

OPERATIONAL RISK ASSESSMENT FOR MARINE AUTONOMOUS VESSELS

A. V. Gams, D. A. Akmaykin, A. A. Ilchenko

Maritime State University named after admiral G. I. Nevelskoy,
Vladivostok, Russian Federation

The topic of the study is the issue of assessing the safety of the use of autonomous type vessels and suitable criteria for the mode of operation, which has a priority status, since currently a large number of prototypes of such vessels are planned to be launched. It is noted that classification societies determine the rules of classification and construction of this type of vessels. Using the method of analyzing the types and consequences of failures, which is well-established in the aerospace industry in the second half of the last century, is suggested in the paper. For this purpose, the concept of risk priority taken from the analysis of the ratings of the failures occurrence and consequences is used. All parameters for determining the priority of risk are obtained during the analysis of accidents of the various types of vessels, including those, which are without crew. The rating of the failure mode occurrence in autonomous navigation, the rating of the failure mode critical consequences and the failure mode detection rating for autonomous vessels are considered. Each of these types of rating includes ten levels. The assessment of failure levels consists of four stages. Initially, it is necessary to identify potential failure modes. Then the parameters of the risk priority concept and the type of failure are evaluated. For each operational mode of operation, namely manual control, remote or autonomous control, the risk priority concept scenario is calculated. The analysis of the calculation results is carried out and proposals are formulated and recommendations of corrective actions are given. The results obtained have shown that under the same conditions, the range of the risk level varies depending on the operating modes of an autonomous vessel. The results are presented in the table of the choice of corrective actions and given graphically for visual assessment and direction of danger. The proposed approach makes it possible to choose the most safe mode of operation for this level of risk, as well as to predict the necessary corrective actions.

Keywords: sea surface vessels, unmanned vessel, risk assessment, operating modes of unmanned vessels, control modes, risk priority concept, operating mode, consequences of failures.

For citation:

Gams, Anastasia V., Denis A. Akmaykin, and Anna A. Ilchenko. "Operational risk assessment for marine autonomous vessels." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 14.2 (2022): 248–256. DOI: 10.21821/2309-5180-2022-14-2-248-256.

УДК 629.067

ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО РИСКА ДЛЯ МОРСКИХ АВТОНОМНЫХ СУДОВ

А. В. Гамс, Д. А. Акмайкин, А. А. Ильченко

МГУ им. адм. Г. И. Невельского, Владивосток, Российская Федерация

Темой исследования является вопрос оценки безопасности применения судов автономного типа и подходящих критериев режима эксплуатации, имеющий статус приоритетного, так как в настоящее время большое количество прототипов таких судов планируется к спуску на воду. Отмечается, что классификационные общества определяют правила классификации и постройки данного типа судов. В статье предлагается использовать метод анализа видов и последствий отказов, хорошо зарекомендовавший себя в аэрокосмической промышленности во второй половине прошлого века. Для этого используется концепция приоритета риска, взятая из анализа рейтингов возникновений и последствий отказов. Все параметры для определения приоритета риска получены в ходе анализа аварий различных типов судов, в том числе безэкипажных. Рассмотрен рейтинг возникновения режима отказа в автономном судовождении, рейтинг критичных последствий режима отказов и рейтинг обнаружения режима отказа для автономных судов. Каждый из указанных видов рейтинга включает десять уровней. Оценка уровней отказов состоит из

четырёх этапов. Первоначально необходимо осуществить определение потенциальных режимов отказа. Затем проводится оценка параметров концепции приоритета риска и вида отказа. Для каждого эксплуатационного режима работы, а именно: ручного управления, дистанционного или автономного управления осуществляется расчет сценария концепции приоритета риска. Выполнен анализ результатов расчета, сформулированы предложения для каждого из трех эксплуатационных режимов и даны рекомендации корректирующих действий. Полученные результаты показывают, что в одинаковых условиях диапазон уровня риска варьируется в зависимости от эксплуатационных режимов автономного судна. Результаты представлены в таблице выбора корректирующих действий и графически для визуальной оценки и направленности опасности. Предложенный подход позволяет выбрать наиболее безопасный для данного уровня риска режим эксплуатации, а также спрогнозировать необходимые корректирующие действия.

Ключевые слова: морские надводные суда, безэкипажное судно, оценка риска, режимы работы безэкипажных судов, режимы управления, концепция приоритета риска, режим эксплуатации, последствия отказов.

Для цитирования:

Гамс А. В. Оценка эксплуатационного риска для морских автономных судов / А. В. Гамс, Д. А. Акмайкин, А. А. Ильченко // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2022. — Т. 14. — № 2. — С. 248–256. DOI: 10.21821/2309-5180-2022-14-2-248-256.

Введение (Introduction)

Определение «морские автономные надводные суда» впервые было принято на 99-й сессии Комитета по безопасности на море Международной морской организации (ИМО). В разных специальных источниках по судовождению отмечается, что рабочие режимы подразделяются на три типа: ручное управление, дистанционное управление и автономное управление [1], [2]. Известно, что автономные суда могут работать в нескольких режимах в рамках одного рейса.

Согласно «Положению по классификации морских автономных и дистанционно управляемых надводных судов (МАНС)», утвержденному Российским морским регистром судоходства (НД № 2–030101–037), вступившему в силу 01.08.2020 г., для категоризации дистанционно и автономно управляемых надводных судов введены составные обозначения, характеризующие возможность управления судном в открытом море и при движении в стесненных условиях: узкостях, местах швартовки, в портах («в море», «в стесненных условиях»)¹. При движении судна в море введены обозначения MC, MCDS, RCMC, RC, AC, при движении в стесненных условиях — MC, MCDS, RCMC, RC, AC. Соответствующие пояснения приведены в табл. 1.

Таблица 1

Составные обозначения

Категория судна	Рабочий режим	Команда
MC	Ручное управление	Человек на борту
MCDS	Ручное управление с поддержкой принятия решения	Человек на борту
RCMC	Дистанционное управление с возможностью перехода на ручное	Человек на борту
RC	Дистанционное управление	Нет человека на борту
AC	Автономное управление	Нет человека на борту

Примеры составного обозначения категории судна: AC–MC (AC — автономное при движении в море и MC — ручное управление при проходе узкостей и при входе в порт), или RCMC–MCDS (RCMC — дистанционное управление с возможностью перехода на ручное при движении в море и MCDS — ручное управление с поддержкой принятия решения при проходе узкостей и входе в порт).

При ручном управлении судном управляет экипаж, находящийся на борту [3], [4], при использовании дистанционного управления судном управляет оператор с берега. Дистанционно управление

¹ НД № 2-030101-037. Положения по классификации морских автономных и дистанционно управляемых надводных судов (МАНС). СПб.: Российский морской регистр судоходства, 2020. 97 с.

имеет три подрежима: непосредственное управление, косвенное управление и управление ситуацией. Автономное управление производится за счет бортовой системы управления (например, навигационной системы). Автономное управление имеет два подрежима: автономное выполнение поставленных задач и автономное решение возникнувших проблем. При работе в режиме выполнения поставленных задач судно следует по заданному маршруту, выполняя в полной мере задачи навигации и наблюдения без решения задач и принятия решений с берега, передает краткие отчеты оператору на берегу [5]–[7]. При работе в режиме автономного решения возникнувших проблем судно самостоятельно принимает решения на основе вычислительных алгоритмов или запрограммированных моделей принятия решений [8]–[10].

Последствия отказов. Метод анализа видов и последствий отказов был разработан в 60-е гг. XX в. при проектировании аэрокосмических аппаратов для повышения их надежности и безопасности. Данный метод был широко распространен в системах контроля и диагностики технических систем и принят в качестве одного из стандартов Международной электротехнической комиссией¹, а также используется в качестве национального стандарта² в Российской Федерации, в котором даны рекомендации по применению указанного метода.

Начиная со второй половины XX в. этот метод применяется для оценки рисков производственных процессов, электронных систем, конструкций авиационных двигателей и силовых установок судов и кораблей [11]–[13]. Оценка риска, выполненная на основе использования метода анализа видов и последствий отказов, основана на концепции приоритета риска, получаемой в результате произведения вероятности отказа, серьезности последствий и вероятности необнаружения вида отказов. Для получения численного результата потенциального отказа все три фактора риска оцениваются с использованием четких значений [14]–[16].

В процессе проведения исследования используются целые числа от одного до десяти, описание которых приведено в табл. 2–4. При создании рейтинга возникновения режима отказа были использованы средние промежутки времени, варьирующие от 2 ч до 10 лет, на основе опыта эксплуатации судов различных типов с различным уровнем автоматизации. Рейтинг критичности последствий режима отказов колеблется в зависимости от событий без последствий до опасного сбоя без предупреждений с полной остановкой работы системы и возможным нарушением международных правил. Рейтинг обнаружения режима отказа описывает вероятности начиная с того, что бортовая система вовсе не обнаруживает причину отказа, и заканчивая тем, что она точно обнаруживает причину отказа с промежуточными значениями вероятностей между ними.

Таблица 2

Рейтинг возникновения режима отказа в автономном судовождении

Рейтинг	Предупреждение о возникновении режима отказа (О)
10	Средний промежуток времени между предупреждениями менее двух часов
9	Средний промежуток времени между предупреждениями менее трех часов
8	Средний промежуток времени между предупреждениями менее восьми часов
7	Средний промежуток времени между предупреждениями менее 24 ч
6	Средний промежуток времени между предупреждениями менее одной недели
5	Средний промежуток времени между предупреждениями менее одного месяца
4	Средний промежуток времени между предупреждениями менее шести месяцев
3	Средний промежуток времени между предупреждениями менее одного года
2	Средний промежуток времени между предупреждениями менее пяти лет
1	Средний промежуток времени между предупреждениями менее десяти лет

¹ International standard IEC 60812. Analysis techniques for system reliability — Procedure for failure mode and effects analysis (FMEA). IEC, 2006. 41 p.

² ГОСТ Р 51901.12–2007. Менеджмент риска. Метод анализа видов и последствий отказов. М.: Стандартинформ, 2008. 40 с.

Таблица 3

Рейтинг критичных последствий режима отказов для автономных судов

Рейтинг	Описание критичности последствий (S)
10	Сбой на борту / берегу является опасным и происходит без предупреждения, работа системы останавливается, могут быть нарушены международные правила и требования
9	Неисправность на борту / берегу влечет за собой опасные последствия, могут быть нарушены международные правила
8	Бортовая или береговая система вышла из строя с потерей основных функций
7	Производительность бортовой или береговой системы серьезно пострадала. Имеется вероятность прерывания работы бортовой или береговой системы
6	Производительность бортовой или береговой системы пострадала. Некоторые функции могут не работать
5	Умеренное влияние на производительность бортовой или береговой системы. Требуется ремонт
4	Небольшое влияние на производительность бортовой или береговой системы / подсистемы. Ремонт не требуется
3	Незначительное влияние на производительность бортовой или береговой системы / подсистемы
2	Менее чем незначительное влияние на производительность бортовой или береговой системы / подсистемы
1	Отсутствие последствий

Таблица 4

Рейтинг обнаружения режима отказа для автономных судов

Рейтинг	Описание вероятности обнаружения режима отказа (D)
10	Бортовая или береговая подсистема / система точно не обнаруживает потенциальную причину отказа или последующий режим отказа
9	Маловероятно, что бортовая или береговая подсистема / система точно обнаруживает потенциальную причину отказа или последующий режим отказа
8	Существует вероятность того, что бортовая или береговая подсистема / система точно обнаруживает потенциальную причину отказа или последующий режим отказа
7	Очень низкая вероятность того, что бортовая или береговая подсистема / система точно обнаруживает потенциальную причину отказа или последующий режим отказа
6	Низкая вероятность того, что бортовая или береговая подсистема/система точно обнаруживает потенциальную причину отказа или последующий режим отказа
5	Умеренная вероятность того, что бортовая или береговая подсистема/система точно обнаруживает потенциальную причину отказа или последующий режим отказа
4	Умеренно высокая вероятность того, что бортовая или береговая подсистема/система точно обнаруживает потенциальную причину отказа или последующий режим отказа
3	Высокая вероятность того, что бортовая или береговая подсистема / система точно обнаруживает потенциальную причину отказа или последующий режим отказа
2	Очень высокая вероятность того, что бортовая или береговая подсистема / система точно обнаруживает потенциальную причину отказа или последующий режим отказа
1	Бортовая или береговая подсистема / система точно обнаруживает потенциальную причину отказа или последующий режим отказа

Расчет количества видов отказов. Предлагаемая структура оценки уровня отказов состоит из четырех этапов:

- 1-й этап — определение потенциальных режимов отказа.
- 2-й этап — оценка параметров концепции приоритета риска и вида отказа.

В данном случае оценка производится с помощью параметров из табл. 2–4. Используются следующие параметры: конструкция p , позволяющая оценить матрицы O_p (предупреждение о возникновении режима отказа), S_p (критичность последствий), D_p (вероятность обнаружения режима отказа).

Расчет выполняется по следующим формулам:

$$O_p = (O_{ij}^p)_{m \times n} = \begin{pmatrix} O_{11}^p & O_{12}^p & \dots & O_{1n}^p \\ O_{21}^p & O_{22}^p & \dots & O_{2n}^p \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ O_{m1}^p & O_{m2}^p & \dots & O_{mn}^p \end{pmatrix}; \quad (1)$$

$$S_p = (S_{ij}^p)_{m \times n} = \begin{pmatrix} S_{11}^p & S_{12}^p & \dots & S_{1n}^p \\ S_{21}^p & S_{22}^p & \dots & S_{2n}^p \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ S_{m1}^p & S_{m2}^p & \dots & S_{mn}^p \end{pmatrix}; \quad (2)$$

$$D_p = (D_{ij}^p)_{m \times n} = \begin{pmatrix} D_{11}^p & D_{12}^p & \dots & D_{1n}^p \\ D_{21}^p & D_{22}^p & \dots & D_{2n}^p \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ D_{m1}^p & D_{m2}^p & \dots & D_{mn}^p \end{pmatrix}, \quad (3)$$

где i — последствия отказов, $i = \{1, \dots, m\}$; j — эксплуатационные режимы; $j = \{1, \dots, n\}$.

Расчеты позволяют получить k оценочных матриц для каждого параметра. Средние оценочные матрицы, определяемые по формулам (4)–(6), можно записать следующим образом:

$$\bar{O} = (O_{ij})_{m \times n}; \quad (4)$$

$$\bar{S} = (S_{ij})_{m \times n}; \quad (5)$$

$$\bar{D} = (D_{ij})_{m \times n}, \quad (6)$$

где $O_{ij} = (\sum_{p=1}^k O_{ij}^p) / k$, $S_{ij} = (\sum_{p=1}^k S_{ij}^p) / k$, $D_{ij} = (\sum_{p=1}^k D_{ij}^p) / k$.

Пояснения остальных переменных даны в формулах (1)–(3).

Результаты усреднения, являющиеся выходными данными для расчета концепции приоритета риска каждого вида отказа эксплуатационного режима, даны в следующей формуле:

$$RPN_q = O_{qj} S_{qj} D_{qj}, \quad (7)$$

где RPN_q — концепции приоритета риска вида отказа;

q — количество видов отказа;

j — номер режима работы ($j = 1$ — ручное управление, $j = 2$ — дистанционное управление, $j = 3$ — автономное управление);

O_{qj} — вероятность режима отказа в рабочем режиме j ;

S_{qj} — критичность отказа в рабочем режиме j ;

D_{qj} — вероятность обнаружения отказа в рабочем режиме j .

3-й этап — расчет сценария концепции приоритета риска в заданном режиме работы.

Для расчета сценария концепции приоритета в конкретном эксплуатационном режиме используется следующая формула:

$$RPN_j = \sum_{q=1}^t RPN_q, \quad (8)$$

где t — общее количество видов отказа в сценарии; RPN_j — концепция приоритета риска сценария в рабочем режиме j .

4-й этап — анализ результатов и предложения.

Начиная с третьего этапа результаты следует проанализировать для принятия корректирующих действий. Для этого можно использовать количество видов отказа в сценарии с концепцией приоритета риска. Результат показан в следующем уравнении:

$$sRPN_j = \frac{1}{t} RPN_j. \quad (9)$$

Диапазоны $sRPN$ приведены в табл. 5, где даны соответствующие рекомендации, и графически показаны на схеме.

Таблица 5

Рекомендации по переключению эксплуатационных режимов

№ п/п.	Диапазон			Корректирующие действия
	MC	RC	AC	
1	(1, 125]	(1, 64]	(1, 27]	Изменения не требуются
2	(125, 512]	(64, 343]	(27, 216]	Выбрать эксплуатационный режим, при котором концепция приоритета риска меньше, если нет возможности изменить режим и контролировать задействованные виды отказов
3	(512, 1000]	(343, 1000]	(216, 1000]	Если переключить эксплуатационный режим, уменьшится автономность

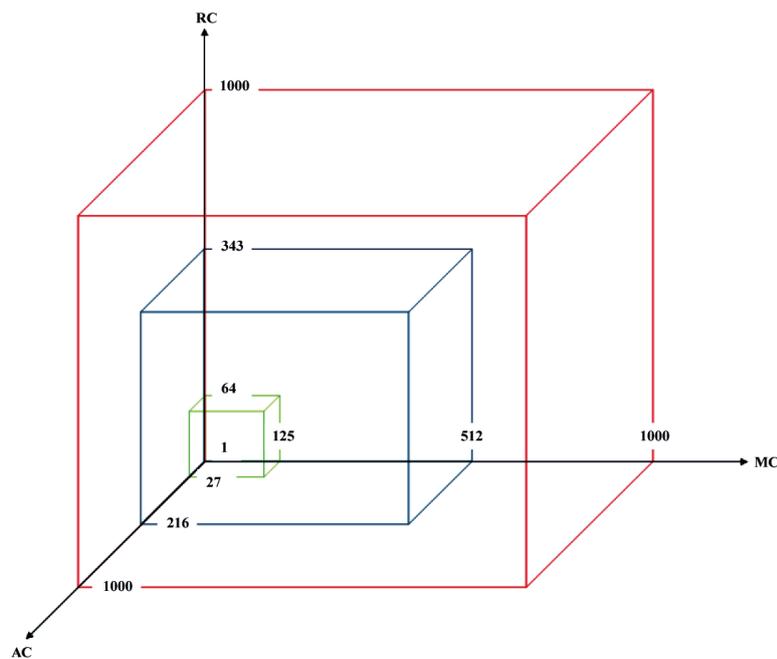


Схема переключения режимов

При использовании результатов расчета рисков величина рисков попадает в одно из множеств, ограниченных фигурой соответствующего цвета. При осуществлении управления автономным судном с помощью оператора появляется возможность наглядно видеть уровень риска и возможные направления опасности.

Заключение (Conclusion)

В статье предложена четырехэтапная структура для количественной оценки эксплуатационного риска морского автономного надводного судна с тремя режимами работы (ручным, дистанционным и автономным управлением). Выполнена оценка трех параметров концепции приоритета риска выделенных видов отказов по отношению к трем рассматриваемым эксплуатационным режимам с использованием четких значений. Среднее значение оценки было получено в качестве исходных

данных для расчета концепции приоритета риска видов отказов в данном эксплуатационном режиме. Концепция приоритета риска для сценария в данном эксплуатационном режиме рассчитывалась путем сложения концепции приоритета риска задействованных режимов, т. е. концепция приоритета риска для сценария в эксплуатационном режиме представляет собой сумму концепций приоритета риска режимов отказов, задействованных в этом эксплуатационном режиме. На основе концепции приоритета риска в трех эксплуатационных режимах были внесены предложения по переключению эксплуатационных режимов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. IMO Takes First Steps to Address Autonomous Ships [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.imo.org/en/MediaCentre/PressBriefings/Pages/08-MSC-99-MASS-scoping.aspx> (дата обращения: 07.02.2022).
2. Зайцев А. И. Беспилотные технологии на водном транспорте — реальность и перспективы / А. И. Зайцев, В. В. Каретников, А. А. Сикарев // Морская радиоэлектроника. — 2017. — № 3(61). — С. 6–9.
3. Дмитриев В. И. Методы обеспечения безопасности мореплавания при внедрении беспилотных технологий / В. И. Дмитриев, В. В. Каретников // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2017. — Т. 9. — № 6. — С. 1149–1158. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-6-1149-1158.
4. Porathe T. Remote Monitoring and Control of Unmanned Vessels—The MUNIN Shore Control Centre / T. Porathe // Proceedings of the 13th International Conference on Computer Applications and Information Technology in the Maritime Industries (COMPIT '14). — 2014. — Pp. 460–467.
5. Гамс А. В. Координация поисково-спасательных операций с помощью безэкипажных судов / А. В. Гамс // Всероссийские научные чтения имени академика А. Д. Сахарова: сб. ст. Всеросс. науч.-практ. конф. — Петрозаводск: МЦНП «Новая наука», 2021. — С. 224–228.
6. Medhaug S. D. Future of Autonomous Shipping from an Administration Point of View / S. D. Medhaug // Proceedings of the 18th International Conference on Computer and IT Applications in the Maritime Industries (COMPIT'19). — Hamburg: Technische Universität Hamburg-Harburg, 2019. — Pp. 94–103.
7. Каменев М. С. Методика по оценке потерь мощности радиосигнала Bluetooth при прохождении сигнала сквозь судовые металлические переборки / М. С. Каменев, Д. А. Акмайкин, А. В. Гамс // Эксплуатация морского транспорта. — 2021. — № 4 (101). — С. 75–80.
8. Man Y. From desk to field—Human factor issues in remote monitoring and controlling of autonomous unmanned vessels / Y. Man, M. Lundh, T. Porathe, S. MacKinnon // Procedia Manufacturing. — 2015. — Vol. 3. — Pp. 2674–2681. DOI: 10.1016/j.promfg.2015.07.635.
9. Hart F. Fail-safe priority-based approach for autonomous intersection management / F. Hart, M. Saraoglu, A. Morozov, K. Janschek // IFAC-PapersOnLine. — 2019. — Vol. 52. — Is. 8. — Pp. 233–238. DOI: 10.1016/j.ifacol.2019.08.076.
10. Chang K. H. A novel efficient approach for DFMEA combining 2-tuple and the OWA operator / K. H. Chang, T. C. Wen // Expert Systems with Applications. — 2010. — Vol. 37. — Is. 3. — Pp. 2362–2370. DOI: 10.1016/j.eswa.2009.07.026.
11. Chang K. H. Evaluate the orderings of risk for failure problems using a more general RPN methodology / K. H. Chang // Microelectronics Reliability. — 2009. — Vol. 49. — Is. 12. — Pp. 1586–1596. DOI: 10.1016/j.microrel.2009.07.057.
12. Zúñiga A. A. Classical failure modes and effects analysis in the context of smart grid cyber-physical systems / A. A. Zúñiga, A. Baleia, J. Fernandes, P. J. D. C. Branco // Energies. — 2020. — Vol. 13. — Is. 5. — Pp. 1215. DOI: 10.3390/en13051215.
13. Liu S. An improved assessment method for FMEA for a shipboard integrated electric propulsion system using fuzzy logic and DEMATEL theory / S. Liu, X. Guo, L. Zhang // Energies. — 2019. — Vol. 12. — Is. 16. — Pp. 3162. DOI: 10.3390/en12163162.
14. Utne I. B. Risk management of autonomous marine systems and operations / I. B. Utne, A. J. Sørensen, I. Schjøberg // International conference on offshore mechanics and arctic engineering. — American Society of Mechanical Engineers, 2017. — Vol. 57663. — Pp. V03BT02A020. DOI: 10.1115/OMAE2017-61645.

15. Ziajka-Poznańska E. Costs and benefits of autonomous shipping — A literature review / E. Ziajka-Poznańska, J. Montewka // *Applied Sciences*. — 2021. — Vol. 11. — Is. 10. — Pp. 4553. DOI: 10.3390/app11104553.

16. Liu H. C. Risk evaluation in failure mode and effects analysis with extended VIKOR method under fuzzy environment / H. C. Liu, L. Liu, N. Liu, L. X. Mao // *Expert Systems with Applications*. — 2012. — Vol. 39. — Is. 17. — Pp. 12926–12934. DOI: 10.1016/j.eswa.2012.05.031.

REFERENCES

1. IMO is taking the first steps to solve the problem of autonomous vessels. Web. 7 Feb. 2022<<http://www.imo.org/en/MediaCentre/PressBriefings/Pages/08-MSC-99-MASS-scoping.aspx>>.

2. Zaitsev, A. I., V. V. Karetnikov, and A. A. Sikarev. “Unmanned technology at water transport — reality and prospects.” *Marine radioelectronics* 3 (61) (2017): 6–9.

3. Dmitriev, Vladimir I., and Vladimir V. Karetnikov. “Methods of ensuring the safety of navigation when implement unmanned technology.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 9.6 (2017): 1149–1158. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-6-1149-1158.

4. Porathe, Thomas. “Remote Monitoring and Control of Unmanned Vessels—The MUNIN Shore Control Centre.” *Proceedings of the 13th International Conference on Computer Applications and Information Technology in the Maritime Industries (COMPIT '14)*. 2014. 460–467.

5. Gams, Anastasia Vadimovna. “Coordination of search and rescue operations with the help of unmanned vessels.” *Vserossiiskie nauchnye chteniya imeni akademika A. D. Sakharova: sbornik statei Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*. Petrozavodsk: Mezhdunarodnyi tsentr nauchnogo partnerstva «Novaya Nauka», 2021. 224–228.

6. Medhaug, Svein David. “The future of autonomous shipping from an administrative point of view.” *Proceedings of the 18th International Conference on Computer and IT Applications in the Maritime Industries (COMPIT'19)*. Hamburg: Technische Universität Hamburg-Harburg, 2019. 94–103.

7. Kamenev, M.S., D. A. Akmaikin, and A. V. Gams. “Method for estimating the power loss of the bluetooth radio signal when the signal passes through the ship’s metal bulkheads.” *Ekspluatatsiya morskogo transporta* 4(101) (2021): 75–80.

8. Man, Yemao, Monica Lundh, Thomas Porathe, and Scott MacKinnon. “From desk to field-Human factor issues in remote monitoring and controlling of autonomous unmanned vessels.” *Procedia Manufacturing* 3 (2015): 2674–2681. DOI: 10.1016/j.promfg.2015.07.635.

9. Hart, Fabian, Mustafa Saraoglu, Andrey Morozov, and Klaus Janschek. “Fail-safe priority-based approach for autonomous intersection management.” *IFAC-PapersOnLine* 52.8 (2019): 233–238. DOI: 10.1016/j.ifacol.2019.08.076.

10. Chang, Kuei-Hu, and Ta-Chun Wen. “A novel efficient approach for DFMEA combining 2-tuple and the OWA operator.” *Expert Systems with Applications* 37.3 (2010): 2362–2370. DOI: 10.1016/j.eswa.2009.07.026

11. Chang, Kuei-Hu. “Evaluate the orderings of risk for failure problems using a more general RPN methodology.” *Microelectronics Reliability* 49.12 (2009): 1586–1596. DOI: 10.1016/j.microrel.2009.07.057.

12. Zúñiga, Andrés A., Alexandre Baleia, João Fernandes, and Paulo Jose Da Costa Branco. “Classical failure modes and effects analysis in the context of smart grid cyber-physical systems.” *Energies* 13.5 (2020): 1215. DOI: 10.3390/en13051215.

13. Liu, Sheng, Xiaojie Guo, and Lanyong Zhang. “An improved assessment method for FMEA for a ship-board integrated electric propulsion system using fuzzy logic and DEMATEL theory.” *Energies* 12.16 (2019): 3162. DOI: 10.3390/en12163162.

14. Utne, Ingrid Bouwer, Asgeir J. Sørensen, and Ingrid Schjøberg. “Risk management of autonomous marine systems and operations.” *International conference on offshore mechanics and arctic engineering*. Vol. 57663. American Society of Mechanical Engineers, 2017. DOI: 10.1115/OMAE2017–61645.

15. Ziajka-Poznańska, Ewelina, and Jakub Montewka. “Costs and benefits of autonomous shipping. A literature review.” *Applied Sciences* 11.10 (2021): 4553. DOI: 10.3390/app11104553.

16. Liu, Hu-Chen, Long Liu, Nan Liu, and Ling-Xiang Mao. “Risk evaluation in failure mode and effects analysis with extended VIKOR method under fuzzy environment.” *Expert Systems with Applications* 39.17 (2012): 12926–12934. DOI: 10.1016/j.eswa.2012.05.031.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Гамс Анастасия Вадимовна — аспирант

Научный руководитель:

Акмайкин Денис Александрович

МГУ им. адм. Г. И. Невельского

690003, Российская Федерация,

Владивосток,

ул. Верхнепортовая, 50а

e-mail: gams@msun.ru

Акмайкин Денис Александрович —

кандидат физико-математических наук, доцент

МГУ им. адм. Г. И. Невельского

690003, Российская Федерация,

Владивосток,

ул. Верхнепортовая, 50а

e-mail: akmaykin@msun.ru

Ильченко Анна Андреевна — аспирант

Научный руководитель:

Акмайкин Денис Александрович

МГУ им. адм. Г. И. Невельского

690003, Российская Федерация,

Владивосток,

ул. Верхнепортовая, 50а

e-mail: Ilchenko@msun.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Gams, Anastasia V. — Postgraduate

Supervisor:

Akmaykin, Denis A.

Maritime State University named

after admiral G. I. Nevelskoy

50a Verkhneportovaya Str., Vladivostok, 690003,

Russian Federation

e-mail: gams@msun.ru

Akmaykin, Denis A. —

PhD, associate professor

Maritime State University

named after admiral G. I. Nevelskoy

50a Verkhneportovaya Str., Vladivostok, 690003,

Russian Federation

e-mail: akmaykin@msun.ru

Ilchenko, Anna A. — Postgraduate

Supervisor:

Akmaykin, Denis A.

Maritime State University named after admiral

G. I. Nevelskoy

50a Verkhneportovaya Str., Vladivostok, 690003,

Russian Federation

e-mail: Ilchenko@msun.ru

Статья поступила в редакцию 14 февраля 2022 г.

Received: February 14, 2022.