

# Технологии безэкипажного судовождения



**В. Н. Фролов,**  
генеральный  
директор  
АО НПП «АМЭ»



**В. Ю. Севбо,**  
к. т. н.,  
генеральный  
конструктор  
АО НПП «АМЭ»



**И. Е. Ануфриев,**  
к. ф.-м. н., доцент,  
заместитель генерально-  
го конструктора  
по информационно-  
управляющим системам  
АО НПП «АМЭ»

Технологии беспилотного управления транспортными средствами активно разрабатываются во всем мире. В статье рассматривается комплекс вопросов безэкипажного судовождения и приводятся области применения безэкипажных судов.

## Актуальность безэкипажного судовождения

Автоматизация проникает в сферы человеческой деятельности по нескольким причинам: вследствие экономической целесообразности, повышения эффективности и безопасности выполнения различных операций. Судовые компании постоянно работают над оптимизацией эксплуатационных расходов, так как почти половина из них приходится на содержание экипажей судов [1]. Существенную роль на безопасность судовождения оказывает «человеческий фактор», хотя повсеместно используются технологии автоматизации судовождения. Так, по данным одного из крупнейших финансово-страховых концернов Allianz Global Corporate & Specialty AG стоимость убытков в результате ошибок экипажа при морских перевозках в 2017 г. составила 1,6 млрд долларов [2].

Современная автоматизация судовождения позволяет осуществлять переход в открытом море в хорошую погоду с минимальным составом вахты. Для этого используются системы полуавтоматического управления судном типа Track Control System. Кроме процессов навигации автоматизирована работа энергетической установки, палубных механизмов и грузовых операций, а некоторые действия выполняются без участия человека.

Автоматизация судовождения и судовых операций дает возможность уменьшить количество членов экипажа, что способствует оптимизации и удешевлению конструкции судна: нужно меньше помещений с системами жизнеобеспечения. Новой эпохой станет безэкипажное судовождение, которое призвано существенно снизить экономические издержки и повысить эффективность и безопасность морских или речных перевозок.

Проблемы безэкипажного судовождения привлекают внимание мирового сообщества. В июне 2018 г. в Амстердаме прошел симпозиум Autonomous

Ship Technology, объединивший представителей ведущих компаний морской индустрии, ученых и исследователей. Недавно завершился проект Maritime Unmanned Navigation through Intelligence in Networks (MUNIN), координируемый Центром морской логистики Фраунгофера. В рамках MUNIN, консорциум научных и промышленных организаций разработал концепцию безэкипажного судна (БЭС), управляемого бортовой автоматикой под контролем берегового центра. Были предложены решения для автономного мостика и машинного отделения, берегового центра и коммуникации судна с ним [3].

Работу над безэкипажным судовождением ведут многие развитые страны<sup>1</sup>, среди них масштабностью проектов выделяется Норвегия. Так, например, мировой лидер в области морских технологий Kongsberg совместно с компанией Yara строят автономный контейнеровоз YARA Birkeland дедвейтом 3200 т для экологически чистых перевозок у берегов Норвегии. На 2019 г. запланировано тестирование судна, а на 2020 г. — первые безэкипажные перевозки. На протяжении пути судно будут контролировать три береговых центра. Синергетический эффект уникальных технологий Kongsberg и полуторавекового опыта компании Wilhelmsen призвана реализовать норвежская компания Massterly, организованная в начале 2018 г. Сфера ее деятельности — создание инфраструктуры для проектирования и эксплуатации судов, а также передовые логистические решения, связанные с морскими автономными операциями, в частности с эксплуатацией YARA Birkeland. Компания Kongsberg в сотрудничестве с Bastø Fosen AS развивает автоматизированную паромную переправу между городами Хортен и Мосс. Тестирование автоматизи-

<sup>1</sup> Последующий материал раздела основан на сведениях, представленных на интернет-ресурсах разработчиков безэкипажных систем.



Рис. 1. Многофункциональный роботизированный комплекс АО НПП «Авиационная и морская электроника»

зированной системы плавания и швартовки запланировано в текущем году.

Компания Kongsberg не только участвует в совместных проектах, но и создала небольшой, менее двух метров длиной, дистанционно управляемый безэкипажный катер (БЭК) GeoSwath 4R для батиметрических измерений. Дальность управления составляет 1,5 км, скорость хода до четырех узлов, энергии аккумуляторов хватает на 2,5 ч непрерывной работы.

Норвежская компания Maritime Robotics разработала БЭК Mariner длиной около шести метров для морских исследований, который может нести различную полезную нагрузку. Максимальная скорость катера составляет 35 узлов. Катер и специализированное бортовое оборудование управляются по радиоканалу, оператору доступна вся навигационная информация и данные о техническом состоянии агрегатов катера. Для решения схожих задач в закрытых водах Maritime Robotics предлагает дистанционно управляемый катер длиной два метра с электрическими двигателями, получающими питание от аккумуляторных батарей. Еще одна заслуживающая внимание разработка компании — полностью автономный волновой глайдер, оснащенный солнечными батареями, который может применяться для мониторинга, что подтверждается пройденным им миллионом морских миль.

Наряду с Норвегией образцы БЭК и БЭС демонстрируют США, Франция, Китай, Израиль и Россия. Обратимся

к нашему опыту в области безэкипажных технологий.

В 2016 г. АО НПП «Авиационная и морская электроника» представило многофункциональный роботизированный комплекс на базе БЭК «Искатель» (рис. 1). Комплекс оснащен курсовой видеокамерой, гиросtabilизированной обзорно-поисковой системой, опускаемым гидролокатором бокового обзора, а также выносной системой технического зрения на базе квадрокоптера. В зависимости от полезной нагрузки комплекс может решать различные задачи: мониторинг морской среды, помощь в поисково-спасательных операциях, поиск и обнаружение затонувших объектов, обследование подводных трубопроводов и коммуникаций, обеспечение охраны акватории. Для дистанционного управления катером и специализированным бортовым оборудованием предусмотрены два мобильных поста. Катер длиной более восьми метров может развивать скорость до 25 узлов, дальность хода составляет 300 миль, время автономной работы семь суток. Технологии безэкипажного судовождения АО НПП «Авиационная и морская электроника» планируется применить в пилотном проекте коммерческого транспортного судна.

Группа компаний «Кронштадт» ведет разработку БЭК, предназначенного для работы в акваториях вблизи береговой черты. Катер представляет собой самоходный катамаран (рис. 2) с электрической

двигательной установкой и автономной компьютерной системой. Он может применяться для геопрограммной разведки, поиска объектов на дне, в толще воды и в донных осадках, для осуществления контроля обстановки в акватории и слежения за объектами, в частности в ночное время.

Концерн «Моринформсистема-Агат» осенью 2017 г. провел испытания БЭК (рис. 3) в районе Курильских островов и в бухте Русского острова в Приморье. Во время эксперимента операторы, находясь на высоте 1,5 км в самолете Ил-114ЛЛ, удаленно управляли катером и искали в море скопления биоресурсов с помощью специальных камер.

Объединенная судостроительная корпорация совместно с Севастопольским государственным университетом выполняет разработку прототипа маломерного научно-исследовательского судна прибрежной зоны плавания с элементами безэкипажного управления движением. Проект носит название «Пионер-М», он должен быть выполнен летом 2020 г. В ходе проекта планируется провести исследование возможности имплементации инновационной методологии проектирования судна, основанной на технологии сквозной электронной модели изделия на этапах проектирования, производства и сервисного обслуживания, а также исследование и синтез цифровых радиоэлектронных систем и систем управления БЭС.

Российский федеральный ядерный центр заявил о готовности создать цифровую модель БЭС, которая позволит оптимизировать конструкцию и характеристики судов, адаптированных к конкретной области применения.

### Области применения безэкипажных судов

В отличие от беспилотных летательных аппаратов и автомобилей в судовождении безэкипажные технологии пока не нашли применения. Причины кроются в традиционном консерватизме, обусловленном повышенными мерами безопасности при перевозке большого количества людей и грузов. Селективный подход к внедряемым технологиям позволил достичь высокого уровня автоматизации судовождения благодаря использованию современных средств навигации и управления судном. И все-таки экипаж должен находиться на борту судна, хотя уровень развития технологий свидетельствует о том, что до безэкипажного или малозкипажного судовождения остался один шаг.

Грузовые БЭС, автоматически корректирующие маршрут с учетом погодных условий и умеющие швартоваться у причала, совершат революцию в области морских и речных перевозок. При этом один оператор сможет сопровождать несколько БЭС из берегового центра. Особую роль БЭС будут играть при транспортировке опасных грузов и перевозках в сложных климатических условиях.

Пассажирские лайнеры не станут полностью безэкипажными, так как на судне обязан находиться обслуживающий и медицинский персонал. Однако небольшие маршрутные и экскурсионные пассажирские БЭС представляются реальностью.

Отдельная сфера применения БЭС — поисково-спасательные операции, при которых за ограниченное время требуется осуществить поиск утопающих и обломков авиа- или кораблекрушения на достаточно большой площади. В этом будут очень полезны десантируемые на воду быстроходные небольшие БЭК. В сложных погодных условиях они смогут при помощи сенсоров быстро обнаруживать объекты на поверхности воды, передавать их координаты в оперативный штаб и осуществлять сопровождение. Обнаружив утопающего, катер подойдет к нему и выбросит надувной спасательный круг или плот с предметами первой необходимости и радиомаяком, а в условиях плохой видимости начнет подавать световые сигналы.



Рис. 2. Безэкипажный катер ГК «Кронштадт».

Группа БЭК, объединенная в интеллектуальную самоорганизующуюся сеть, станет мощным подспорьем в проведении поисково-спасательных операций.

Обеспечение безопасности прибрежных вод, портов, морских платформ и других стратегически важных объектов станет еще одной областью применения БЭК. Установленные на них сенсоры позволят быстро обнаружить объект-нарушитель и передать информацию о нем в центр управления, а при необходимости осуществить его сопровождение.

Пожарные БЭС смогут максимально близко подходить к охваченным огнем объектам и, не подвергая опасности людей, осуществлять тушение пожара и эвакуацию экипажа.

Хорошими ассистентами рыбаков станут небольшие спускаемые с борта судна БЭК, оснащенные рыбопоисковыми эхолотами и передающие информацию о скоплениях рыб на достаточном удалении от судна.

Безэкипажное судовождение найдет применение в сфере экологической безопасности. Безэкипажные суда смогут сопровождать нефтеналивные танкеры для контроля несанкционированного слива льяльных вод, а при нефтеразливах оказывать помощь в развешивании боновых заграждений и применении дисперсантов. Действуя подобно роботам-пылесосам, БЭС эффективно очистят акваторию

пляжа или порта от плавающего мусора.

Находящиеся на борту подводные автономные аппараты и беспилотные летательные аппараты (БПЛА) расширят возможности БЭС, а также радиус их действия. Например, БПЛА можно использовать для увеличения дальности связи с БЭС или для видеомониторинга обстановки в районе нахождения БЭС. Подводные аппараты будут выполнять поисковые, геологоразведочные, подледные и иные работы.

Гидрографические исследования Мирового океана, внутренних морей и рек, длительные научно-исследовательские и мониторинговые морские экспедиции и многое другое можно будет поручить БЭС, но одних технических разработок для этого недостаточно: «безэкипажность» получит путевку в жизнь только при формировании соответствующей нормативно-правовой базы.

### Нормативно-правовая база

Международная морская организация (ИМО) приступила к рассмотрению проблем безэкипажного судовождения в июне 2017 г. На 98-й сессии Комитета по безопасности на море было принято решение о включении вопросов безэкипажного судовождения в повестку дня. Согласно терминологии ИМО безэкипажные суда получили аббревиатуру MASS (от англ. Maritime Autonomous Surface



Рис. 3. Безэкипажный катер концерна «Моринформсистема-Агат»

Ships, т. е. морские автономные надводные суда). На следующей, 99-й сессии Комитета в мае 2018 г. было дано определение MASS как «судна, которое в той или иной степени может функционировать независимо от человеческого участия» и предложена следующая классификация степени автономности судов:

- судно с автоматизированными процессами и поддержкой принятия решений, на борту которого находится экипаж для приведения в действие бортовых систем и функций и контроля над ними;
- дистанционно управляемое судно с экипажем;
- дистанционно управляемое судно без экипажа;
- полностью автономное судно, бортовая система управления которого способна самостоятельно принимать решения и определять порядок действий.

На этой же сессии Комитет одобрил основу и методологию аналитического исследования по вопросам нормативного регулирования, а также план работ. Комитет учредил и утвердил на сессии экспертную группу по автономным судам для проверки проведения исследования по вопросам регулирования. В частности, были согласованы методология и порядок представления отчета на следующей сессии Комитета, запланированной на декабрь 2018 г.

Таким образом, нормативное регулирование безэкипажного судовождения находится в начальной стадии. Этот процесс неизбежно должен развиваться, так как постоянно появляются новые технологии разработки БЭС и безэкипажного судовождения.

### Безэкипажные технологии

Для автоматизации судовождения необходима развитая информационная инфраструктура, чтобы обеспечить систему навигации необходимой и своевременной информацией и предоставить БЭС возможность взаимодействовать с другими

участниками судоходства [4]. Указанная задача должна решаться в рамках e-Навигации. Безэкипажные суда должны быть оснащены АИС-транспондерами (АИС – Автоматическая идентификационная система), причем следует разработать детальную классификацию БЭС для передачи в АИС-сообщении типа судна.

Сегодня проводится разработка и внедрение новой цифровой связи VDES/ACOD в полосе очень высоких частот (ОВЧ) морской подвижной службы, которая будет отличаться улучшенными техническими характеристиками: глобальным покрытием, высокой надежностью, пропускной способностью порядка 300 кбит/с, оперативностью доведения информации, возможностью широкоэшелонных и адресных передач [5], что обеспечит эффективный информационный обмен с БЭС.

В России имеются технические возможности для внедрения БЭС на внутренних водных путях: возможность точного определения местоположения судна и передачи данных с использованием береговых и спутниковых информационных каналов. В статье [6] предложена инфокоммуникационная система, осуществляющая мониторинг и управление БЭС на всем протяжении маршрута.

Развитая информационная инфраструктура играет существенную роль в обеспечении безопасности автономных судов всех типов. С повышением степени автономности судна усложняются технологии обеспечения его безопасности. В случае дистанционно управляемого судна с экипажем при сбое системы управления или неполадках в телематическом канале связи экипаж может взять управление судном в свои руки. В отсутствие экипажа даже кратковременная потеря управления (например, во время выполнения маневра расхождения судов) может привести к катастрофическим последствиям. Поэтому системы управления БЭС должны быть максимально надежными за счет дублирования и резервирования, а при потере связи дистанционно управляемое БЭС должно начать подавать специальные сигналы, совершить предсказуемый маневр и остановиться.

Важные задачи возложены на сенсоры и датчики БЭС. Назначение сенсоров – обнаружение плавающих на поверхности воды объектов, представляющих опасность для движения, и передача соответствующей информации в центр управления. В случае полностью автономного судна алгоритмы системы управления должны

принимать решение о способе безопасного расхождения с такими объектами с учетом прогноза их поведения. Аналогичные системы требуются для обнаружения и анализа световых и звуковых сигналов, подаваемых другими участниками движения, а также маячных огней, навигационных знаков и биев. Разумеется, такие ассистирующие системы принесут пользу и в экипажном судовождении.

Мониторинг состояния механизмов и узлов БЭС или малоэкипажного судна должен осуществляться при помощи датчиков, определяющих не только стандартные технические параметры оборудования, но и косвенные, например, звуки и вибрацию (на обычном судне это дополнительная информация для принятия решения опытным судомехаником). Полученные данные должны передаваться в центр управления БЭС или малоэкипажного судна, а также служить входными данными для системы управления автономным судном.

Для малоэкипажных судов и БЭС актуальны технологии мониторинга помещений на предмет наличия воды, дыма, нештатного изменения температуры и влажности. Помещения таких судов должны быть оснащены датчиками движения, состояния дверей и люков, а также системами автоматического пожаротушения.

Создание полностью автономного судна, самостоятельно принимающего решения, невозможно без использования современных технических достижений, а также технологий компьютерного зрения, машинного обучения, искусственного интеллекта. Автоматическая система управления движением такого судна должна разрабатываться на основе робастных алгоритмов управления, способных учитывать изменяющиеся условия внешней среды.

Выше в статье было сказано, что технологии безэкипажного судовождения призваны повысить безопасность при исключении человеческого фактора: усталости, невнимательности, ошибок в расчетах. Следует отметить, что в данном случае «человеческий фактор» переносится на другой уровень – уровень разработки и проектирования БЭС. Ошибки в алгоритмах управления могут не проявиться на испытаниях БЭС, но при его эксплуатации в определенных обстоятельствах способны инициировать катастрофические последствия. Как проверить поведение БЭС в различных условиях без проведения натуральных испытаний? Для этого необходима технологическая платформа,

дающая возможность виртуализировать разработку и тестирование систем БЭС.

### Технологическая платформа разработки и тестирования безэкипажного судна

Управление технически сложными объектами всегда представляет опасность, особенно если беспилотные или безэкипажные транспортные средства находятся в среде с другими участниками движения. Поэтому при разработке и тестировании таких объектов прибегают к проведению виртуальных испытаний. Создается виртуальный мир, реализованный в виде программной среды моделирования с 3D-визуализацией. В виртуальном мире находятся другие участники движения, осуществляющие информационный обмен, в нем же имитируется работа систем управления движением. В виртуальный мир помещают модель тестируемого объекта, которая ведет себя в соответствии с физическими параметрами реального объекта, внешними условиями, алгоритмами управления объектом и результатами информационного обмена.

В области беспилотных автомобилей соответствующие решения предлагают, в частности, компании NVidia, PTV Vissim и Udacity. Для моделирования судов имеется ряд продуктов, среди которых можно выделить ShipSim3 компании Dynautics, предназначенный для моделирования безэкипажных надводных и подводных судов.

Дорожной картой НТИ «Маринет» предусмотрено создание отечественной технологической платформы для разработки технологий безэкипажного судовождения методом компьютерного моделирования в виртуальной среде. Рассмотрим составные части и структуру технологической платформы. Ее ядро составляет среда математического моделирования движения судов с учетом гидро- и аэродинамических факторов, тактико-технических характеристик судов и их взаимодействия друг с другом при прохождении на близком расстоянии, влияния узости и мелководья. Математических моделей движения судов различной сложности достаточно много, и нельзя забывать, что от точности моделирования существенно зависит эффективность виртуальных испытаний БЭС.

Следующая составная часть платформы — это среда трехмерной визуализации, придающая наглядность процессу испытаний. На трехмерных сценах, воссозданных по реальным цифровым картам, динамически отображаются поверхность воды, берег, испытываемое судно, другие

суда, морские, речные и береговые объекты. Система управления движением судном и автоматическая идентификационная система заменяются имитационными моделями, которые осуществляют информационный обмен данными с виртуальными судами по стандартизированным протоколам.

Важную часть платформы составляет модуль реконструкции изображений и данных, получаемых сенсорами и датчиками БЭС (радары, видеокамерами, видеостереопарами, тепловизорами, микрофонами, ультразвуковыми датчиками, компасом, лагом, GPS-датчиками, инерциальными навигационными системами, инклинометрами, акселерометрами и др.) при движении по трехмерной сцене. Модуль воссоздает изображения и данные по трехмерной сцене в зависимости от текущего курса виртуального БЭС, волнения, погодных условий, действий окружающих судов. При этом должны учитываться характеристики имитируемого оборудования в части погрешностей и шумов, а также эффекты, привносимые атмосферными и погодными условиями.

Изображения и данные, генерируемые в модуле реконструкции, поступают на вход программного модуля алгоритмов управления БЭС и его системами. Алгоритмы управления вырабатывают управляющие команды, которые передаются модели БЭС, заставляя ее перемещаться и совершать действия в виртуальной среде так, как это должно происходить в реальности. Такой подход используется при разработке БЭС и его систем. На этапе испытаний (сертификации) БЭС программный модуль алгоритмов управления заменяется реальным бортовым компьютером испытываемого судна. Он подключается к виртуальной среде посредством аппаратно-программного комплекса, имитирующего реальные каналы связи как на физическом уровне, так и на уровне стандартизированных протоколов обмена данными. Для корректного тестирования программное обеспечение платформы должно функционировать в режиме реального времени.

Преимущества использования платформы для разработки технологий безэкипажного судовождения методом компьютерного моделирования в виртуальной среде следующие: сокращается время разработки БЭС, снижается стоимость и уменьшаются сроки испытаний, процесс испытаний становится безопасным.

Таким образом, для успешного развития направления БЭС и безэкипажно-

го судовождения требуется системный подход, который включает в себя взаимодействие слаженных коллективов разработчиков высокой квалификации, формирование высокотехнологичной научно-производственной и испытательной базы (использование современных технологий и материалов, высоконадежных судовых узлов и агрегатов, передовых научно-технических разработок), а также корректировку существующих нормативно-правовых документов. Для того чтобы Россия заняла достойные позиции в области безэкипажного судовождения, предпринимаются необходимые действия на государственном уровне. В рамках НТИ «Маринет» предусмотрен ряд мероприятий по формированию нормативной базы и технических стандартов безэкипажного судоходства, а также разработка технологических решений в данной области. По оценкам, приведенным в Дорожной карте НТИ «Маринет», экспортный потенциал БЭС составляет до 0,5 млрд долл. США в год, не считая косвенного эффекта: приоритета России в области создания БЭС и преимущества российских судоходных компаний в использовании возможностей безэкипажного судоходства за счет опережающего внедрения стандартов и нормативной базы. ■

#### Литература

1. Дмитриев В. И., Каретников В. В. Методы обеспечения безопасности мореплавания при внедрении беспилотных технологий // Вестн. Гос. ун-та морского и речного флота им. адм. С. О. Макарова. 2017. Т. 9. № 6. С. 1149–1158.
2. Allianz Global Corporate & Specialty SE's «Safety and shipping review». 2018. — 48 p.
3. Completed Projects // Fraunhofer Center for Maritime Logistics and Services. URL: <https://www.cml.fraunhofer.de/en/researchprojects/completed-projects.html> (дата обращения 06.08.2018).
4. Пинский А. С. Е-Навигация и безэкипажное судовождение // Транспорт РФ. 2016. № 4 (65). С. 50–54.
5. Базаров Ю. И., Исмагилов М. И., Рогов А. Н. Новая морская цифровая связь для е-Навигации // Там же. 2018. № 3 (76). С. 48–54.
6. Каретников В. В., Пашенко И. В., Соколов А. И. Перспективы внедрения безэкипажного судоходства на внутренних водных путях Российской Федерации // Вестн. Гос. ун-та морского и речного флота им. адм. С. О. Макарова. 2017. Т. 9. № 3. С. 619–627.