

**Тарасов Илья Михайлович**

студент по направлению подготовки «Судовождение», РУТ (МИИТ)  
г. Москва, Россия

**Ларин Александр Ильич**

студент по направлению подготовки «Судовождение», РУТ (МИИТ)  
г. Москва, Россия

**Махова Наталья Борисовна**

к.т.н., доцент кафедры «Высшая математика» РУТ (МИИТ)  
г. Москва, Россия

### **Применение теории вероятности для обеспечения безопасности судоходства**

**Аннотация.** В статье рассмотрены некоторые задачи теории вероятности применительно к профессиональной деятельности на море. Освещены причины возникновения аварийных и чрезвычайных ситуаций. Описаны некоторые зависимости, описывающей вероятность безаварийной эксплуатации судна без учёта внешних факторов.

Акцентируется внимание на важности теории вероятности для обеспечения безопасности судоходства, оценки рисков и принятия решений на море.

Делается вывод о том, что знания разделов математики, таких как теория вероятностей и линейная алгебра позволяют решать задачи, связанные с оценкой рисков, принятием решений в работе на море, обеспечением безопасности и снижением вероятности возникновения аварийных и чрезвычайных ситуаций.

**Ключевые слова:** линейная алгебра, теория вероятности, математический аппарат, оценка рисков, обеспечение безопасности, системы предупреждения происшествий.

**Tarasov Ilya Mihailovich**

student, The Russian University of Transport (RUT (MIIT))  
Moscow, Russia

**Larin Aleksandr Ilyich,**

The Russian University of Transport (RUT (MIIT))  
Moscow, Russia

**Mahova Natalia Borisovna**

Ph.D., Graduate Student, The Russian University of Transport (RUT (MIIT))  
Moscow, Russia

## **Application of probability theory to ensuring shipping safety**

**Annotation.** The article considers some problems of probability theory in relation to professional activities at sea. Causes of emergency and extraordinary situations are highlighted. Some dependencies describing the probability of accident-free operation of a ship without taking into account external factors are described.

Attention is emphasized on the importance of probability theory for ensuring safety of navigation, risk assessment and decision making at sea.

It is concluded that the knowledge of mathematics, such as probability theory and linear algebra, allows solving problems related to risk assessment, decision-making in maritime operations, ensuring safety and reducing the probability of accidents and emergencies.

**Keywords:** linear algebra, probability theory, mathematical apparatus, risk assessment, safety, accident prevention systems.

В настоящее время каждое судно подлежит предписанному периодическому осмотру. Периодические осмотры включают в себя проверку всех компонентов, принимая во внимание, что уровень риска судна увеличивается с течением времени и в значительной степени зависит от уровня риска, связанного с конструктивными компонентами с высоким риском. Оценка вероятностей возникновения отказа, может быть определена как склонность конструкции к разрушению и является основным предметом анализа и прогнозирования.

Правильная оценка этих рисков и анализ статистических данных, полученных в результате инспекций и иных мероприятий, позволяют принимать обоснованные решения и повышать безопасность и эффективность эксплуатации судов.

Теория вероятности используется для анализа вероятности различных неблагоприятных событий, таких как аварии, поломки оборудования и потери груза. Статистика используется для оценки и анализа информации о таких событиях и прогнозирования, с определенной степенью достоверности, вероятности отказа всех элементов.

Статистика также используется для анализа эксплуатационных данных судна, таких как расход топлива, скорость и потери оборудования. Анализируя

эти данные, можно выявить тенденции и проблемы, которые могут повлиять на безопасную и эффективную эксплуатацию судов.

Изучение специальных дисциплин базируется на математических знаниях, включающих в себя такие разделы, как теория вероятности и линейная алгебра.

На первых и вторых курсах решение таких задач может сводиться к исследованию небольшого количество математических зависимостей, однако в ходе дальнейшего обучения имеет смысл решать более сложные практические задачи.

Таким образом, именно математический аппарат является инструментом, позволяющим грамотно оценить все возможные риски, принять обоснованные решения для предотвращения чрезвычайных ситуаций.

Преимуществом в изучении математики и специальных дисциплин заключается в применении уже изученных сложных математических зависимостей в решении реальных практических задач.

Рассмотрим одну из задач, решаемых на первом курсе:

«На судне имеется два датчика, отвечающих за включение сигнализации. При возникновении аварийных ситуаций, вероятность того, что первый датчик сработает равна  $A$ . Вероятность того, что сработает второй датчик –  $B$ . Найти вероятность того, что штатно сработает только один из двух датчиков.»

Так как такие задачи изучаются ещё со школьной программы, решение подобных задач сводится к тривиальному набору зависимостей:

$$P_1 = A * (1 - B) \quad (1)$$

$$P_2 = B * (1 - A) \quad (2)$$

$$P_3 = P_1 + P_2 \quad (3)$$

Где 1 и 2 выражения – значения того, что сработает только один датчик, исключая вероятность того, что сработает другой. 3 выражение является непосредственно ответом – вероятность того, что «штатно сработает только один из двух датчиков.».

Не смотря на простоту, данная задача является основой для более сложных ситуаций, когда вместо отдельных датчиков вероятность рассчитывается для совокупности различных систем или иных механизмов.

Благодаря современным технологиям мы имеем в своём распоряжении множество статистических данных, на основе которых можно прогнозировать аварийные и чрезвычайные ситуации.

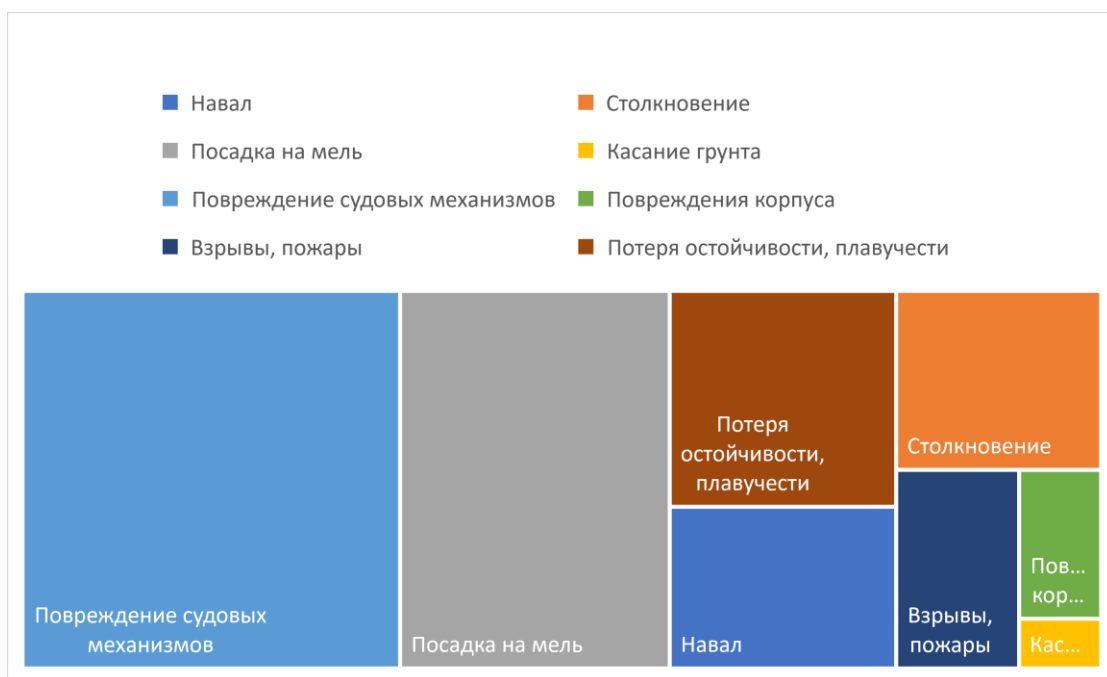


Рис. 1. Анализ аварийности по видам аварий согласно официальной статистике Федеральной службы по надзору в сфере транспорта за 2021-2022гг.<sup>[2]</sup>

Таким образом, имея некоторый массив статистических данных о возникновении тех или иных технологических сбоев, можно оценить риски.

Таким образом, мы можем составить следующий одномерный массив вероятностей возникновения аварийных ситуаций ( $P_A$ ) по причинам их возникновения на основе статистических данных (рис. 1):

$$P_A = [0.09, 0.09, 0.25, 0.01, 0.35, 0.03, 0.06, 0.12] \quad (4)$$

Исходя из этого можно составить не зависящую от времени, но уязвимую к внешним условиям зависимость, изучающую вероятное значение безаварийной работы судна.

$$P = \frac{\sum_{i=1}^n (1 - P_{Ai})}{n} = \frac{0.91 + 0.91 + 0.75 + 0.99 + 0.65 + 0.97 + 0.94 + 0.98}{8} = 0.8875 \quad (5)$$

Где  $n$  – количество элементов массива  $P_A$ , а  $P_{Ai}$  – элемент массива вероятностей возникновения аварийных ситуаций.

Итоговое выражение представляет собой утрированную, но крайне наглядную форму применения теории вероятностей. Фактически при минимуме исходных данных мы можем увидеть узкие места и заранее спланировать контрмеры для обеспечения безопасности.

Все вышеперечисленное является не просто базовыми знаниями, а в некоем роде предстают фактически константами, на основе которых и строятся дальнейшие исследования.

Значительно более сложные системы существуют уже достаточно продолжительное время, а их разработка берёт своё начало ещё в 20 веке. За это время естественным образом было разработано и воплощено множество различных систем и методик, но хотелось бы обратить внимание на одну из них.

Безусловно, ни один метод на данный момент не имеет возможности учитывать все необходимые параметры, однако даже такая, на первый взгляд ограниченность, уже на порядок сложнее, а их результаты являются реально применимыми в прикладных задачах.

Отличительной особенностью выбранной системы из множества подобных является наглядная интерпретация использования статистических данных путём составления гистограммы.

В методах оценки риска столкновения базовым понятием является дистанция наибольшего сближения судов. Считается, что при безопасном движении дистанция наибольшего сближения судов должны быть больше некоторого критического значения.

Развивая эту мысль в представленной системе, пришли к следующему алгоритму:

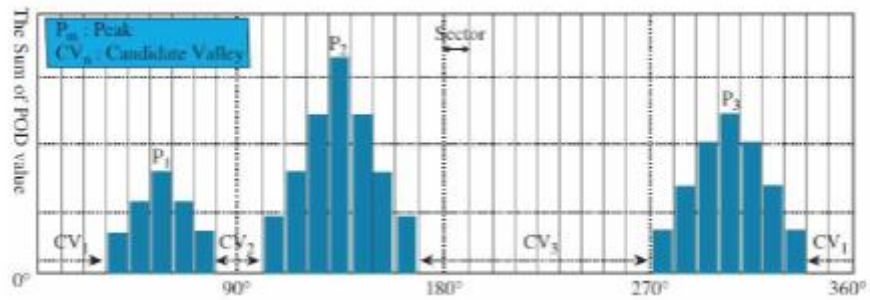


Рис. 2. Алгоритм предупреждения столкновений, работающий с использованием экспериментальной базы статистических данных. Гистограмма риска столкновения.<sup>[3]</sup>

На основе данных из экспериментальной базы данных, составляется гистограмма, с осью абсциссы, представляющей курс судна и областями CV – значениями безопасных курсов движения.

Система на основе гистограммы сравнивает возможные курсы судна и выделяет их в различные области («сектора»), отмечая их как разрешённые и запрещённые.

И уже отмеченные сектора проверяет на соответствии с правилами МПСС (Правила предупреждения столкновений судов в море) - универсальный международный договор (конвенция).

Таким образом она позволяет спрогнозировать все возможные исходы и заранее проработать выбрать наиболее безопасный курс для предотвращения аварий и других чрезвычайных ситуаций.

Хоть данная система не учитывает влияние внешней среды, вообще возникновение таких проектов и ведущаяся в этих областях работа показывает, что теория вероятностей активно используется и применяется для работы на море.

В заключении можно сказать следующее:

1. Оценка рисков является неотъемлемой частью работы судоводителя, а потому необходимо владеть инструментами и знаниями для её производства.
2. Курс специальных предметов затрагивает не только навыки, необходимые для выполнения непосредственно профессиональных работ, но и

математические концепции, в том числе – теорию вероятностей как элемент математического аппарата для оценки рисков.

3. Теория вероятностей лежит в основе прогнозирования и планирования безопасности морских работ, а потому любой судоводитель обязан использовать это в своей работе для принятия решений.

### **Список источников**

1. Теория вероятностей и ее инженерные приложения : учебное пособие / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров – Москва: Юстиция, 2018 [Электронный ресурс]: [https://azon.market/image/catalog/v\\_1/product/f16/298/2972192.pdf](https://azon.market/image/catalog/v_1/product/f16/298/2972192.pdf)

2. Обзор аварийности с судами на море и на внутренних водных путях Российской Федерации: Официальное издание // Федеральная служба по надзору в сфере транспорта, Москва, 2023 [Электронный ресурс]: <https://butc.ru/f/2022.pdf>

3. Ли У. И., Ким У. Г. «A collision avoidance system for autonomous ship using fuzzy relational and COLREGS» // Труды по интеллектуальной инженерии данных и автоматизированному обучению (IDEAL) 2004, Пятая международная конференция. – 2004 г.