



РЕЗУЛЬТАТЫ АПРОБАЦИИ ПРОТОТИПА ПЛАТФОРМЫ МОРСКОГО ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ И ЦИФРОВОЙ НАВИГАЦИИ МОРСКИХ РОБОТИЗИРОВАННЫХ АГЕНТОВ

А.А. Кабанов, Ю.Д. Черёмухин, В.А. Крамарь, Д.В. Богданов, В.А. Карапетьян

Севастопольский государственный университет,
РФ, г. Севастополь, ул. Университетская, 33
E-mail: kabanovaleksey@gmail.com

Платформы морского интернета вещей обеспечивают взаимодействие и навигацию разнородных и разномасштабных морских роботизированных средств, объединяя их в единую сеть. Для совместной работы этих роботизированных агентов необходимо создать единую систему коммуникации и информационно-управляющую систему, которые позволят решать комплексные задачи навигации и управления движением этих агентов с целью реализации совместной миссии. Для использования единого подхода к обмену данными необходимо определить архитектуру такой платформы морского интернета вещей. В статье представлены результаты проверки работоспособности прототипа платформы морского интернета вещей, выполненной в ходе проведенных демонстрационных испытаний.

Ключевые слова: морской интернет вещей, подводный интернет вещей, протоколы, архитектура, роботизированный агент.

Поступила в редакцию: 11.01.2023. После доработки: 25.01.2023.

Введение. Глобальное распространение беспроводных сетей, развитие технологий межмашинного взаимодействия приводит к замене человека в морских операциях роботизированными информационно-техническими системами. При этом, проецирование концепции «Интернет вещей» (Internet of Things, IoT) на морскую отрасль, носит необратимый характер ее внедрения. Можно обозначить следующие основные возможные направления применения технологий IoT: научные, промышленные, военные и др.

Научные приложения связаны с мониторингом процессов на дне океана, характеристик воды и морской жизни, картографированием морского дна и др.

Задачи мониторинга и исследований на основе технологий IoT могут быть решены как в малых, так и в больших масштабах. Примеры моделей применения в задачах мониторинга приведены в [1, 2] и многих других работах.

Военные приложения включают в себя защиту акваторий, портовых сооружений, кораблей, разминирование и связь с подводными аппаратами и водолазами [3].

Указанные сценарии применения относятся, как правило, к технологиям «Интернет подводных вещей» (Internet of Underwater Things, IoUT) или «Подводный Интернет вещей» (underwater Internet of Things, UIoT) [1, 2].

Существуют три шага для реализации подводного IoUT. Первым шагом является реализация динамического, непрерывного, комплексного и интеллектуального восприятия подводной среды в режиме реального времени. Вторым шагом в реализации IoUT – это передача большого объема данных из-под воды в режиме реального времени. Третьим шагом в реализации IoUT является интеллектуальная обработка массивных подводных данных.

Кроме IoUT встречается понятие Internet of Things Ocean (IoTO) [4] или Ocean of Things. Саму технологию IoTO описывают как сеть взаимосвязанных интеллектуальных морских объектов. Области применения IoTO мониторинга морской среды включают: мониторинг коралловых рифов; мониторинг морских рыболовных хозяйств (на шельфе или в открытом океане); мониторинг качества воды; мониторинг волн и течений и др. В этом смысле

будем считать технологии OIoT и IoUT тождественными.

Отдельно выделим сегмент морского судоходства, для которого введено понятие Maritime Internet of Things (Maritime IoT) [5], определяющее то, что все устройства, связанные с надводными морскими объектами связаны информационной сетью для бесперебойного обслуживания по всему миру.

Концепция, аналогичная Maritime IoT – «e-Navigation» для поддержки различных типов навигационных услуг [6], была первоначально разработана для модернизации морской отрасли Международной морской организацией (ИМО).

Отталкиваясь от рассматриваемых сфер применения и расширения из-за этого области обмена данными, включая в рассмотрение передачу информационных данных от устройств и объектов, расположенные под водой и получения ими управляющих команд [7] расширяется область применения IoT и по нашему представлению объединение Maritime IoT и IoUT приводит к рассмотрению группы технологий, которые мы будем называть Marine IoT (MIoT). Т.о. под MIoT будем понимать разнородную программно-аппаратную систему обмена информационными данными и управляющими командами между надводными и подводными океанотехническими объектами и системами, включающими суда, буи, датчики, АНПА, различные средства телеметрии и др.

О выделении IoUT в отдельную технологию говорится в [8]. Возможные сценарии применения «IoT» на море описаны в [9–12]. В тоже время, практическая реализация морского и, в т.ч. IoUT, требует разработки целого ряда взаимосвязанных технологий, обеспечивающих передачу данных по подводным беспроводным каналам связи и управления [13]. В рамках выполненной в ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет» научно-исследовательской работы на тему: «Разработка концепции и архитектуры платформы Морского интернета вещей для обеспечения взаимодействия и цифровой навигации морских роботизированных агентов» (шифр «Концепция») предложена архитектура платформы «Морского

интернета вещей» и вариант её технической реализации. Для подтверждения концептуальной возможности практического применения разнородных робототехнических агентов в процессе выполнения миссий по освоению Мирового океана, впервые, проведены натурные демонстрационные испытания Marine IoT. В результате испытаний была подтверждена жизнеспособность предложенной Концепции, определены ограничения существующих технических средств, предложены пути дальнейшего развития.

Область исследований. Развитие MIoT и, в частности, IoUT, наталкивается на решение комплекса проблем технического характера, связанных с сильным поглощением в воде электромагнитных волн и, как следствие, низкими скоростями передачи данных по гидроакустическим каналам связи, а также недостаточной алгоритмической автономностью современных роботизированных агентов (в т.ч. необитаемых подводных аппаратов). Решение этих ограничений требует комплексного подхода, сочетающего в себе использование перспективных и нетрадиционных каналов связи, организации двухсредной (межсредной) передачи данных, а также стандартизации. Создание автономных роботизированных агентов является отдельной самостоятельной задачей. Основной задачей проведенных демонстрационных испытаний стала проверка работоспособности Концепции платформы Морского интернета вещей, объединяющей по беспроводным каналам связи в единую автоматизированную систему управления открытого типа разнообразные датчики, маяки, необитаемые подводные аппараты, морские коммуникационные буи, аппаратуру морских исследовательских судов, всевозможных ретрансляторов и береговых центров управления и пользовательских сервисов. Наиболее известные подходы к описанию архитектуры платформы морского интернета вещей, основанные на классической модели OSI (Open Systems Interconnection), а также построенные по функциональному признаку и различным уровням разнородности узлов приведены, в том числе, в [5].

Наиболее важными частными задачами испытаний стали проверка технической возможности беспроводной передачи данных с необитаемого подводного аппарата без его подъёма на борт научно-исследовательского судна, трансляции полученных данных на удалённый пункт управления миссиями, а также подтверждение возможности создания демонстрационного прототипа двухсредной системы цифровой навигации для разнородных морских робототехнических комплексов. [14]. Принятая в рамках разработанной Концепции архитектура платформы (сетей) Морского интернета вещей [15], основанная на идеологии 1D – 4D [16] представлена на рис. 1.

Предлагаемая на рис. 1 архитектура представляет собой трехуровневую сетевую систему, включающую: большое количество подводных датчиков, системы акустического позиционирования, автономные подводные аппараты (АНПА); беспилотные надводные аппараты, надводные буи и беспилотные летательные аппараты; местные радиоканалы, сотовые или спутниковые каналы связи.

Четырёхмерная архитектура (1D-4D) понимается на удаленную станцию. Указанная архитектура рассматривается как совместная работа различных подвижных и стационарных узлов, расположенных на

разных глубинах. При этом, для обмена данными между ними используются различные технические средства и каналы связи. Предполагается, что типовая система связи и управления для морской среды на основе IoT может иметь пять уровней: уровень восприятия и выполнения, уровень передачи, уровень предварительной обработки данных, прикладной уровень и бизнес-уровень.

В рамках Концепции архитектуры сеть включает в себя отдельные узлы, представляющие собой автономную сеть, отвечающую за обнаружение, обработку и передачу информации. По мнению авторов статьи, конкретная реализация Платформы может иметь в своём составе всевозможные датчики, буи, гидроакустические станции, необитаемые подводные аппараты, аппаратуру морских исследовательских судов, морские коммуникационные буи, средства космической и радиочастотной связи и навигации, радиолокационные станции, аппаратуру береговых центров управления, облачные сервисы и пользовательские приложения. При этом, космическая компонента спутниковых навигационных систем, системы космической и сотовой связи используются, как существующие, что соответствует гетерогенным сетям, согласно [6].

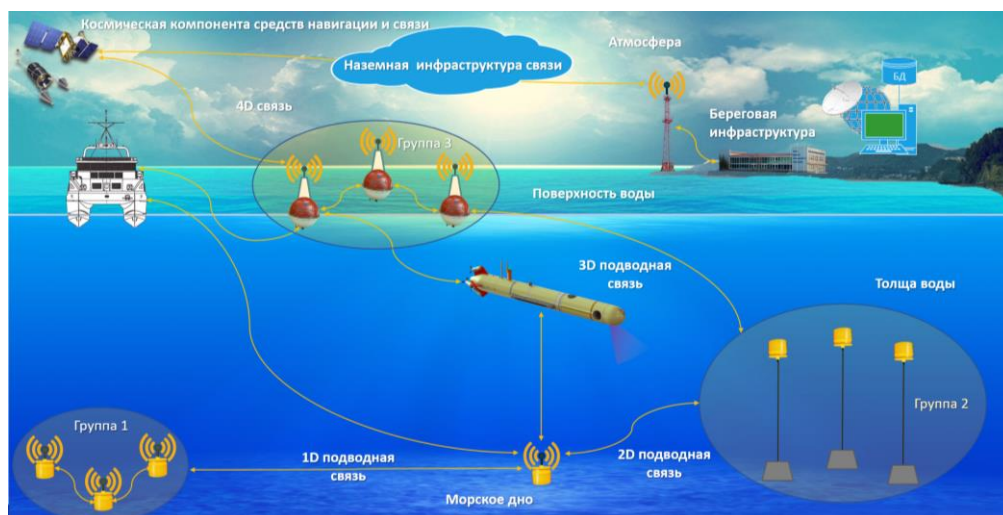


Рис. 1. Архитектура платформы «Морского интернета вещей»
Fig. 1. Architecture of the Marine Internet of Things platform

Условия проведения испытаний. Испытания проводились в августе 2022 г. в открытом море в акватории Черного моря на морском исследовательском полигоне СевГУ в районе пос. Любимовка (г. Севастополь). Схема расстановки оборудования приведена на (рис. 2).

Испытания проводились в дневное время в хорошую погоду (температура воздуха +28...+30 °С, ветер 3–5 м/с, температура воды +26 °С, волнение моря 1–2 балла). Ввиду малых глубин относительная прозрачность воды не измерялась. Оценочно, глубина видимости стандартного белого диска составляла по полудню составляла не менее 15 м.

Состав прототипа архитектуры платформы морского интернета вещей и их заявленные технические характеристики. Для проверки работоспособности предложенной архитектуры платформы «Морского интернета вещей» в составе демонстрационного прототипа (образца), определения фактических технических характеристик в условиях морского полигона были использованы:

- быстро разворачиваемая зональная гидроакустическая станция (далее – ГАС) «Манжетка» с комбинированной линией связи и электропитания, и АРМ оператора;
- гидроакустические модемы uWave с приёмной станцией оператора;
- телеуправляемый необитаемый подводный аппарат (далее – ТНПА) «Марлин-350» (со встроенным гидроакустическим модемом);
- макет необитаемого подводного аппарата с системой технического зрения с дополнительным гидроакустическим модемом;
- макет морского коммуникационного буя с комбинированными средствами подводной и надводной связи, аналогичный описанному в [7];
- Wi-Fi – ретранслятор (макет);
- иные технические средства, не влияющие на архитектуру разрабатываемой сети морского интернета вещей (например, встроенные приёмники ГНСС, Wi-Fi роутеры и т.д.).

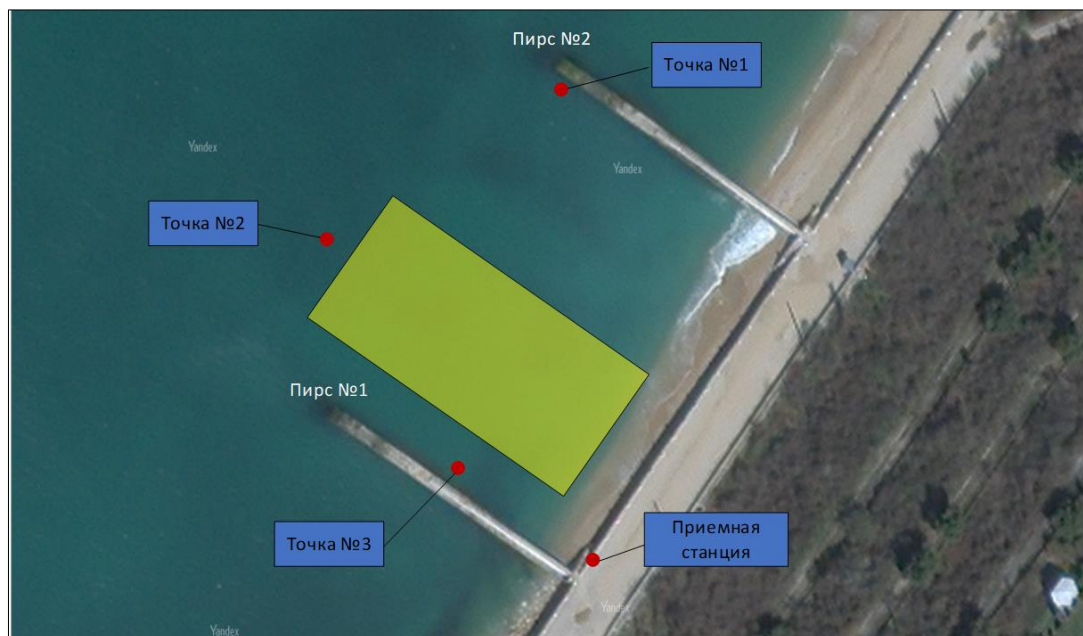


Рис. 2. Схема расстановки оборудования

Fig. 2. Equipment layout

Точка № 1 – поверхностный буй с гидроакустическим модемом uWave; Точка № 2 – морской коммуникационный буй, точка постановки БР ГАС «Манжетка»; Точка № 3 – приемная станция гидроакустических модемов и макет берегового центра управления, ретранслятора Wi-Fi; Приёмная станция – АРМ управления ТНПА «Марлин-350»; Желтым цветом обозначен район маневрирования НПА с установленным на нём гидроакустическими модемами

Ввиду запрета полётов БПЛА, в качестве носителя ретранслятора Wi-Fi сигналов не использовался. Для обеспечения увеличения зоны покрытия Wi-Fi ретранслятор был смонтирован на стационарной мачте.

Необходимо отметить, что ТНПА имели собственные источники освещения, обеспечивающие лучшую видимость объектов под водой.

Технические характеристики ГАС «Манжетка» приведены в табл. 1.

Основные технические характеристики гидроакустических модемов приведены в табл. 2.

Основные технические характеристики макета морского коммуникационного буя с комбинированными средствами подводной и надводной связи приведены в табл. 3.

Таблица 1. Технические характеристики ГАС «Манжетка»

Наименование характеристик	Значение
Частотный диапазон, кГц	60...90
Сектор обзора, град	360
Точность определения пеленга, град	1,0
Точность определения дистанции, м	0,5
Протяженность отображаемого окна зоны обнаружения, м	400
Диаметр, мм	230
Высота общая, мм	520
Максимальная глубина установки, м	50
Потребляемая мощность, Вт	не более 25
Количество элементов приёмной антенны	64
Количество формируемых пространственных каналов	до 512

Таблица 2. Заявленные технические характеристики гидроакустических модемов uWave

Наименование характеристик	Значение
Максимальная глубина, м	300
Максимальная дальность акустической связи, м	1000
Скорость передачи данных, бит/с	78/156/314
Полоса частот, кГц	10 ... 30
BIT Error Rate	10 ⁻⁶
SNR	-2 дБ
Протокол сопряжения	NMEA 0183 PUWV
Схема разделения абонентов	20 кодовых каналов
Командный режим	16 предустановленных сообщений
Разрешение при измерении времени распространения сигнала	0,0001 с
Пакетный режим	254 адреса с уведомлением о получении, широковестьчательные сообщения, размер пакета до 64 байт

Таблица 3. Технические характеристики макета морского коммуникационного буй

Наименование характеристик	Значение
Частотный диапазон системы беспроводной передачи данных, ГГц	2,4
Дальность связи, м	не менее 100
Вид подводной связи	гидроакустическая цифровая
Скорость передачи данных, бит/с	78
Протокол сопряжения	открытый
Количество кодовых каналов	20
Максимальная дальность гидроакустической связи, м	1000
Межсредняя коммуникация	режим «Прозрачного канала»

Для выполнения работ по поиску и обнаружению подводных тестовых объектов, фотофиксации результатов по данным, передаваемым по гидроакустическому каналу связи и управления,

использовался ТНПА «Марлин-350». Основные технические характеристики ТНПА «Марлин-350» приведены в табл. 4.

Таблица 4. Технические характеристики ТНПА «Марлин-350»

Наименование характеристик	Значение
Навигация	Навигационный блок в составе датчиков глубины и ориентации ТНПА
Точность автоматической стабилизации:	
- по курсу, град.	±5
- по глубине, м	±0,5
Количество видеокамер	2
Разрешение цветных видеокамер	HD
Характеристики гидролокатора кругового обзора:	
- сектор сканирования, град.	360
- частота работы, КГц	900
- дальность действия, м	до 60

Результаты испытаний. В ходе эксперимента гидроакустические модемы отечественного производства размещались на НПА, на морском коммуникационном буйе и на береговой приёмной станции на глубинах 5 м в 2 м от поверхности дна. Первоначально, в режиме «прозрачного канала» передавалось тестовое слово с гидроакустического модема на морской коммуникационный буй, с буйа

на модем, с буйа на ТНПА и с ТНПА обратно на буй.

Результаты испытаний представлены в табл. 5. Постановка ГАС «Манжетка», внешний вид гидроакустических модемов uWave, внешний вид морского коммуникационного буйа с гидроакустическим модемом и Внешний вид ТНПА «Марлин-350» и его надводного модуля (без кабельной выюшки) приведены на рис. 3–6.

Таблица 5. Результаты испытаний

Наименование	Точка № 1	Точка № 2	Точка № 3
Расстояние до приёмной станции, м	110	90	30
Уровень сигнала Wi-Fi, %	29	30	40
Кол-во успешно переданных сообщений Модем-Буй, %	30	30	50
Кол-во успешно переданных сообщений Буй-Модем, %	40	30	60
Кол-во успешно переданных сообщений ТНПА-Буй, %	20	30	90
Кол-во успешно переданных сообщений Буй-ТНПА, %	10	40	90

В последующем, коммуникационный буй был установлен между двумя пирсами на расстоянии 100 м от приёмной станции. Для устранения выявленных недостатков в работе гидроакустических модемов uWave в режиме «прозрачного канала» был установлен «пакетный режим» передачи данных с функцией гарантированной доставки и уведомлением о получении. При этом, существенно повысилась успешность передачи данных с одновременным снижением скоростей передачи данных. В ходе сеанса связи по линии «Оператор – Приёмная станция – Коммуникационный буй – ТНПА «Марлин»» производился обмен пакетами данных, содержащими инфор-

мацию о пеленге, указывающем на местоположение тестового объекта поиска, о его удалении, и требуемой скорости движения аппарата. Оператор по сети Wi-Fi подключался к приёмной станции и передавал информацию на морской коммуникационный буй, подключенный к этой же сети Wi-Fi и, далее, передавал данные на морской коммуникационный буй, транслирующий их с помощью гидроакустической связи на ТНПА «Марлин-350» для наведения на тестовый объект. В результате, оператору удалось успешно навести ТНПА «Марлин-350» на подводный тестовый объект и получить его видеоизображение.



Рис. 3. Постановка ГАС «Манжетка» с дежурной шлюпки
 Fig. 3. Setting the "Cuff" from the rescue boat

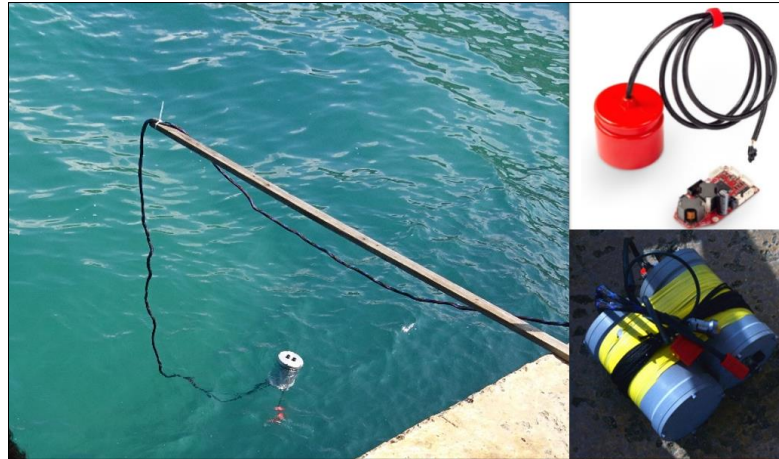


Рис. 4. Внешний вид гидроакустических модемов uWave на блоке камер системы технического зрения

Fig. 4. Appearance of uWave hydroacoustic modems on the block of vision system cameras



Рис. 5. Внешний вид морского коммуникационного буя с гидроакустическим модемом

Fig. 5. External view of a marine communication buoy with a sonar modem



Рис. 6. Внешний вид ТНПА «Марлин-350» и его надводного модуля (без кабельной вьюшки)

Fig. 6. Appearance of ROV "Marlin-350" and its surface module (without cable)

Выводы. Анализ полученных в ходе демонстрационных испытаний результатов показал:

1. Состоятельность Концепции разработанной архитектуры платформы морского интернета вещей для обеспечения взаимодействия и цифровой навигации морских роботизированных агентов.

2. Испытания по поиску, обнаружению и исследованию тестового подводного объекта показали техническую возможность обеспечения совместной работы подводного, надводного, воздушного и берегового сегмента демонстрационного прототипа Платформы морского интернета вещей по приёму/передаче данных и управления по каналам проводной, гидроакустической и радиочастотной связи (с обеспечением ретрансляции) в разнородных средах передачи данных.

3. Подтверждена техническая возможность межсредной передачи данных по линии связи для обеспечения дистанционного управления НПА под водой удалённым оператором.

4. Дальнейшее развитие Платформы морского интернета вещей требует технического совершенствования подводных каналов передачи данных в сторону повышения скорости передачи данных, дальности действия и надёжности, а также оптимизации протоколов передачи данных и их стандартизации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Jahanbakht, M.; Xiang, W.; Hanzo, L.; Rahimi Azghadi, M.* Internet of underwater things and big marine data analytics – a comprehensive survey // *IEEE Commun. Surv. Tutorials.* 2021. № 23(2). pp.904–956.
2. *Kong, M.; Guo, Y.; Sait, M.; Alkhazragi, O.; Kang, C. H.; Ng, T. K.; Ooi, B. S.* Next-generation optical communication: components, sub-systems, and systems: textbook. San Francisco: SPIE, 2022. 22 p.
3. *Khaledi, S.; Mann, H.; Perkovich, J. and Zayed, S.* Design of an underwater mine detection system // *The 2014 Systems and Information Engineering Design Symposium. SIEDS, Charlottesville.* pp.78–83.
4. *Salhaoui, M.; Molina-Molina, J.C.; Guerrero-González, A.; Arioua, M.; Ortiz, F.J.* Autonomous underwater monitoring system for detecting life on the seabed by means of computer vision cloud services // *Remote Sensing.* 2020. № 12(12). pp. 1981–1985.
5. *Xia, T.; Wang, M. M.; Zhang, J. and Wang, L.* Maritime internet of things: challenges and solutions // *IEEE Wireless Commun.* 2020. Vol.27, № 2. pp. 188–196.
6. *Hagen, J. E.* Implementing e-Navigation: textbook. Boston: Artech House, 2017. 235 p.
7. *González-García, J.; Gómez-Espinosa, A.; Cuan-Urquizo, E.; García-Valdovinos, L.G.; Salgado-Jiménez, T.; Cabello, J.A.E.* Autonomous underwater vehicles: localization, navigation, and communication for collaborative missions // *Appl. Sci.* 2020. № 10. 1256 p.
8. *Vermesan O, Bahr R, Ottella M, Serrano M, Karlsen T.* Internet of robotic things intelligent connectivity and platforms // *Front. Robot.* 2020. AI 7:104. pp. 00104–107.
9. *Кебкал К.Г., Кебкал В.К., Кебкал А.Г., Минаев Д.Д., Леоненков Р.В., Корытко А.С.* Экспериментальная оценка характеристик цифровой подводной сети на основе гидроакустических модемов с программным каркасом evins // *Гироскопия и навигация.* 2019. Том 26. № 3 (102). С. 121–135.
10. *Росляков А.В., Ваняшин С.В., Гребешков А.Ю.* Интернет вещей: учеб. пособие. Самара: ПГУТИ, 2015. 135 с.
11. *Федоров М.* Стандарты и тенденции развития RFID-технологий // *Компоненты и технологии.* 2006. № 1. С. 108–110.
12. *Ерохин С.Д.* Протоколы маршрутизации в беспроводных сенсорных сетях: основанные на местоположении узлов и направленные на агрегацию данных // *Телекоммуникации и транспорт.* 2013. № 3. С. 44–47.
13. *Ayass T, Coqueiro T, Carvalho T, Jailton J, Araújo J, Francês R.* Unmanned aerial vehicle with handover management fuzzy system for 5G networks: challenges

and perspectives // *Intell. Robot.* 2022. № 2(1), pp. 20–36.

14. Kumar, S.; Vats, C. Underwater communication: a detailed review // In *Proceedings of the Workshop on Computer Networks and Communications (WCNC 2021)*, Chennai, pp. 76–86.

15. Kabanov, A.; Kramar, V. Marine internet of things platforms for interoperabil-

ity of marine robotic agents: an overview of concepts and architectures // *J. Mar. Sci. Eng.* 2022. № 10. 1279 p.

16. Wosowei, J.; Shastry, C. Underwater wireless sensor networks: applications and challenges in offshore operations // *Int. J. Curr. Adv. Res.* 2021. № 10. pp. 23729–23733.

RESULTS OF APPROBATION OF THE PLATFORM PROTOTYPE OF THE MARINE INTERNET OF THINGS DESIGNED TO PROVIDE INTERACTION AND DIGITAL NAVIGATION OF MARINE ROBOTIC AGENTS

A.A. Kabanov, Y.D. Cheryomukhin, V.A. Kramar, D.V. Bogdanov, V.A. Karapetyan

Sevastopol State University, RF, Sevastopol, Universitetskaya St., 33

E-mail: kabanovaleksey@gmail.com

Marine Internet of Things platforms provide interaction and navigation of marine robots as a network. For the joint work of these robotic agents, it is necessary to create a unified communication system and control system that will allow solving problems of navigation control of these agents in order to implement a joint mission. To use a unified approach to data exchange, it is necessary to determine the architecture of a maritime Internet of Things platform. The article presents the results of testing the performance of the prototype of the maritime Internet of Things platform, carried out during the demonstration tests.

Keywords: maritime internet of things, underwater internet of things, protocols, architecture, robotic agent.

REFERENCES

1. Jahanbakht, M., Xiang, W., Hanzo, L., and Rahimi Azghadi, M. Internet of underwater things and big marine data analytics—a comprehensive survey. *IEEE Commun. Surv. Tutorials*, 2021, Vol. 23(2), pp. 904–956.

2. Kong, M., Guo, Y., Sait, M., Alkharagi, O., Kang, C.H., Ng, T.K., and Ooi, B.S. Next-generation optical communication: components, sub-systems, and systems: textbook. San Francisco: SPIE, 2022, 22 p.

3. Khaledi, S., Mann, H., Perkovich, J., and Zayed, S. Design of an underwater mine detection system. The 2014 Systems and Information Engineering Design Symposium. SIEDS, Charlottesville, pp. 78–83.

4. Salhaoui, M., Molina-Molina, J.C., Guerrero-González, A., Arioua, M., and Ortiz, F.J. Autonomous underwater monitoring system for detecting life on the seabed by means of computer vision cloud services. *Remote Sensing*, 2020, Vol. 12(12), pp. 1981–1985.

5. Xia, T., Wang, M.M., Zhang, J., and Wang, L. Maritime internet of things: challenges and solutions. *IEEE Wireless Commun.*, 2020, Vol. 27, No. 2, pp. 188–196.

6. Hagen, J.E. Implementing e-Navigation: textbook. Boston: Artech House, 2017, 235 p.

7. González-García, J., Gómez-Espinosa, A., Cuan-Urquiza, E., García-Valdovinos, L.G., Salgado-Jiménez, T., and Cabello, J.A.E. Autonomous underwater vehicles: localization, navigation, and communication for collaborative missions. *Appl. Sci.*, 2020, Vol. 10, 1256 p.

8. Vermesan O., Bahr R., Ottella M., Serrano M., and Karlsen T. Internet of robotic things intelligent connectivity and platforms. *Front. Robot.*, 2020, AI 7:104, pp. 00104–107.

9. Kebkal K.G., Kebkal V.K., Kebkal A.G., Minaev D.D., Leonenkov R.V., and Korytko A.S. Eksperimental'naya ocenka harakteristik cifrovoj pod-vodnoj seti na osnove gidroakusticheskikh modemov s pro-

gramnym karkasom evins (Experimental evaluation of the characteristics of a digital underwater network based on hydroacoustic modems with evins software framework). *Giroskopiya i navigaciya*. 2019, Vol. 26, No. 3 (102), pp. 121–135.

10. *Roslyakov A.V., Vanyashin S.V., and Grebeshkov A.Yu.* Internet veshchej (Internet of things). Samara: PSUTI, 2015, 135 p.

11. *Fedorov M.* Standarty i tendencii razvitiya RFID-tehnologij (Standards and trends in the development of RFID technologies). *Komponenty i tekhnologii*, 2006, No. 1, pp. 108–110.

12. *Erokhin S.D.* Protokoly marsh-rutizacii v besprovodnyh sensoryh setyah: osnovannye na mestopolozhenii uzlov i napravlennye na agregaciyu dannyh (Routing protocols in wireless sensor networks: based on the location of nodes and aimed at data aggregation). *Telekommunikacii i transport*, 2013, No.3, pp. 44–47.

13. *Ayass T., Coqueiro T., Carvalho T., Jailton J., Araújo J., and Francês R.* Unmanned aerial vehicle with handover management fuzzy system for 5G networks: challenges and perspectives. *Intell. Robot.*, 2022, No. 2(1), pp. 20–36.

14. *Kumar, S. and Vats, C.* Underwater communication: a detailed review. In *Proceedings of the Workshop on Computer Networks and Communications (WCNC 2021)*, Chennai, pp. 76–86.

15. *Kabanov, A. and Kramar, V.* Marine internet of things platforms for interoperability of marine robotic agents: an overview of concepts and architectures. *J. Mar. Sci. Eng.*, 2022, No. 10, 1279 p.

16. *Wosowei, J. and Shastry, C.* Underwater wireless sensor networks: applications and challenges in offshore operations. *Int. J. Curr. Adv. Res.*, 2021, No. 10, pp. 23729–23733.