5 [2025]
ISBN 978-5-901722-00-8
ТРАНСПОРТ. ГОРИЗОНТЫ РАЗВИТИЯ

УДК 656.6

ОЦЕНКА РИСКА И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ АВТОНОМНОГО МОРСКОГО ТРАНСПОРТА

Иванченко Анатолий Александрович[1], доктор технических наук, профессор
e-mail: prof_ivanchenko@mail.ru
Кузнецов Артем Сергеевич[1], аспирант
e-mail: kuznetcovartem2020@yandex.ru

[1] Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова, Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. В данной статье рассматриваются вопросы оценки рисков и энергоэффективности при эксплуатации автономных морских судов. На основе проекта MUNIN по разработке концепции беспилотного сухогруза проанализированы методы формальной оценки безопасности (FSA). Установлено, что внедрение автономных технологий требует комплексного подхода к обеспечению безопасности и энергоэффективности, включая сценарный анализ, систематическую идентификацию опасностей и внедрение соответствующих мер контроля рисков.

Ключевые слова: автономное судоходство, оценка рисков, энергоэффективность, идентификация опасностей, контроль рисков.

RISK ASSESSMENT AND ENERGY EFFICIENCY OF AUTONOMOUS MARITIME TRANSPORT

Anatoly A. Ivanchenko[1], Doctor of Technical Sciences, Professor
e-mail: prof_ivanchenko@mail.ru
Artem S. Kuznetsov[1], Doctoral student
e-mail: kuznetcovartem2020@yandex.ru

[1] Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, Saint Petersburg, Russia

Abstract. This paper examines the issues of risk assessment and energy efficiency in the operation of autonomous maritime vessels. Based on the MUNIN project on the development of the concept of an unmanned bulk carrier, formal safety assessment (FSA) methods are analyzed. It is established that the implementation of autonomous technologies requires an integrated approach to ensuring safety and energy efficiency, including scenario analysis, systematic hazard identification and the implementation of appropriate risk control measures.

Keywords: autonomous shipping, risk assessment, energy efficiency, hazard identification, risk control.

Введение

Автономное судоходство представляет собой динамично развивающееся направление в области морского транспорта, которое может существенно повлиять на безопасность, экономическую эффективность и экологичность морских перевозок. Проект MUNIN (Maritime Unmanned Ships through Intelligence in Networks) является одним из первых крупных исследований в этой области, направленным на разработку концепции беспилотного сухогруза дедвейтом около 50 000 тонн для межконтинентальных рейсов [1, 5].

Энергоэффективность на транспорте является одним из ключевых факторов, влияющих на экономическую целесообразность внедрения новых технологий, а также на соответствие современным экологическим требованиям [2]. Беспилотные суда имеют потенциал для значительного повышения энергоэффективности за счет оптимизации режимов движения, отсутствия необходимости в системах жизнеобеспечения экипажа и возможности более точного планирования маршрутов [6].

Однако внедрение автономных технологий требует тщательной оценки рисков и разработки новых методов обеспечения безопасности мореплавания [3]. В данной статье рассматриваются основные подходы к оценке рисков для автономных судов на примере проекта MUNIN, а также анализируются перспективы повышения энергоэффективности.

Методы оценки рисков для автономных судов

Для разработки безопасной и эффективной концепции автономного судна проект MUNIN использует метод формальной оценки безопасности (Formal Safety Analysis, FSA), рекомендованный Международной морской организацией (IMO) [1]. Структура FSA включает несколько этапов: 1) идентификация опасностей; 2) оценка рисков; 3) определение мер контроля рисков;4) оценка затрат и выгод; 5) рекомендации по внедрению.

В рамках проекта MUNIN эти этапы были адаптированы для разработки концепции автономного судна и включали в себя:

1. Построение сценариев эксплуатации
2. Модуляризацию системы и описание принципов работы
3. Выявление опасностей и контроль рисков
4. Формулирование и проверку гипотез
5. Верификацию проекта

Первым шагом в анализе безопасности автономного судна является разработка операционных сценариев в форме вариантов использования UML (Unified Modelling Language). Целью этого этапа является формирование понимания проблем, с которыми может столкнуться беспилотное судно, какие функции поддержки ему необходимы и как должны быть реализованы операционные процедуры.

В рамках проекта MUNIN были разработаны 18 основных сценариев, охватывающих как нормальную эксплуатацию (плавание в открытом море, обнаружение малых объектов, прокладка маршрута с учетом погодных условий и др.), так и потенциальные проблемные ситуации (затопление, неисправность навигационных систем, отказ связи, пиратство и др.) [1, 6].

Анализ этих сценариев позволил определить ключевые технические и операционные проблемы и соответствующим образом адаптировать концепцию автономного судна [5]. Например, было решено использовать постоянно функционирующий центр управления на берегу, ограничить беспилотную эксплуатацию районами открытого моря и добавить избыточность в системы связи [1].

Система автономного судна, разработанная в проекте MUNIN, включает следующие основные модули [1, 6]:

1. Автономный контроллер судна (ASC), включающий подсистемы автономной навигации, управления двигателем, мониторинга состояния двигателя и управления энергоэффективностью;
2. Модуль усовершенствованных датчиков (ASM) для обнаружения и классификации объектов;
3. Береговой центр управления (SCC) для дистанционного контроля;
4. Модуль связи для обмена данными между судном и береговым центром;
5. Модуль рандеву-контроля (RCU) для порта подхода и отхода.

Принципы работы характеризуются консервативным подходом к использованию "интеллектуального управления" на судне. Включение берегового центра управления устраняет многие факторы, повышающие сложность операционных сценариев, что позволяет реализовать относительно ограниченную степень автономности на самом судне. Операционные режимы включают:1) автономное выполнение (соответствует работе автопилота); 2) автономное управление (судно самостоятельно принимает решения в пределах определенных операционных ограничений); 3) дистанционное управление (прямое или косвенное); 4) режим безопасного отказа (fail-to-safe).

В результате анализа сценариев было также решено ограничить эксплуатационный домен автономного судна районами открытого моря, не включая транзит в зонах интенсивного судоходства или подход/отход от порта [1, 5]. Это существенно упрощает регуляторные вопросы и снижает сложность операций [4].

Идентификация опасностей проводилась в рамках семинара, основанного на определенных семантических компонентах архитектуры MiTS, в основном на функциональной разбивке судна вместе с фазами рейса и режимами работы [1].

Всего было выявлено 65 основных опасностей. Каждая опасность была классифицирована в соответствии с ее последствиями и вероятностью возникновения. Риск был разделен на три уровня: приемлемый (низкая вероятность и/или низкие последствия); неприемлемый (высокие последствия и/или высокая частота); и ALARP (As Low As Reasonably Practicable) [1, 5].

Неприемлемыми рисками в исходной конфигурации судна были признаны [1]:

1. Взаимодействие с другими судами, независимо от того, следуют ли они правилам COLREG или нет [5];
2. Ошибки в обнаружении и классификации объектов малого и среднего размера;
3. Сбои в обнаружении объектов, особенно при низкой видимости;
4. Выход из строя системы движения;
5. Экстремальные погодные условия;

Для каждого из этих рисков были определены меры контроля, включающие [1, 6]:

1. Избегание районов интенсивного судоходства;
2. Улучшенные системы обнаружения и классификации объектов;
3. Модуль навигации в открытом море;
4. Связь с другими судами через береговой центр управления и УКВ [6];
5. Улучшенные процедуры технического обслуживания [2];
6. Улучшенный мониторинг состояния;
7. Резервирование в системе движения (водометы);
8. Интеграция радара и AIS в систему обнаружения объектов [5];
9. Прокладка маршрута с учетом погодных условий;
10. Косвенное управление через береговой центр;
11. ИК-камера прямого обзора и видеокамеры высокого разрешения.

В отсутствие экипажа автономное судно может быть спроектировано без традиционных надстроек и жилых помещений, что уменьшает сопротивление воздуха и вес судна [3].

Однако, поскольку проект MUNIN предусматривает наличие экипажа на борту во время подхода к порту и отхода от него, некоторые жилые помещения все же должны быть сохранены, хотя и в значительно уменьшенном объеме [1, 6].

Автономный контроллер судна (ASC) включает подсистему управления энергоэффективностью, которая может оптимизировать режимы работы двигателя и движения судна в зависимости от погодных условий, состояния моря и требований к расписанию [5, 6]. Это включает: выбор оптимальной скорости для минимизации расхода топлива [2]; прокладку маршрута с учетом погодных условий (weather routing) [1]; оптимизацию дифферента и осадки; регулирование работы двигателя в оптимальных режимах [3].

Улучшенный мониторинг состояния двигателя и других систем позволяет не только повысить безопасность, но и обеспечить работу оборудования в оптимальных режимах, предотвращая снижение эффективности из-за износа или неисправностей [1, 3]. Система предиктивного обслуживания может планировать техническое обслуживание, когда это наиболее целесообразно с точки зрения энергоэффективности и эксплуатационных затрат [2].

Береговой центр управления может выполнять расширенный анализ энергоэффективности на основе данных, получаемых с судна, и предоставлять рекомендации по оптимизации маршрута и режимов работы [6]. Это позволяет использовать более мощные вычислительные ресурсы и доступ к актуальным данным о погоде, течениях и других факторах, влияющих на энергоэффективность [5].

Важной частью разработки автономного судна является проверка гипотез о его безопасности и эффективности [1]. Основная гипотеза проекта MUNIN заключается в том, что системы беспилотных судов могут автономно выполнять межконтинентальный рейс как минимум так же безопасно и эффективно, как суда с экипажем [1, 6].

Для проверки этой гипотезы были разработаны подгипотезы для каждого модуля, например [1]:

1. ASC может автономно управлять судном безопасно и эффективно в соответствии с заданным планом рейса с учетом погодных условий и движения других судов [5];
2. ASC может определить обязательства судна по COLREG в отношении всех объектов в окрестности в неограниченных водах [5];
3. ASM способен обнаружить плавающий объект размером со стандартный контейнер на расстоянии не менее 4,0 морских миль [1];

Проверка этих гипотез проводится с помощью различных методов, включая имитационное моделирование, анализ исторических данных AIS и оценку экспертами [1, 6].

Для обычных судов процессом окончательной верификации проекта является получение необходимых сертификатов от государства флага и классификационного общества [4]. Для беспилотных судов потребуется аналогичный режим [1].

Однако существующие международные правила часто предполагают наличие экипажа на борту, и многие правила касаются процессов и процедур, которые должны выполняться этим экипажем для обеспечения безопасного плавания. Очевидным примером является "Международная конвенция о подготовке и дипломировании моряков и несении вахты" (ПДНВ), которую, очевидно, невозможно выполнить для беспилотного судна.

Существуют механизмы в нормативной базе IMO, позволяющие государству флага и классификационному обществу разрабатывать новые методы определения требований и тестирования систем на соответствие определенным целям безопасности, а не техническим стандартам. Концепция "стандартов, основанных на целях" (Goal Based Standards, GBS)

была введена Советом IMO в 2002 году. Это может существенно помочь в адаптации соответствующих правил к беспилотным судам.

Правовая проблема меньше при работе только в международных водах, где юрисдикция почти исключительно принадлежит государству флага. При входе в национальные воды в игру вступает также юрисдикция портового и прибрежного государств. Это создает более сложную картину и в долгосрочной перспективе потребует разработки новых международных правил и конвенций через IMO и, возможно, другие организации.

Анализ затрат и выгод для концепции MUNIN будет основываться на результатах подхода, основанного на оценке рисков. Ожидается, что операционные упрощения, вытекающие из анализа сценариев, окажут положительное влияние, поскольку затраты будут снижены при уменьшении сложности технологии.

Возможным исключением является необходимость иметь экипаж на борту во время подхода к порту и отхода от него. Если это не решается способом, который снижает потребность в системах жизнеобеспечения на борту, это может нивелировать многие потенциальные выгоды от оптимизации судов для беспилотных операций, например, без жилых помещений, с меньшим количеством систем жизнеобеспечения и с использованием новых концепций надстройки.

Варианты контроля рисков, которые были определены как необходимые в ходе идентификации опасностей и мероприятий по контролю рисков, обычно оказывают отрицательное влияние, поскольку большинство мер контроля рисков требуют более сложного программного обеспечения или других технологий. Однако структурированный подход FSA должен гарантировать, что эти меры контроля рисков действительно необходимы и что они дают реальные преимущества судну и судовладельцам.

Заключение

Опыт применения подхода, основанного на оценке рисков, к проектированию автономного судна в рамках проекта MUNIN оказался весьма успешным. Он обеспечил необходимую и эффективную структуру для анализа и проектирования и сделал возможным представление последовательной и хорошо документированной аргументации в пользу безопасности и защищенности беспилотного судна.

Риск-ориентированный метод был особенно полезен при структурировании процесса идентификации опасностей, что крайне важно для определения основных проблем и направлений, на которых необходимо сосредоточить усилия по разработке. Невозможно аргументировать безопасность и защищенность беспилотных судов без такого структурированного анализа проблем.

Раннее описание и анализ сценариев также оказались очень эффективными для балансирования операционной сложности с техническими упрощениями. Это критическая часть определения операционной области промышленной автономной системы, поскольку слишком гибкая или слишком обширная область может иметь очень большое влияние на техническую сложность и, следовательно, на стоимость и надежность.

На основе проведенного анализа можно сделать вывод, что автономные суда имеют потенциал для повышения энергоэффективности и безопасности морских перевозок при условии тщательной оценки рисков и разработки соответствующих мер контроля. Дальнейшие исследования должны быть направлены на разработку специфических стандартов и правил для автономных судов, а также на практическую реализацию и тестирование разработанных концепций.

Список литературы:

1. Rødseth O.J., Burmeister H. - C. Risk Assessment for an Unmanned Merchant Ship // Trans Nav the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation. – 2015. – Vol. 9. – No. 3. – P. 357-364.
2. Гагаев С. Ю. Проблемы и перспективы развития внутреннего водного транспорта в российской федерации // Научный взгляд в будущее. – 2016. – Т. 1. – №. 2. – С. 46-50.
3. Суда внутреннего и смешанного (река-море) плавания. Санитарные правила и нормы: СанПиН 2.5.2-703-98. – Москва: Минздрав России, 1998. – 144 с.
4. Правила предотвращения загрязнения окружающей среды. Российский речной регистр. Москва. – 2016 г.
5. Burmeister H.C., Bruhn W.C. Designing an autonomous collision avoidance controller respecting COLREG // Maritime-Port Technology and Development. – 2014. – P. 83-88.
6. Burmeister H.C., Bruhn W., Rødseth Ø.J., Porathe T. Autonomous Unmanned Merchant Vessel and its Contribution towards the e-Navigation Implementation: The MUNIN Perspective // International Journal of e-Navigation and Maritime Economy. – 2014. – Vol. 1. – P. 1-13.