автономного подводного робота в аварийных ситуациях // Подводные исследования и робототехника. 2015. № 2(20). С. 4–11.
15. García J.C., Patrão B., Almeida L., Pérez J., Menezes P., Dias J., Sanz P.J. A Natural Interface for Remote Operation of Underwater Robots // IEEE Computer Graphics and Applications. 2017. Vol. 37. P. 34–43.
16. Занин В.Ю. Использование телеуправляемых подводных аппаратов (ТПА) со специализированных и неспециализированных плавсредств // Изв. ЮФУ. Технические науки. 2010. № 3(104). С. 179–186.
17. Филаретов В.Ф., Коноплин А.Ю., Коноплин Н.Ю. Система для автоматического выполнения манипуляционных операций с помощью подводного робота // Мехатроника, автоматизация, управление. 2017. Т. 18, № 8. С. 543–549.