

Б. С. РИВКИН

## БЕСПИЛОТНЫЕ СУДА. НАВИГАЦИЯ И НЕ ТОЛЬКО

*В статье излагаются краткие сведения о развитии технологий создания беспилотных надводных судов за последние 20 лет. Обсуждаются проблемы их навигационного обеспечения и его соответствия требованиям Международной морской организации.*

**Ключевые слова:** беспилотные суда, безопасность плавания, COLREG, SOLAS, навигация, задача расхождения, радар, лидар, видеочамера.

### Введение

16 сентября 1620 года группа гонимых церковными властями английских пуритан отплыла из Плимута на борту галеона «Мейфлауэр» (Mayflower), чтобы через 66 дней, преодолев Атлантику, добраться до берегов Новой Англии, основать там поселение с тем же, что и на родине, именем и обрести столь ценимую ими абсолютную свободу [1].

Ровно через 400 лет, 16 сентября 2020 года, в том же британском Плимуте название «Мейфлауэр» во время специальной церемонии унаследовал тримаран (рис. 1), созданный специалистами морской исследовательской организации «ПроМаре» (ProMare, США) в кооперации с британским отделением концерна IBM и судостроительной компанией «Вяртсиля» (Wärtsilä, Финляндия) [2].



Рис. 1. Тримаран «Мейфлауэр»

Предполагалось, что он в тот же день отправится по пути своего предшественника в Плимут американский, но пандемия внесла свои коррективы. Теперь его старт намечен на апрель 2021 года.

Во всем этом не было бы ничего необычного, если бы не одно «но»: на тримаране не только не будет экипажа, но он не будет управляться и дистанционно! 3200 миль автономного плавания. Оценивая этот вояж, представитель IBM Энди Стэнфорд-Кларк (Andy Stenford-Clark) сравнил его с основными технологическими достижениями человечества последних 50 лет, заметив: «IBM участвовала в высадке человека на Луну, а сейчас принимает вызов, используя самые современные технологии, пересечь в автоматическом режиме самый глубокий из океанов». Управляться судно, оснащенное кроме стандартного навигационного оборудования радаром, лидаром, автоматической идентификационной системой (АИС), шестью видеочамерами

---

**Ривкин** Борис Самуилович. Кандидат технических наук, начальник Центра компетенций в области навигации, АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор» (С.-Петербург). Член правления Международной ассоциации институтов навигации (IAIN). Действительный член международной общественной организации «Академия навигации и управления движением».

и высокоэффективными солнечными батареями, будет виртуальным «капитаном» AI Captain, опирающимся в своих решениях на данные поставленного IBM суперкомпьютера с использованием технологий искусственного интеллекта (artificial intellect, AI), компьютерного зрения, облачных и граничных вычислений [3].

Чтобы отважиться на океанский переход, который обещает стать одним из прорывных событий в истории мореплавания, на первом этапе оборудование тримарана было протестировано в стартовой точке специалистами Университета Плимута с использованием модели глубокого обучения, созданной разработчиками IBM. Главная цель – привить интегрированной системе способность адекватно оценивать окружающую обстановку для исключения возможности столкновения с окружающими объектами и в соответствии с этим оптимизировать маршрут. На следующем этапе на протяжении без малого двух лет тестировалось программное обеспечение (ПО) на соответствие требованиям COLREGs (Международных правил предупреждения столкновения судов в море) и SOLAS (Международной конвенции по спасению жизни на море), предъявляемым IMO (Международной морской организацией), без чего практическое плавание в автоматическом режиме просто невысказимо [4].

И именно такие беспилотные суда (БПС), по мнению многих, являются панацеей при решении главной проблемы морских перевозок – обеспечения безопасности мореплавания. На чем основано это воззрение? К началу 2000-х годов сложилась парадоксальная ситуация. На судах, кроме АИС, появились приемники глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС), электронные картографические навигационные информационные системы (ЭКНИС), средства автоматической радиолокационной прокладки (САРП), интегрированные мостиковые системы, системы управления движением судов и глобальная морская система связи при бедствии. Но увы, исследования, проведенные в 2000–2005 годах отделом изучения морских инцидентов Департамента транспорта Великобритании, показали, что с их появлением число морских инцидентов уменьшилось незначительно [5].

С тех пор мало что изменилось. При этом, как показывают исследования, проведенные крупнейшей мировой компанией по страхованию рисков Allianz Global Corporate & Speciality, на первые роли выдвигается человеческий фактор [6]. Его влияние присутствует в 75-96% страховых случаев, фиксируемых при осуществлении морских перевозок. Более того, проведенный Allianz анализ порядка 15000 инцидентов, имевших место в 2011–2016 годах и приведших к потерям без малого 1,5 млрд \$, выявил, что в 75% случаев именно человеческий фактор сыграл определяющую роль.

Наконец, остро стоит и проблема комплектования экипажей судов. Так, неправительственная организация ВМСО, занимающаяся вопросами судоходной политики и объединяющая в том числе судовладельцев и морских брокеров, прогнозирует нехватку к 2025 году 147500 специалистов морского профиля, вызванную старением личного состава судов и нежеланием молодежи бороздить морские просторы.

Следствием только что упомянутых фактов, отнюдь не исчерпывающих причин использования БПС, явился прогноз исследовательской компании ReportLinker, предполагающей рост соответствующего рынка с 13,2 млрд \$ в 2019 году до 21,7 млрд \$ в 2025-м [1].

Следует заметить, что здесь и далее автор сознательно обходит стороной технологии и проблемы создания автономных необитаемых подводных аппаратов, которые в силу их специфики заслуживают специального рассмотрения.

## **Развитие БПС-технологий на Европейском континенте**

Первые серьезные результаты в разработке БПС-технологий в Европе были получены в рамках проекта MUNIN (Морская беспилотная навигация с использованием интеллектуальных сетей) с бюджетом 3,8 млн евро. Его реализацией при финансовой поддержке ЕС занимались в 2012–2015 годах девять компаний во главе с гамбургским Центром морской логистики имени Фраунгофера [7].

Именно в рамках этой пионерской работы формировалась концепция управления БПС и оценивались техническая, экономическая и правовая вероятности его реализации в предположении, что хотя бы на каком-то участке маршрута он будет использоваться в полностью автономном режиме. В ту пору такой режим на постоянной основе считался достижимым лишь в далеком будущем. В результате проведенных исследований было установлено, что для управления БПС необходимо разработать следующие системы [8]:

- 1) модуль навигационных датчиков, обрабатывающий их выходы, включая данные радара и АИС, а также дневных и инфракрасных видеокамер;
- 2) система навигации в глубоком море, обеспечивающая плавание по заданному маршруту, способная адаптироваться к ситуациям возможного столкновения со встречными объектами и к существенным изменениям погодных условий;
- 3) автономная система управления двигательной установкой, способная как минимум выявлять, если не предсказывать, возможные отказы системы движения, обеспечивая оптимальную эффективность ее использования;
- 4) береговой центр управления, предназначенный для непрерывного дистанционного управления БПС командой квалифицированных судоводителей и инженеров на тех участках маршрута, где экипаж будет отсутствовать (концепция предполагает снятие экипажа при выходе судна в открытое море и его возвращение с использованием вертолетов при подходе к участку со стесненным движением или порту).

Применительно к судну для перевозки навалочных грузов, стоящему на интерконтинентальной линии, где оно большую часть времени находится вдали от оживленных трасс, было установлено, что использование БПС в течение 25 лет приводит к экономии 7 млн \$ по сравнению со стандартным навалочником. Одновременно было показано – вероятность столкновения такого судна в 10 раз меньше по сравнению с экипажным аналогом, прежде всего за счет практического устранения фактора усталости членов экипажа.

Перенесение решения навигационных и эксплуатационных задач на берег в случае использования режима дистанционного управления движением БПС снизит и остроту второй из обсуждавшихся ранее проблем, что обеспечит потенциальный приток молодежи.

Дальнейшему развитию идей, сформированных в рамках проекта MUNIN, способствовало выполнение в 2015–2017 годах проекта AAWA (Advanced Autonomous Waterborne Applications Initiative – Инициатива использования продвинутых автономных плавсредств), на который Агентство финансирования технологий и инноваций Финляндии выделило 6,6 млн евро [9]. Проект объединил усилия кластера разработчиков в составе Rolls-Royce (головной исполнитель), DNV GL, NAPA, Deltamarin и Inmarsat и ряда вузов (Университетов Тампере, Аалто, Турку и Ака-

демии Або), а также Технического исследовательского центра VTT Финляндии. Кроме того, к проекту были привлечены паромный оператор Finferries и ведущий перевозчик сухогруза на Балтике ESL Shipping Ltd. Именно компания Finferries предоставила паром «Стелла» (Stella), курсирующий между островами Корпо (Korpo) и Хоутскер (Houtskär), для проведения испытаний, подтверждающих правомерность использования выбранных разработчиками средств.

В рамках проекта его разработчики искали ответы на три следующих вопроса [10]:

- 1) каковы должны быть технологии и как они должны взаимодействовать при автономном плавании судна в милях от берега;
- 2) как нужно спроектировать такое судно, чтобы оно было столь же безопасным, как и обычные суда, с какими новыми рисками мы столкнемся при этом и как их парировать;
- 3) каковы должны быть побудительные мотивы для судовладельцев вкладываться в БПС и кто после их «легализации» будет ответственен в случае того или иного инцидента.

Сосредоточимся на двух первых из них. Прежде всего надлежало выяснить, что кроется за понятием «автономное». Существует целый ряд определений уровней автоматизации, характеризующих способность машины выполнять те или иные действия, из которых наиболее популярно представление, сформулированное Т. Шериданом (T. Sheridan) [11]. Им предложено 10 таких уровней. На первом из них компьютер не ассистирует человеку, выполняющему все операции, а на последнем они меняются ролями. Результатом исследований, выполненных в рамках AAWA, явилось представление о том, что уровни автоматизации разнятся в зависимости от типа судна и специфики выполнения им тех или иных задач. В некоторых ситуациях, по мнению разработчиков, судно может управляться практически автоматически (прежде всего в открытом море), а в других – обязательно дистанционно управляться оператором. И одно дело управлять большим контейнеровозом, и совсем другое – скромным навалочником.

Применительно к режиму автономного использования судна была предложена структура, состоящая из [10]:

- модуля управления пропульсивной системой;
- системы динамического позиционирования (СДП);
- автономной навигационной системы (АНС);
- системы ситуационной оценки (ССО), содержащей все необходимые датчики и осуществляющей их комплексирование;
- системы обмена данными;
- системы, реализующей функции дистанционного оператора.

В свою очередь, в состав АНС входили следующие модули: планирования маршрута (отвечает лишь за предварительную его прокладку), предупреждения столкновений, ситуационной оценки (принимает решение по данным системы ССО) и оценки состояния судна. Важнейшим является последний из них – «виртуальный капитан», обрабатывающий информацию, поставляемую остальными модулями АНС, а также СДП и другими аппаратными средствами судна. Именно этот модуль определяет режим использования судна и предоставляет исходные данные для удаленного оператора.

Предполагается, что при обеспечении СДП данными от ГНСС, датчика ветра и инерциального измерительного модуля (ИИМ) она будет способна решить задачу

позиционирования даже в тяжелых условиях плавания. Помимо этого, в ее функции входит обеспечение предупреждения столкновений, а также планирование текущего участка маршрута.

Тщательно анализировались датчики, способные решить задачи автономного плавания при их комплексировании с такими традиционными системами, как АИС, ЭКНИС, ГНСС и САРП, а кроме того, ИИМ, который никогда ранее не использовался на судах, плавающих под эгидой ИМО. И тут на первые роли выдвинулись видеокамеры, работающие в видимом и инфракрасном диапазонах, радар и лидар.

К преимуществам первых из них относится возможность при использовании цветного изображения осуществлять сепарацию объектов на фоне морской поверхности. Если же поставить две такие камеры, то можно получить, пусть и в ограниченном объеме, трехмерное изображение. Да, при этом потребуются высокоэффективные средства обработки изображений и высокоскоростная широкополосная система передачи данных оператору, но это на текущий момент уже не является проблемой. Среди инфракрасных камер наибольший интерес вызывают те, которые работают в длинноволновом диапазоне 8–14  $\mu\text{m}$  и обеспечивают видимость практически в полной темноте. Они же могут эффективно использоваться и в дневное время суток в условиях сильного тумана или дождя, когда камеры видимого диапазона пасуют.

К недостаткам видеокамер относятся не только зависимость их работоспособности от погодных условий, но и невозможность оценить расстояние до интересующего нас объекта, для этих целей служат радар и лидар. При этом выяснилось, что традиционно используемые на морском флоте радары S- и X-диапазонов не обеспечивают разрешающую способность, достаточную для решения задач, выполняемых автономным судном в припортовой зоне, и необходимы Ka- и W-диапазоны, применяемые в автомобильных приложениях. Что касается лидара, хоть и подверженного влиянию погодных условий, то высокая эффективность его использования в морских условиях была подтверждена Хименесом (Jimenez) еще в 2009 году.

Наконец, исследовались вопросы оптимального применения существующих систем связи для обмена данными между судном и берегом с учетом парирования кибератак, весьма существенно влияющих на эксплуатацию именно БПС [12]. С этой целью был создан специальный эмулятор, на котором исследовался процесс обмена данными через канал спутниковой системы связи с учетом сжатия видеoinформации и ее отбора в соответствии с тем или иным режимом работы системы в целом.

Следует отметить, что одновременно с научными исследованиями в рамках проекта AAWA с 2014 года Rolls-Royce вела работы по проектированию грузовых БПС [26]. Оно осуществлялось применительно к контейнеровозам, с которых планировалось убрать капитанский мостик, надстройки, каюты для экипажа, системы водоснабжения, канализации и кондиционирования, а также оборудование электроснабжения. Это позволяет снизить вес судна на 5% и до 15% потребление топлива. Использование БПС обеспечит и сокращение расходов, связанных с содержанием экипажа во время плавания, которое для крупного контейнеровоза обходится в 3,3 тыс. \$ в день, что составляет 44% от всех операционных затрат на перевозку грузов морем.

Практическое подтверждение идей AAWA проводилась Rolls-Royce в спарке с Finferries при выполнении проекта SVAN (Safer Vessel with Autonomous Navigation – безопасное судно с автономной навигацией), завершено в 2018 г. [14, 15]. В его рамках были проведены испытания, как утверждают разработчики, «первого в мире



Рис. 2. Паром Falco

абсолютно автономного парома» Falco длиной 54 м, построенного в 1998 году (рис. 2).

В процессе этих испытаний, проводившихся полностью в автоматическом режиме без малого 400 часов среди островов к югу от Турку (Turku), была не только продемонстрирована высокая эффективность решения задачи расхождения, но и выполнена автоматическая швартовка.

Размещенные на пароме датчики позволили создать картину окружающей обстановки с разрешающей способностью, недоступной человеческому глазу. Ее отображение транслировалось в центр дистанционного управления фирмы Finfergies, находящийся в 50 км от Турку, оператор которого при необходимости мог вмешаться в управление паромом.

Когда же представителей Rolls-Royce и Finfergies спросили, когда можно ожидать перевод паромного сообщения в районе испытаний на полностью беспилотный режим, то они ответили, что для этого потребуется от 5 до 15 лет.

Если Rolls-Royce претендует на мировое первенство в создании абсолютно автономного парома, то «Вяртсиля» – на проведение первой в мире автоматической швартовки [15]. Соответствующие испытания проводились на борту парома *Følgefontn*, принадлежащего норвежскому оператору *Norled*, в январе–апреле 2018 года. При этом позиционирование судна осуществлялось с использованием разработанной фирмой СДП по данным системы GPS, работающей в дифференциальном режиме. В случае отсутствия ее сигнала используется созданная «Вяртсиля» система контроля положения судна *CyScan AS*, опирающаяся на данные лидара.

В те же сроки, что и работы по проекту AAWA, силами отделения инженерной кибернетики Норвежского университета естественных и технических наук, с одной стороны, и норвежскими же компаниями *Kongsberg Maritime*, *Maritime Robotic* и *DNV GL* – с другой, выполнялся проект *AUTOSEA*, спонсируемый Исследовательским советом Норвегии и сфокусированный на решении задачи предупреждения столкновений применительно к БПС [16–18].

Решение задачи, обеспечивающее при расхождении выполнение требований COLREGs, осуществлялось с привлечением данных радара, АИС, лидара, ИИМ, видеокамер дневного и ночного видения и GPS. Изначально проектирование системы предупреждения столкновений (СПС) исходило из предпосылки, что оно должно базироваться на последних достижениях теории в области слежения за целью и наведения/управления (*guidance/control*).

Так, комплексирование датчиков СПС было реализовано в соответствии с идеями, на которых базируется слежение на основе PDA (*Probabilistic Data Association*), т.е. учитывающее вероятность достоверности данных о встречном судне. Само решение задачи расхождения опиралось на управление, основанное на прогнозирующих моделях (*model-predictive control*), при котором оценки риска столкновения включаются в соответствующую функцию стоимости. При этом учитывались неопределенности в оценке взаимного положения судов, данных датчиков, работы ак-

туаторов СПС и намерений встречного судна. По завершении разработки СПС высокая эффективность ее использования была подтверждена в процессе испытаний в водах Норвегии и Нидерландов.

Развитием AUTOSEA явился финансируемый Европейским союзом (ЕС) с ноября 2017 года проект Hull-to-Hull (H2H) («Корпус-к-корпусу»), исполнителями которого были фирмы Норвегии (Kongsberg Seatex, Sintef Ocean и Sintef Digital), Нидерландов (Mampaey Offshore Industries) и Бельгии (KU Lueven) [19].

Целью этого проекта было обеспечить безопасное плавание в непосредственной близости от движущихся и неподвижных объектов, что создает предпосылки для продвижения разрабатываемых при этом продуктов и на БПС. Решение этой задачи базировалось на использовании показаний различных навигационных датчиков, и прежде всего ГНСС Galileo и региональной спутниковой навигационной системы EGNOS, а также на 3D-моделях конкретных БПС с приведением основных размерных судна.

Такой подход позволяет прецизионно оценивать как расстояние до окружающих объектов, включая движущиеся суда, так и скорость сближения с ними. По существующим оценкам, для БПС погрешность определения этого расстояния не должна превышать нескольких дециметров, что предполагается обеспечить за счет комплексирования данных, получаемых от приемника ГНСС при работе в двухчастотном мультисистемном режиме, ИИМ, АИС, лидара, радара и видеокамер. Более того, как показания датчиков, так и 3D-модель БПС будут транслироваться окружающим судам.

В целом проект возглавлялся специалистами Kongsberg Seatex. Sintef Ocean и Sintef Digital осуществляли экспертизу принимаемых решений, университет KU Lueven оценивал их в части навигации на внутренних водных путях, а Mampaey Offshore Industries – в части буксировки, причаливания и швартовки. Координатор проекта Пер Эрик Квам (Per Erik Kwam) полагает, что по завершении H2H окажется возможным выполнение нестандартных маневров и процедур, удовлетворяющих, тем не менее, требованиям COLREGs.

Особое внимание разработчики проекта уделяют проблемам навигации именно БПС. Если последние будут рекомендованы для коммерческого использования, то к их оборудованию и реализуемым технологиям будут предъявлены жесточайшие требования по надежности и безопасности. Последнее предполагает наличие непрерывного обмена данными между взаимодействующими судами, реализуемого с помощью безотказного высокоскоростного канала, поддерживающего решение задачи относительного позиционирования объектов и передачу 3D-моделей. Разработка такого канала также проводится в рамках H2H.

При завершении проекта предполагаются демонстрационные испытания в Норвегии процедур взаимодействия БПС с традиционным судном, в Нидерландах – его швартовки, а в Бельгии – позиционирования такого судна на внутренних водных путях по данным ГНСС Galileo и EGNOS при различных внешних условиях.

Осуществление упомянутых ранее проектов побудило наконец и ИМО обратить свое внимание на проблемы, возникающие при проектировании БПС. Последнее было определено ИМО как «судно, которое в той или иной степени может функционировать независимо от человеческого участия» и получило название «морского автономного надводного судна» (Maritime Autonomous Surface Ship – MASS) [20].

Знаменательным было 100-е заседание Комитета по безопасности плавания (Maritime Safety Committee – MSC) ИМО, прошедшее в декабре 2018 года и посвященное в большей своей части проблематике БПС [21]. Прежде всего каждое навигационное средство проверялось на возможность использования его на БПС по следующей цепочке критериев:

- применимо на БПС или невозможно использование на них;
- применимо на БПС и возможно использование на них при модернизации;
- применимо на БПС и возможно использование на них без доработок.

Одновременно была проведена классификация БПС по уровню их автономности, снимающая проблему, стоявшую перед разработчиками ААВА:

тип 1 – судно автоматизировано, включая процедуру принятия решений, но на борту присутствует экипаж для приведения в действие бортовых систем и контроля выполняемых функций. Некоторые операции могут выполняться без участия человека;

тип 2 – судно управляется дистанционно, но на борту имеется экипаж, опять-таки берущий на себя управление в критической ситуации;

тип 3 – дистанционно управляемое судно без экипажа на борту;

тип 4 – абсолютно автономное судно.

При этом, однако, было высказано мнение, что для реализации БПС, начиная с типа 3, потребуется недостижимый на сегодня уровень развития искусственного интеллекта.

К этой же проблеме обратилась и 101-я сессия MSC, проходившая в июне 2019 года. На ней рассматривался вопрос проведения испытаний БПС и было принято решение о том, что они должны быть организованы таким образом, чтобы уровень требований к характеристикам их навигации был по крайней мере не ниже, чем предъявляемый к обычным судам [22].

В 2019 году ЕС запустило два новых проекта, ориентированных на навигацию грузовых БПС при каботажном плавании и перемещении товаров по внутренним водным путям, что, естественно, сложнее плавания в открытом море. Первый из них – AUTOSHIP предполагается завершить в 2022 году, потратив на его реализацию 29,5 млн евро, силами прежде всего фирмы Kongsberg с привлечением специалистов Ciaotech Srl (Италия), Blue Line Logistics (Бельгия), Sintef Ocean AS (Норвегия), Urm-Kummeue Oyj (Финляндия) и Университета Стратклайда (University of Strathclyde, Великобритания) [23, 24].

В его рамках предполагается построить два судна, в процессе испытаний которых необходимо будет подтвердить в том числе сокращение сроков и стоимости доставки товаров потребителям, что создаст конкурентную с наземным транспортом среду. Предполагается, что одновременно удастся снизить потребление топлива и упростить логистические процедуры, а также обеспечить кибербезопасность навигации.

Вторым проектом является AEGIS (на него выделено 7,5 млн евро), также выполняемый в течение трех лет консорциумом из 12 участников, представляющих Норвегию, Данию, Финляндию и Германию, во главе с компанией Sintef Ocean AS, участвующей и в AUTOSHIP [25]. Аналогично ориентированный на разработку БПС-технологий для осуществления каботажного и интермодального плавания, он одновременно призван обеспечить снижение загрязняющих выбросов и шумности при речной навигации и на территории портов. По сути дела, ставится задача пере-

нести доставку грузов с автомобильного и железнодорожного транспорта на водный, прежде всего речной, с использованием малых БПС, желательна на электрической тяге, и автоматизацией внутрипортовых и терминальных операций.

К новейшим достижениям Kongsberg, поглотившей в апреле 2019 года Rolls-Royce Commercial Marine и ставшей крупнейшим игроком на европейском (а может быть, и мировом) рынке БПС, следует отнести следующие. В феврале 2020 года Kongsberg Maritime совместно с Морским директором Норвегии и судовладельческой компанией Bastø Fosen объявили о постановке на линию Хортен–Мосс (Horten–Moss) полностью автоматизированного, с адаптивным управлением парома Bastø Fosen VI, который, полностью нагруженный пассажирами и автомобилями, совершил первое плавание в автоматическом режиме от причала до причала [27]. Тем не менее команда на борту судна пока сохранена. Примечательно, что установленная на пароме система управления обеспечивает и решение важнейшей задачи, ставящейся в последнее время ИМО, – своевременного прибытия в порт назначения. В процессе соответствующего испытания в декабре 2019 года Bastø Fosen VI ошвартовался с опозданием лишь на 2 секунды! Только одна операция, выполняемая в процессе плавания, не доверена на текущий момент автомату – при необходимости выбрать маневр на расхождение со встречным судном решение принимает капитан.

Большой интерес вызывает проектирование Kongsberg совместно с заказчиком – фирмой Yara, проектантом судна Marin Teknikk (обе – Норвегия) и верфью VARD (Румыния) контейнеровоза-автомата Yara Birkeland (рис. 3) на электрической тяге [28, 29].

Контейнеровоз этот длиной 80 м, развивающий экономичную скорость 6-7 уз. (максимальная – 15) и способный принять на борт 120 морских контейнеров, предназначен для доставки грузов с завода Yara в Порсгрунне (Porsgrunn) в порты Брейвик (Breivik, 7 морских миль) и Ларвик (Larvik). На первом этапе предполагается использовать экипаж, для чего на контейнеровозе установлен съемный мостик, а затем (до эпохи коронавируса назывался 2022 год) перейти к автоматическому режиму эксплуатации. В рамках исполняемого проекта разрабатываются также безоператорное оборудование «судно–причал» для разгрузки судна и погрузчики для обработки груза на причале.

Несмотря на экспансию Kongsberg, в последнее время в Европе появляются новые фирмы, обеспечивающие реализацию тех или иных задач, решаемых БСП. Так, стартап Captain AI, конструкторское бюро Rotortug и провайдер KOTUG International в рамках проводившегося в сентябре 2020 года в Нидерландах форума «Интеллектуальное судоходство» (Smart Shipping) продемонстрировали возможности искусственного интеллекта при автоматическом управлении судном [30, 31]. В рамках проведенного в порту Роттердама эксперимента спроектированный Rotortug буксир Borkum осуществил в режиме БПС плавание по реке Ньиве-Маас (Nieuwe Maas), следуя оптимальным маршрутом, формируемым в реальном времени ПО, поставленным Captain AI и обеспечившим безопасную навигацию в одном из самых загруженных портов мира.



Рис. 3. Контейнеровоз Yara Birkeland

Если во всех предыдущих случаях создание ПО для реализации БПС-режима велось применительно к конкретному судну, то несколько иную задачу ставят перед собой разработчики проекта Autoplan, участниками которого являются несколько проектных компаний, верфей и университетов Германии и Турции [32]. Проект, запущенный в сентябре 2020 году, финансируется Федеральным министерством экономики и энергетики Германии и Советом Турции по научно-техническим исследованиям и предполагает создание унифицированной системы интеллектуальной поддержки навигации высокоскоростных судов (прежде всего на воздушной подушке) в режиме автономного плавания.

### БПС-технологии в Азиатско-Тихоокеанском регионе

Рассмотрим, как развиваются БПС-технологии за пределами Европейского континента, не ставя перед собой задачу охватить все работы, ведущиеся в этом направлении за морями-океанами. Сосредоточимся на том, что можно считать точками роста этого движения.

Одним из мировых лидеров в развитии БПС-флота является Китай. Наиболее значимым событием последнего времени явилось завершение в декабре 2019 года испытаний грузового судна Jin Dou Yun 0 НАО, созданного компанией Yunzhou Tech в сотрудничестве с Уханьским техническим университетом и Китайским классификационным обществом [33].

Судно это (рис. 4) длиной 13 м, снабженное системой электродвижения, способно развивать скорость до 8 уз. и обошлось в строительстве на 20% дешевле судна с экипажем. В процессе испытаний оно доставило в автономном режиме груз с острова Дунгао (провинция Гуандун) к причалу у моста Гонконг–Чжухай–Макао.



Рис. 4. Грузовое судно Jin Dou Yun 0 НАО

В том же декабре фирма Navigation Brilliance, расположенная в Циндао, заказала верфи Yangfan Shipbuilding's Qindao строительство разработанного ею в кооперации с Далянским морским университетом и Китайским научно-исследовательским институтом водного транспорта небольшого БПС-контейнеровоза Zhi Fei [34]. Ранее она провела всесторонние испытания малоразмерного судна Zhi Teng, приобретя необходимый опыт создания БПС. Если испытания Zhi Fei пройдут успешно, то Navigation Brilliance намеревается разработать БПС-контейнеровоз, рассчитанный на перевозку до 10000 стандартных контейнеров.

Не только портовые власти Роттердама озабочены созданием БПС-буксира. Это же направление поддерживает и аналогичное ведомство Сингапура, в порту которого проводятся испытания буксира PSA Polaris, принадлежащего фирме PSA Marine (Сингапур) – одному из крупнейших поставщиков услуг буксировки [35]. Испытания идут в рамках проекта IntellTug («Интеллектуальный буксир»), основным исполнителем которого является компания «Вяртсиля». Кроме решения традиционных навигационных задач, «Вяртсиля» разработала новую СДП, обеспечивающую в том числе интуитивное управление движением буксира и доведение данных, вырабатываемых навигационным блоком, до движительной установки судна.

Серьезные усилия по созданию БПС-флота предпринимает Япония, полагающая, что к 2040 году 50% национальных судов будут безэкипажными, и обеспечивающая экономический эффект от их использования в 1 трлн иен (10 млрд \$). Способствуют этому и опубликованные в 2015 году данные о том, что 56% личного состава морских торговых флотов Японии, насчитывающего 20000 человек, перешагнула возрастную планку в 50 лет, а молодежь не стремится встать на вахту им на смену [36].

На первом этапе инициатива создания БПС продвигалась судостроительным кластером [37]. Так, в 2016 году компания NYK Line, специализирующаяся на перевозках насыпных грузов, начала разработку системы автоматического предупреждения столкновений для БПС, предназначенных для прибрежного плавания, и аппаратуры, интегрирующей информацию навигационных датчиков с элементами дополненной реальности. В 2018 году она же инициировала создание на основе технологии искусственного интеллекта системы поддержки плавания в прибрежных водах Японии, обеспечивающей оптимизацию маршрута судна. Ее испытания планируются в 2021 году.

В мае 2017 года компания Mitsui O.S.K. Lines (грузовые перевозки) объявила, что ее совместный с Mitsui Engineering & Shipbuilding Co. (судостроение) проект технологической концепции автоматической океанской транспортной системы выбран Министерством земли, инфраструктуры, транспорта и туризма для включения в программу FY 2017 продвижения исследований и технологий в транспортную систему страны. С целью реализации этой концепции был организован консорциум, в который, кроме названных фирм группы Mitsui, вошли Национальный морской институт, Токийский университет морских наук и технологий и судовое классификационное общество Nippon Kaiji Kyokai [38]. Первой задачей консорциума явилась разработка дорожной карты, определяющей перечень технологий, необходимых для создания БПС.

В 2018 году инициативу промышленности подхватило Министерство земли, инфраструктуры, транспорта и туризма, инициировавшее три пилотных проекта, призванных продемонстрировать [37]:

- дистанционное управление судном (головной исполнитель – NYK Line);
- автоматическое управление судном (Oshima Shipbuilding);
- автоматическую швартовку (Mitsui Engineering & Shipbuilding Co).

И результаты не заставили себя ждать. В апреле 2019 года Mitsui & Co. в кооперации с ведущей инженерной компанией Сингапура ST Engineering и классификационным обществом Lloyd's Register of Shipping (Великобритания) приступила к разработке автоматической навигационной системы для крупных торговых судов, обрабатывая ее элементы в порту Сингапура, одном из оживленнейших в мире.

Еще более впечатляющие результаты продемонстрировала NYK Line, отправившая в сентябре 2019 года принадлежащее ей судно Iris Leader водоизмещением (внимание!) 70826 т в автономное двухдневное плавание между Нагоей и Иокогамой (правда, под наблюдением экипажа) [39]. Утверждается, что это – первое БПС-испытание, проведенное в полном соответствии с требованиями Комитета по безопасности плавания ИМО, принятыми на его 101-й сессии. В процессе перехода тестировалась навигационная система SSR (Sherpa System for Real) обеспечения навигации в реальных условиях, фиксирующая по данным навигационных датчиков внешние условия плавания, оценивавшая риск столкновения и автоматически выбиравшая оптимальный маршрут и скорость экономичного движения с последующим удержанием на нем.

Наконец, Kansai Electric Power Co вместе с e5LabInc проектируют пассажирское БПС с нулевым выбросом на основе электроснабжения, предназначенное для плавания в заливе Kansai в обеспечение всемирной выставки Osaka/Kansai Expo, планируемой в 2025 году [40]. В свою очередь, e5LabInc входит в состав e5 Consortium, объединяющего семь японских фирм (среди них Mitsui O.S.K. Lines и Mitsubishi corporation) и собирающегося в 2022 году поставить на линию первый в мире безвыбросовый танкер, все системы которого питаются от литий-ионных батарей.

Странно было бы, если бы Южная Корея – лидер мирового судостроения – оказалась на задворках событий, обсуждаемых в статье. И действительно, компания Samsung Heavy Industries в октябре 2020 года начала испытания автономных навигационных технологий (для начала в режиме дистанционного управления) в районе города Кодже [41]. В процессе испытаний этой технологии с использованием буксира Samsung T-8, находящегося на расстоянии 240 км от берегового центра управления, отработывались процедуры автоматического расхождения со встречными судами и дистанционного удержания судна на предварительно проложенном маршруте путем обработки данных видеокамер, радара, АИС и приемника GPS. Испытания подтвердили возможность расхождения Samsung T-8 со всеми подвижными и неподвижными объектами на расстоянии до 1 км от него, в процессе которого планируемый маршрут корректируется с помощью технологии искусственного интеллекта без нарушения правил COLREGs.

### Концептуальные вопросы навигации БПС

Все ранее изложенное никак не учитывало тот факт, что, во-первых, на настоящий момент класс БПС никак не легализован в системе мировой юриспруденции, в силу чего до сих пор нет ответа на вопрос, кто будет покрывать и в соответствии с какими нормами убытки в случае инцидента с участием БПС (и этот вопрос, учитывая тематику статей журнала «Гироскопия и навигация», не будет обсуждаться в данной статье). Во-вторых, навигация БПС будет осуществляться на водных путях, насыщенных судами обычными, плавающими в соответствии с правилами COLREGs, к тому же под управлением судоводителей, применительно к которым влияние человеческого фактора никто еще не отменял.

Именно эта проблема обсуждается в работе [42], автор которой задается следующими очевидными вопросами. Нужно ли при этом модифицировать правила COLREGs, а если нет, то достаточны ли они для обеспечения безопасности плавания БПС? Следует ли маркировать такие суда какими-либо знаками, оповещающими о том, что они не имеют экипажа?

Первый вопрос порожден тем фактом, что правила эти написаны достаточно общо, чтобы охватить как можно больше ситуаций в морских условиях, и их интерпретация программистом, пишущим код для системы навигации БПС, отнюдь не тривиальна.

Так, правило 2, регулирующее ответственность за невыполнение рекомендаций COLREGs, требует при расхождении судов соблюдения процедур «обычной морской практики» и допускает необходимость отступить от требований COLREGs «для избежания непосредственной опасности». Иначе говоря, если необходимо, все правила нарушить можно. И главное, вместо того чтобы определить числом и мерой

условия расхождения судов, предлагается опираться на «обычную морскую практику», определение которой в COLREGs отсутствует.

Правило 15 гласит («МППСС-72», русский аналог COLREGs): «Когда два судна... идут пересекающимися курсами так, что возникает опасность столкновения, то судно, которое имеет другое на своей правой стороне, должно уступить дорогу другому судну и при этом оно должно, если позволяют обстоятельства, избегать пересечения курса другого судна у него по носу». Естественно, что оценку ситуации столкновения можно сделать лишь в предположении, что встречное судно будет идти постоянным курсом и с постоянной скоростью, но мы никогда не знаем о его намерениях. Знаем лишь, что вероятность столкновения повышается, если пеленг на него длительное время не изменяется.

О том, как именно нужно уступить дорогу другому судну, говорит правило 16. Оно должно, «насколько это возможно, предпринять заблаговременное и решительное действие с тем, чтобы «чисто» разойтись с другим судном». Очевидно, что для программиста понятие «заблаговременно» без указания миль или времени и «решительно» без констатации величины изменения курса или скорости – абсолютно бессмысленные требования. Более того, действия по расхождению существенным образом зависят от обстоятельств. Одно дело разойтись с одиночным судном в открытом море, другое – расходиться в кишасем судами узком Малаккском проливе.

Следующая проблема при разработке БПС-алгоритмии возникает в силу необходимости взаимодействия таких судов с судами обычными. В то время как первые будут сравнивать всю поступающую с датчиков информацию со статистической оценкой происходящего, капитан встречного судна будет использовать свои когнитивные способности и предпочтет довериться скорее визуальным наблюдениям, чем данным радара или электронной карты.

Из сказанного следует, что с точки зрения программистов размытые требования COLREGs должны быть дополнены милями, угловыми секундами и минутами. Это, естественно, упростит программирование, но приведет к чрезвычайно пространному изложению правил, к тому же все равно не охватывающему все возможные ситуации расхождения судов.

Один из путей решения задачи состоит в том, чтобы, опираясь на данные AIS и используя глубокое моделирование, обучить систему эффективному маневрированию при расхождении судов с учетом существующих требований COLREGs. Возможно, такое машинное обучение с применением идей искусственного интеллекта целесообразно проводить прямо на борту судна, что будет способствовать совершенствованию решения задачи расхождения от года к году. При этом вряд ли ИМО допустит проведение на борту такой процедуры, пока она не прошла предварительной сертификации.

Существенным является и следующий момент. Очевидно, что действия БПС при расхождении должны быть предсказуемы и прозрачны для экипажа обычных судов. Тем более что человеку свойственно проецировать человеческие черты, эмоции и намерения на других существ. В связи со сказанным автор обсуждаемой статьи [42] считает необходимым, чтобы БПС имели специальный опознавательный знак, который бы отображался при выводе через AIS данных о нем на ЭКНИС или радар. Тем не менее одно это не решит всех проблем. Можно было бы предположить, что если навигационная система такого судна обеспечивает выполнение требований

COLREGs, то его действия будут абсолютно предсказуемы, однако в статье показано, что в условиях плохой видимости это не так.

И тут на первый план выходит необходимость знания при расхождении намерений встречного судна, причем это касается как БПС, так и судов с экипажем. В противном случае COLREGs вряд ли спасет ситуацию. Именно знание, как встречное судно намеревается маневрировать, позволяет корректно интерпретировать правила расхождения судов. Что может этому способствовать?

Начнем с того, что все суда, подчиняющиеся требованиям SOLAS, обязаны транслировать через AIS данные о своем положении и параметрах движения. Далее, все они легко сопровождаются радаром и следуют в соответствии с созданным заранее предварительным маршрутом. Целый ряд выполненных и разрабатываемых под эгидой ИМО проектов в рамках реализации концепции e-Навигации (e-Navigation, [43]), например EfficienSea, ACCSEAS, MonaLisa, SMART Navigation, SESAME и STM, анализируют эти маршруты и оптимизируют их в части эффективности и безопасности. Предполагаемый при этом обмен маршрутами позволяет оценить намерения судов задолго до того, как они войдут в зону, где их движение должно подчиняться требованиям COLREGs. В частности, все окружающие суда будут иметь информацию о грядущих точках поворота участников движения.

Подводя итоги, можно отметить следующее. Важнейшим элементом взаимодействия судов обычных и под автоматическим управлением является предсказуемость маневрирования последних. Размещение на борту БПС системы, использующей искусственный интеллект, приведет к тому, что она будет действовать «умнее» обычного судоводителя, будет способна «заглядывать в будущее» и, как следствие, действовать необычным для «стандартного» судоводителя образом. Вместо этого желательно, чтобы такая система действовала «человекоподобным» образом.

Такая «прозрачность» функционирования системы предполагает следующее:

- она информирует окружающих о том, что работает в автоматическом режиме (специальный символ);
- сообщает об оцениваемой ею обстановке (какие суда она сопровождает и какие нет);
- выдает данные о предполагаемых ею маневрах.

Только если другие судоводители будут понимать действия БПС, будет возможно их мирное сосуществование.

Более того, кроме корректировки COLREGs потребуются изменение и как минимум следующих документов [37]:

- Конвенции ООН по морскому праву (The UN Convention on the Law of the Sea), которая определяет права и обязанности при навигации судна (о чем упоминалось ранее) и в которой отсутствует понятие БПС;
- Международной конвенции по спасению жизни на море (The International Convention for the Safety of Life at Sea – SOLAS), устанавливающей стандарты, отвечающие требованиям по безопасности при постройке, оборудовании и эксплуатации судов, которые применительно к БПС должны быть существенно изменены;
- Международной конвенции о подготовке и дипломировании моряков и несении вахты (The International Convention on Standards of Training, Certification, and Watchkeeping for Seafarers), которая, казалось бы, не имеет отношения к БПС, но не следует забывать, что пусконаладочные работы и сдачу таких судов заказчику будут осуществлять не роботы, а люди;

- Международной конвенции по предотвращению загрязнения с судов (The International Convention for the Prevention of Pollution from Ships), которая должна предусматривать и соответствующие ограничительные меры по загрязнению водных пространств и для БПС.

Порядок взаимодействия БПС и обычных судов обсуждается и в работе [44]. Предлагается, во-первых, воспользоваться предложением ИМО в рамках концепции e-Навигации о возложении на АИС функции трансляции окружающим плавсредствам и центрам управления их движением данных о маршруте судна, что, безусловно, упростит решение задачи расхождения БПС со встречными судами. И во-вторых, воспользоваться существующей под эгидой ИМО системой разделения движения судов при плавании в стесненных водах, выделив для БПС хотя бы в океанской зоне персональные полосы движения на стандартных маршрутах.

Концепции концепциями, но большой интерес вызывают и работы, обсуждающие технологию внедрения их в практику. Ранее уже неоднократно упоминалось, что целый ряд фирм используют в своих продуктах методы искусственного интеллекта, никак не конкретизируя полученные при этом результаты. Разительным примером противоположного подхода к проблеме является статья Гленна Райта (Glenn Wright) [44], в которой излагается решение задачи интегрирования датчиков, обеспечивающих автономную навигацию судна, на основе теории искусственного интеллекта с применением машинного и глубокого обучения.

На первом этапе в статье рассматриваются требования к составу навигационных датчиков, обеспечивающему навигацию судна без какого-либо участия человека и гарантирующему прежде всего безопасное плавание, которое с 1972 года регламентируется COLREGs.

Согласно правилу 5, «каждое судно должно постоянно вести надлежащее визуальное и слуховое наблюдение, так же как и наблюдение с помощью всех имеющихся средств, с тем чтобы полностью оценить ситуацию и опасность столкновения». Одновременно требуется корректно использовать данные от радара и средств радиолокационной прокладки или прочих устройств, обеспечивающих постоянное наблюдение за выявленными объектами, и исключить при принятии решения использование неполной информации (правило 7).

Естественно, что эти правила были написаны для судна с экипажем, который опирался при принятии решений на свои органы восприятия внешней обстановки и имеющийся опыт, а также учитывал данные эхолота, радара, САРП, АИС, ЭКНИС и ГНСС. Применительно же к БПС этого явно недостаточно.

В последнем случае необходимо привлекать данные всей номенклатуры датчиков, которые характеризуют состояние надводной и подводной среды и существенно превосходят при этом визуальное и слуховое наблюдение судоводителей. Одновременно необходимо иметь возможность наблюдать подводную обстановку хотя бы впереди судна, чтобы избежать столкновений с объектами, отсутствующими на картах, которые зачастую были составлены десятилетия назад.

В связи с изложенным для обеспечения навигации БПС, как утверждается в статье, в дополнение к конвенционному оборудованию (гиро- и магнитный компасы, лаг, приемник ГНСС и т.д.) целесообразно использовать:

- ИИМ;
- лидары;

- миллиметровый радар;
- видео- и инфракрасные камеры;
- микрофоны;
- гидролокатор кругового обзора.

Своеобразным элементом подхода автора статьи [44] к обработке информации от датчиков является не только применение теории искусственного интеллекта, но и разделение ее на три области – частотную, временную и пиксельную. К последней, естественно, относятся измерения, поступающие от визуальных датчиков. Вместе с тем информация, снимаемая с радаров, лидаров и гидролокатора, анализировалась во временной и частотной областях, а после обработки превращалась в пиксельное представление.

Следующей отличительной чертой применявшейся технологии являлось интегрирование не только данных, снимаемых с датчиков, но и информации, содержащейся в навигационных картах и поступающей в навигационных извещениях мореплавателям, а также данных о течениях и приливах.

Испытания разработанной алгоритмии проводились на 10-метровом исследовательском судне на трассе длиной 11 морских миль в Чесапикском заливе (Chesapeake Bay) на восточном побережье США. На судне были дополнительно к стандартным установлены следующие навигационные средства:

- приемоиндикатор GP-37 фирмы Furuno, принимающий сигналы GPS с вводом дифференциальных поправок от системы WAAS, формирующей дифференциальные поправки к GPS-измерениям;
- радар 1954 С фирмы Furuno с функцией САРП;
- цветной видеоплоттер GD-1920С той же Furuno;
- АИС ICOM MA-500Т класса В;
- гидролокатор путевого обзора EchoPilot3D;
- эхолот Lowrance HD35;
- тепловизионная камера FLIR MD-625;
- видеокамера Hikivision 8MP для съемки при ультранизкой освещенности.

Обмен информацией осуществлялся по шине NMEA 0183 с выводом соответствующих данных на видеозапись с выполнением всех вычислительных процедур на четырехъядерном ноутбуке фирмы Dell Inspiron.

В статье [44] приведены следующие отличительные черты некоторых реализованных процедур. Нейронная сеть, предназначенная для обнаружения судов и наземных ориентиров и их классификации, обучалась без учителя. Для распознавания буев и береговых ориентиров использовалась процедура обработки данных тепло- и видеокамер в поле зрения  $60^\circ$ , которое могло быть преобразовано для повышения качества в поле  $17^\circ$ . Информация от радара обрабатывалась с использованием глубокого обучения до ее преобразования в пиксельную форму, при этом анализировались частота, амплитуда и фаза сигнала.

Каковы же результаты эксперимента? При использовании исходной нейронной сети архитектуры Res-Net50 вероятность обнаружения и классификации береговых ориентиров была не ниже 0,93, при переходе на сверточную сеть эта цифра возросла до 0,98. Дальнейшее повышение эффективности работы сверточной нейронной сети было обеспечено за счет введения в нее слоев, специально предназначенных для распознавания судов и ориентиров. Исходная сверточная сеть обладала архитекту-

рой AlexNet и при обработке пиксельных данных имела 27 слоев, а при обработке временных и частотных – 29.

Все береговые ориентиры по трассе были корректно идентифицированы как по типу (церковь, маяк, здание и т.д.), так и по характеристике (красный, зеленый, числа, буквы и т.д.). Правильная идентификация буев имела место в 18 случаях из 27, а также для трех судов, местоположение которых было достоверно определено по данным радара.

Выбор маршрута осуществлялся в соответствии с конструктивными особенностями судна и предварительной прокладкой с учетом топографии дна по данным путевого гидролокатора, что в трех случаях потребовало несколько отклониться от предварительного курса.

Резюмируя результаты испытаний, автор отмечает следующее. Проблема с идентификацией буев имела место в том случае, когда он периодически выходил из поля зрения камер в силу своего вращения. Пониженная эффективность системы имела место и при работе по малым надводным объектам, демонстрирующим хаотическое движение с непредсказуемым изменением курса и скорости.

### Технологии БПС на службе ВМФ

Технологии, развиваемые в рамках проектирования БПС, не могли не привлечь внимания военных моряков. И первыми морскими объектами, где они нашли применение, стали катера. Программы создания безэкипажных катеров имеет целый ряд зарубежных стран, среди которых в первую очередь следует выделить США, Германию, Израиль, Сингапур, Великобританию и Францию.

На первом этапе ими разрабатывались небольшие дистанционно управляемые катера в помощь малым кораблям в защите прибрежной зоны, благо производство их обходится дешевле строительства катеров береговой охраны, да и отсутствие экипажа дает существенную экономию [45]. В США первый такой катер типа Fleet (рис. 5) был передан ВМФ корпорацией «Дженерал Дайнемикс» (General Dynamics) в 2008 году.



Рис. 5. Катер береговой охраны Fleet

В 2010 году DARPA (Управление перспективных исследований и разработок МО США) запустила проект ACTUV (Antisubmarine Warfare Continuous trail Unmanned Vessel – противолодочный корабль непрерывного слежения), в рамках которого фирмой Leidos был создан тримаран «Морской охотник» (Sea Hunter) [46]. Дрон длиной 40 м, развивающий скорость до 27 уз. и обладающий дальностью плавания 10000 миль, как сообщалось в январе 2019 года, совершил безэкипажный переход по маршруту Сан-Диего – Перл-Харбор (Гавайи) – Сан-Диего общей протяженностью 5200 морских миль.

В последнее время и в этой области на передовые позиции выдвигается Китай [47]. В 2018 году в Южно-Китайском море были проведены испытания роя из 56 ма-

лоразмерных безэкипажных катеров, которые демонстрировали разнообразные фигуры и уверенно обходили препятствия. В ближайшее время ожидается принятие на вооружение ударного катера JARI-USV длиной 15 м, развивающего скорость 42 уз., имеющего дальность плавания 500 миль и способного, в зависимости от комплектации установленного на нем вооружения, бороться с подводными, надводными и воздушными целями.

Овладев технологиями производства катеров, США в 2020 году ринулись покорять следующие диапазоны тоннажа боевых кораблей. Первым делом ВМФ США подписал контракт с фирмой L3 Harris Technologies на создание прототипа среднего надводного безэкипажного корабля (Medium Unmanned Surface Vehicle – MUSV), выделив на него 35 млн \$ [48]. Образец такого корабля длиной до 60 м и водоизмещением 500 т, предназначенного для выполнения разведывательных операций, должен выйти на испытания в начале 2022 года. Всего предполагается построить 40 таких кораблей.

Практически одновременно в сентябре 2020 года ВМФ США выделил шести американским компаниям, среди которых хорошо известные Huntington Ingalls (единственный строитель атомных авианосцев США), Lockheed Martin, Fincantieri Marinette Marine (обе строят корабли прибрежной зоны), по 7 млн \$ на разработку большого надводного безэкипажного корабля (Large Unmanned Surface Vehicle – LUSV) [49]. Одновременно предусмотрен опцион в 59 млн \$ на строительство прототипа корабля той компании, которая победит в конкурсе на его создание. Предполагается, что водоизмещение корабля, представляющего серьезную боевую единицу, будет в диапазоне 1000–2000 т.

Еще один проект инициировало управление DARPA, выделившее фирме Applied Physical Science 14 млн \$ на разработку технологии безэкипажного снабжения удаленных военно-морских баз США [50]. Предполагается создание безэкипажных средних кораблей, объединяемых в своеобразные «морские поезда». Корабли при этом будут двигаться вплотную друг за другом без сочленения, что позволит экономить расход топлива благодаря снижению гидродинамического сопротивления. Аналогичный контракт на первый этап разработки стоимостью 9,5 млн \$ на конкурсной основе DARPA заключила с кораблестроительной компанией Gibbs&Cox, имеющей наработки в этой сфере [51].

Ведутся разработки безэкипажных катеров и в России. Так, на VIII Международном военно-морском салоне в 2017 году демонстрировался катер «Искатель» (рис. 6), созданный АО «НПП «Авиационная морская электроника» (НПП «АМЭ») и прошедший морские испытания в 2016 году [52].



Рис. 6. Катер «Искатель»

Собственно НПП «АМЭ» разрабатывало электронную начинку катера и интегрировало проект в целом, корпус был создан фирмой «Нептун», а радиолиния связи – КБ «Луч». Катер имеет длину 8,4 м и развивает скорость полного хода 25 уз., а его оптико-электронная система наблюдения способна обнаруживать и сопровождать надводные объекты на дальности до 5 км.

## БПС в Российской Федерации

В России к развитию БПС-технологий в интересах торгового флота всерьез приступили лишь в 2016 году, когда в рамках Национальной технологической инициативы была сформирована рабочая группа и разработана дорожная карта «Маринет», одним из приоритетных направлений которой и явилось безэкипажное судовождение [52]. Возглавила это направление компания «Кронштадт Технологии», взяв себе в помощники Крыловский государственный научный центр и упоминавшееся ранее НПП «АМЭ». В ноябре 2018 года генеральный директор отраслевого центра «Маринет» Александр Пинский уточнил, что на данном этапе под безэкипажным судовождением следует понимать автоматическое дистанционное управление движением судов.

В отличие от зарубежных разработок, предполагающих строительство БПС «с нуля», у нас решили идти другим путем – оснащать уже построенные суда необходимым комплектом аппаратуры. С этой целью в сентябре 2019 года Минпромторг заключил с той же компанией «Кронштадт Технологии» контракт на «разработку единой технологической платформы безэкипажного управления морскими судами коммерческого флота различного назначения», выделив для этого 310 млн руб. [53].

Ядро этой платформы составляет среда математического моделирования движения судов с учетом всех воздействующих на них факторов, их характеристик, в том числе при решении задачи расхождения в стесненных условиях. Важнейшими составными частями платформы также являются [54]:

- среда трехмерной визуализации для придания наглядности процессу проведения испытаний судов;
- модуль реконструкции изображений и данных, получаемых сенсорами БПС с учетом погрешностей и шумов используемого оборудования;
- программный модуль алгоритмов управления БПС и его системами.

Вырабатываемые алгоритмами команды передаются модели БПС, что обеспечивает его перемещение в виртуальной среде, адекватное реальности. Эта технология, используемая при разработке БПС и его систем, позволяет резко сократить сроки их создания.

В марте 2019 году было объявлено, что эксперимент в рамках Национальной технологической инициативы готовится перейти в практическую фазу [55]. В проекте участвуют:

- ПАО «Совкомфлот», которое выделило для этого танкер «Михаил Ульянов», курсирующий между Мурманском и платформой «Приразломная»;
- ООО «Пола Райз», предоставившее сухогруз «Пола Анфиса», плавающий в акватории Черного моря;
- ФГУП «Росморпорт», заявившее спарку из грунтоотвозной самоходной баржи «Рабочая» и земснаряда «Редут», ведущих дноуглубительные работы в порту «Кавказ».

Примечательно, что были выбраны суда трех типов, работающие в разных регионах страны. Только в этом случае окажется возможным проверить эффективность разрабатываемой компанией «Кронштадт Технологии» платформы. В ноябре 2020 года были оглашены данные о работах, ведущихся «Росморпортом» [56]. На земснаряде «Редут» установлен пульт дистанционного управления баржей «Рабочая», на которой, в

свою очередь, установлен соответствующий комплект аппаратуры, разработанной в процессе создания единой технологической платформы. В процессе испытаний планируется отработать процедуру перемещения баржи от района дноуглубительных работ до отстоящего от нее на 30 км морского отвала. Вначале в режиме дистанционного управления, а со временем – и в автоматическом.

Поскольку важность перехода к эксплуатации БСП очевидна, 05.12.2020 было подписано постановление Правительства РФ о проведении до 31.12.2025 экспериментов по эксплуатации БПС в 11 регионах страны [57]. По их результатам предполагается организация Минпромторгом производства устанавливаемых на судах систем дистанционного и автоматического управления.

Среди упомянутых регионов и Санкт-Петербург с Ленинградской областью, где уже готовят тестовые акватории для испытаний БПС [58]. Они создаются совместными усилиями Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова и Администрации Волго-Балтийского бассейна. Один полигон создается на Ладожском озере, а второй – в акватории Невы. Наиболее важный из них – ладожский площадью около 70 квадратных морских миль. Район имеет достаточные глубины, необходимое навигационное оборудование, картографическое покрытие актуализированными электронными навигационными картами и сотовую связь.

## Выводы

Подводя итоги изложенному, можно констатировать следующее:

- существующий уровень вычислительных, навигационных и связных средств обеспечивает возможность создания БПС;
- значимое число БПС с дистанционным управлением скорее всего появится в ближайшие 10-15 лет, а способных плавать в автоматическом режиме – через 15-20;
- БПС-автоматы окажутся эффективными лишь в случае использования при их создании методов теории искусственного интеллекта с применением машинного и глубокого обучения;
- IMO необходимо в кратчайшие сроки разработать/откорректировать документы, которые не только легализовали бы само наличие БПС, но и обеспечили их безаварийное сосуществование с судами экипажными.

Подтвердить или опровергнуть суждения автора данной статьи может только время.

## ЛИТЕРАТУРА

1. [en.wikipedia.org/wiki/Mayflower](https://en.wikipedia.org/wiki/Mayflower)
2. <https://www.rivieramm.com/news-content-hub/ibm-technology-enables-transatlantic-autonomous-ship-voyage-56527>
3. [businessinsider.com/ibm-transatlantic-autonomous-research-vessel-ship-across-atlantic-ocean-mayflower-2020-9?r=US&IR=T](https://businessinsider.com/ibm-transatlantic-autonomous-research-vessel-ship-across-atlantic-ocean-mayflower-2020-9?r=US&IR=T)
4. [newsroom.ibm.com/2020-03-05-Sea-Trials-Begin-for-Mayflower-Autonomous-Ships-AI-Captain](https://newsroom.ibm.com/2020-03-05-Sea-Trials-Begin-for-Mayflower-Autonomous-Ships-AI-Captain)
5. [webarchive.nationalarchives.gov.uk/20150205102001/http://www.maib.gov.uk/publications/annual-reports/annual\\_report\\_2005.cfm](https://webarchive.nationalarchives.gov.uk/20150205102001/http://www.maib.gov.uk/publications/annual-reports/annual_report_2005.cfm)
6. <https://www.agcs.allianz.com/news-and-insights/expert-risk-articles/human-error-shipping-safety.html>
7. <https://neuronus.com/stat/101-britantsy-nachali-razrabotku-bezekipazhnykh-gruzovykh-sudov.html>

8. [www.unmanned-ship.org/munin/wp-content/uploads/2016/02/MUNIN-final-brochure.pdf](http://www.unmanned-ship.org/munin/wp-content/uploads/2016/02/MUNIN-final-brochure.pdf)
9. <https://www.marketscreener.com/quote/stock/ROLLS-ROYCE-HOLDINGS-PLC-4004084/news/Rolls-Royce-AAWA-project-introduces-the-project-s-first-commercial-ship-operators-22156271/>
10. <https://www.rolls-royce.com/~media/Files/R/Rolls-Royce/documents/customers/marine/ship-intel/aa-wa-whitepaper-210616.com>
11. **Sheridan, T.B., and Verplank, W.L.**, Human and Computer Control of Undersea Teleoperators. MIT Man-Machine Systems Laboratory, Cambridge, MA, Tech. Rep., 1978.
12. <https://www.marineinsight.com/shipping-news/rolls-royce-unveils-vision-of-future-of-remote-autonomous-shipping>
13. <https://www.rolls-royce.com/media/press-releases/2018/17-05-2018-rr-and-finferries-sign-cooperation-agreement-to-optimize-ship-safety-and-efficiency.aspx>
14. <https://www.seanews.com.tr/rolls-royce-and-finferries-demonstrate-world-s-first-fully-autonomous-ferry/180784/>
15. <https://www.maritime-executive.com/article/waertsilae-conducts-autonomous-ferry-voyage-and-docking>
16. <https://www.kongsberg.com/maritime/about-us/news-and-media/news-archive/2015/new-research-project-to-investigate-sensor-fusion-and-collision-avoidance-for>
17. [ntnu.edu/autosea/approach](http://ntnu.edu/autosea/approach)
18. [ntnu.edu/amos/autosea](http://ntnu.edu/amos/autosea)
19. <https://www.sintef.no/projectweb/hull-to-hull/>
20. <https://rus-shipping.ru/ru/law/news/?id=34350>
21. <https://www.thedigitalship.com/news/electronics-navigation/item/5797-autonomous-ship-discussion-continue-at-imo>
22. <https://rin.org.uk/news/458688/IMO-moves-toward-on-e-navigation-standards-and-autonomous-ships.htm>
23. [trimis.ec.europa.eu/entityprint/node/34904](http://trimis.ec.europa.eu/entityprint/node/34904)
24. [autoship-project.eu/the-project/](http://autoship-project.eu/the-project/)
25. [aegis.autonomous-ship.org](http://aegis.autonomous-ship.org)
26. [maritimejournal.com/news101/industry-news/rolls-royce-aawa-project-unveiled](http://maritimejournal.com/news101/industry-news/rolls-royce-aawa-project-unveiled)
27. <https://www.kongsberg.com/maritime/about-us/news-and-media/news-archive/2020/first-adaptive-transit-on-bastofosen-vi>
28. [www.gard.no/web/updates/content/27107214/maritime-autonomous-surface-ships-on-the-horizon](http://www.gard.no/web/updates/content/27107214/maritime-autonomous-surface-ships-on-the-horizon)
29. [aiare.ru/yara-birkeland-perviy-elektricheskiy-avtonomniy-konteinerovoz/](http://aiare.ru/yara-birkeland-perviy-elektricheskiy-avtonomniy-konteinerovoz/)
30. <https://marinelink.com/news/tug-sails-using-ai-route-planner-481869>
31. <https://www.rivieramm.com/news-content-hub/kotug-passes-key-autonomous-vessel-milestone-61051>
32. <https://www.rivieramm.com/news-content-hub/development-begins-on-an-autonomous-planing-vessel-60958>
33. <https://www.rivieramm.com/opinion/opinion/china-achieves-autonomous-shipping-milestones-57333>
34. <https://worldcargonews.com/news/news/300-teu-autonomous-vessel-from-navigation-brilliance-63569>
35. <https://www.rivieramm.com/news-content-hub/psa-marine-takes-defining-step-on-autonomous-tug-journey-56743>
36. <https://www.nasdaq.com/articles/autonomous-shipping%3A-trends-and-innovators-in-a-growing-industry-2020-02-18>
37. [nyk.com/english/news/2018/20180810\\_01.html](http://nyk.com/english/news/2018/20180810_01.html)
38. <https://www.mol.co.jp/en/pr/2017/17031.html>
39. [vesseltracker.com/en/Ships/Iris-Leader-9748019.html](http://vesseltracker.com/en/Ships/Iris-Leader-9748019.html)
40. <https://www.rivieramm.com/news-content-hub/japan-to-develop-autonomous-electric-passenger-vessels-61739>
41. <https://www.rivieramm.com/news-content-hub/samsung-tests-autonomous-ship-technology-on-tug-61383>
42. **Porathe, T.**, Maritime Autonomous Surface Ships (MASS) and the COLREGS: Do We Need Quantified Rules Or Is “the Ordinary Practice of Seamen” Specific Enough?, *TransNav*, 2019, vol. 13, no. 3.
43. **Ривкин Б.С.** е-Навигации - десять лет // *Гироскопия и навигация*. 2015. №4. С. 173–191.
44. **Wright, G.R.**, Intelligent Autonomous Ship Navigation using Multi-Sensor Modalities, *TransNav*, 2019, vol. 13, no. 3.
45. **Русин А.С. и др.** Тенденции развития безэкипажных катеров // *Судостроение*. 2013. №3. С. 15–17.
46. <https://www.prnewswire.com/news-releases/sea-hunter-reaches-new-milestone-for%E2%80%93autonomy-300787858.html>

47. [https://vpk.name/news/458320\\_strana\\_mificheskikh\\_drononoscev.html](https://vpk.name/news/458320_strana_mificheskikh_drononoscev.html)
  48. <https://www.militaryaerospace.com/unmanned/article/14179511/unmanned-surface-vessel-intelligence>
  49. <https://www.navaltoday.com/2020/09/08/six-companies-get-us-navy-studies-contracts-for-large-unmanned-surface-vessels/>
  50. <https://www.militaryaerospace.com/unmanned/article/14183309/unmanned-ships-cross-oceans>
  51. [naked-science.ru/article/tech/morskie-poezda](https://naked-science.ru/article/tech/morskie-poezda)
  52. [bfm.ru/news/457967](https://bfm.ru/news/457967)
  53. [rbc.ru/technology\\_and\\_media/22/09/2020/5f6371ee9a79470b5ab578e5](https://rbc.ru/technology_and_media/22/09/2020/5f6371ee9a79470b5ab578e5)
  54. Фролов В.Н. и др. Технологии безэкипажного судовождения // Транспорт Российской Федерации. 2018. №4. С. 17–21.
  55. <https://www.rspectr.com/articles/495/korabli-bez-ekipazhej-vyjdut-v-more-letom>
  56. [https://vpk.name/news/463790\\_rosmorport\\_nachal\\_ispytaniya\\_po\\_proektu\\_bezekipazhnogo\\_sudovozhdeniya.html](https://vpk.name/news/463790_rosmorport_nachal_ispytaniya_po_proektu_bezekipazhnogo_sudovozhdeniya.html)
  57. [portnews.ru/news/305932](https://portnews.ru/news/305932)
  58. [portnews.ru/news/294726/](https://portnews.ru/news/294726/)
- 

**Rivkin, B.S.** (Concern CSRI Elektropribor, JSC, St. Petersburg, Russia)

Unmanned Ships: Navigation and More, *Giroskopiya i Navigatsiya*, 2021, vol. 29, no. 1 (112), pp. 111–132.

**Abstract.** The paper briefly overviews the development of unmanned surface ship technology over the last 20 years. Main problems of their navigation equipment and algorithms, and their compliance with the International Maritime Organization requirements are discussed.

**Key words:** surface ships, navigation safety, COLREGs, SOLAS, navigation, collision avoidance, radar, LIDAR, video camera.

Материал поступил 28.12.2020