УДК 656.91.08:004.942

*М. М. Еремин, И. А. Кулезнев, В. И. Меньшиков*

# ОЦЕНКА ЗАТРАТ НА ЛИКВИДАЦИЮ ПОТЕРЬ ПРИ НАВИГАЦИОННОМ ИЛИ ПРОМЫСЛОВОМ ПРОИСШЕСТВИИ

Утверждается, что существует довольно внушительное множество неопределенностей, размывающее параметры принятой в морском судовождении математической модели риска, учет которых является необходимым условием для эффективной оценки и соответствующей интерпретации риска. Предложен механизм выбора величины тяжести последствий при реализации нежелательного навигационного события, который позволяет с вероятностью, стремящейся к единице, найти величину навигационного риска как параметра соответствующей опасности в складывающейся навигационной либо навигационно-промысловой ситуации. Рекомендованы алгоритмы, которые на базе принятой формальной зависимости позволяют осуществить рандомизированный выбор варианта риска с условной вероятностью и перестроить вектор вероятностей такого выбора на основе получаемой информации о возможных затратах на ликвидацию последствий от навигационного аварийного происшествия.

**Ключевые слова:** математическая модель расчета величины риска, множество неопределенностей, механизм выбора величины степени тяжести последствий, рандомизированный выбор варианта.

## Введение

При выполнении «жесткой» логической программы плавания судна по заданному маршруту, оценки опасностей и их параметров (рисков), а также при выборе критического уровня рисков должны учитываться все потенциально опасные события, любые смягчающие факторы и характеристики, а также природа и частота возможных пагубных последствий, идентифицированных как опасности [1, 2].

Меры по предупреждению опасностей следует распространять на людей, имущество и окружающую среду, учитывая при этом неопределенность как при оценке частот появления нежелательных событий, так и стоимостных затрат на их ликвидацию [3].

Методы, используемые для оценки параметра опасности (величины риска), обычно являются физическими величинами, несмотря на то, что степень детализации физического основания при подготовке исходной информации зависит от конкретного применения. Поэтому достоверный количественный анализ опасностей не всегда возможен из-за недостатка информации, в частности, особенностей поведения «человеческого элемента». При таких обстоятельствах более эффективным может оказаться качественное сравнительное ранжирование рисков с привлечением специалистов, которые хорошо информированы и ориентированы в области обеспечения безопасности плавания судна. Даже тогда, когда качественное сравнительное ранжирование проводится компетентными специалистами, должны привлекаться четкие термины с обоснованием всех используемых классификаций параметров опасностей [4, 5].

В том случае, когда проводится полная количественная оценка величины параметра опасности, следует учитывать, что расчетные значения риска представляют собой только оценки. Поэтому следует позаботиться о том, чтобы их точность соответствовала как точности исходных данных, так и точности используемых аналитических методов расчета. Процесс расчета оценки риска в качестве параметра опасности можно рассматривать как попытку найти вероятность развития опасной ситуации по конкретному сценарию с оценкой тяжести последствий от реализации этой ситуации.

## Необходимые условия для интерпретации и эффективной оценки риска

Для определения величины риска как физической величины в рекомендациях к «Формальной оценке безопасности», разработанных Международной морской организацией (ИМО), рекомендуется использовать достаточно простую модель вида

$$Q = F \cdot C, \tag{1}$$

где $Q$ – величина риска; $F$ – частота (или вероятность) появления нежелательного события; $C$ – степень тяжести (затраты, определенные на уровне функции полезности) последствий от реализации нежелательного события.

В рекомендациях к «Формальной оценке безопасности» ИМО формулирует процесс оценки величины риска вида (1) и подчеркивает общность использования модели (1) при определении параметра для всех видов навигационных опасностей. При этом в первую очередь рекомендуется анализировать возможные причины возникновения опасности (с целью определения частоты ее возникновения) в виде количественной вероятностной характеристики. Если навигационное происшествие несет с собой существенные затраты на ликвидацию последствий от аварии, то второй операцией анализа является определение величины этих затрат.

Определение частот появления нежелательных навигационных событий, которые используются в модели оценки величины риска (1), желательно выполнять в момент идентификации опасности, при этом можно использовать следующие три подхода:

– использование имеющихся статистических данных (предысторий);

– получение частот происходящих событий на основе аналитических или имитационных методов;

– использование мнений экспертов.

Все эти подходы могут применяться по отдельности или в совокупности. Первые два подхода являются взаимодополняющими, поскольку каждый из них имеет доминирующие особенности там, где другой обладает лишь слабыми возможностями. Поэтому там, где это возможно, должны применяться оба подхода для проведения взаимных проверок, причем такие проверки способны повысить степень достоверности и, соответственно, степень доверия к получаемым результатам. Однако в тех случаях, когда рекомендуемые подходы не могут по каким-либо причинам использоваться на практике либо являются недостаточно информационно емкими, для оценки частоты появления опасностей рекомендуется опираться на мнения экспертов.

В то же время оценка величины материальных затрат, которые должны быть направлены на ликвидацию последствий от реализации нежелательного события, должна:

– основываться на прошлых элементах анализа нежелательных событий, произошедших в данном навигационном районе;

– учитывать любые варианты развития опасности, с оценкой затрат на ликвидацию последствий от этой опасности;

– учитывать существующие меры, направленные на снижение затрат от нежелательных последствий, наряду со всеми соответствующими условиями, оказывающими влияние на затраты;

– устанавливать критерии, используемые для полной идентификации затрат на ликвидацию последствий;

– рассматривать и учитывать как немедленные последствия, так и те, которые могут проявиться по прошествии определенного периода времени, если это не противоречит сфере распространения анализа;

– рассматривать и учитывать вторичные последствия, распространяющиеся на морскую среду.

Таким образом, очевидно, что существует мощное множество неопределенностей (множество с большим, но конечным числом элементов), размывающее параметры модели (1) при идентификации рисков. Причем понимание причин появления неопределенностей, их анализ, а также учет чувствительности модели (1) к этим неопределенностям являются необходимыми условиями для эффективной оценки и соответствующей интерпретации риска.

**Механизм выбора величины тяжести последствий при реализации нежелательного навигационного события**

Очевидно, что чувствительность модели (1) является той областью, которая тесно примыкает к анализу неопределенностей, сопутствующих процессу расчета величины риска. Из содержания самой формальной модели (1) следует, что наиболее чувствительной к влиянию неопределенностей должна быть субъективно назначаемая величина $C$ – степень тяжести последствий (затрат) от реализации нежелательного события. Поэтому для снижения уровня чувствительности величины риска от степени тяжести (затрат) будем использовать в качестве модели расчета величины риска, вместо выражения (1), модель, которая является случайной зависимостью и записывается так:

$$q_n = q_n(f, c_n), \tag{2}$$

где $q_n \in Q$ и $f \in F$; $c_n \in C$.

В этом выражении величина $q_n$ имеет смысл вероятностной потери (риска), соответствующей варианту $c_n$ степени тяжести последствий от реализации нежелательного события, которое может произойти с некой постоянной вероятностью, равной $f$. Для снижения уровня чувствительности величины риска от неопределенностей, связанных с субъективным назначением величины степени тяжести последствий (затрат), далее будем считать, что имеется $N$ возможных вариантов оценок $c(1), ..., c(N)$, и в каждый момент времени $t_n\,(n=0,1, ...;\ t_{n+1} > t_n)$ происходит выбор одного из них. Пусть далее величины $q_n$ определяются до наступления момента времени $t_{n+1}$, причем последовательность вариантов величины степени тяжести (стоимости) $c_n \in C$ и случайные функции $q_n(f, c_n)$; $c_n \in C$ удовлетворяют следующим условиям:

$$q_n(f, c(i)) = \begin{cases} 1, \text{ с вероятностью } \nu_i \\ 0, \text{ с вероятностью } 1-\nu_i \end{cases}, \tag{3}$$

где величину $q_n = 1$ следует интерпретировать как «штраф» за выбор соответствующего варианта степени тяжести $c_n = c(i)$, а $q_n = 0$ – как «поощрение» ($i = 1, N$, $n = 0,1, ...$).

Кроме того, пусть для любых $n = (0,1, ...)$ и $c \in C$ случайная величина $q_n(f, c)$ и совокупность вида

$$\{c_k, q_t(f, c) | k = 0, n, t = 0, n-1\} \tag{4}$$

не зависимы друг от друга.

В тех случаях, когда выполняются условия (2) и (4) и допустимы к использованию соотношения

$$\nu_\alpha < \alpha/(1+\alpha);\ \nu \geq \alpha/(1+\alpha);\ p_0(\alpha) > 0,$$

можно выбрать единственную и однозначно определенную величину степени тяжести происшествия (величину затрат) $c(\alpha) \in C$, соответствующую минимальным средним потерям

$$M\{q_n(f, c(\alpha))\} = \nu_\alpha < \nu = \min_{i \neq \alpha} \nu_i, \tag{5}$$

которую в данном случае можно считать оптимальной. Тогда задача выбора величины $c(\alpha) \in C$ может быть решена методом перебора элементов из $C$ так, чтобы обязательно использовалась текущая информация вида

$$\{c_t, q_t(f, c) | t = 0, n-1\}.$$

Предложенный механизм выбора величины степени тяжести последствий от реализации нежелательного навигационного события, включенный в состав модели (1), позволит за счет снижения уровня чувствительности с вероятностью, стремящейся к единице, установить оптимальный вариант величины затрат на ликвидацию последствий от навигационного происшествия $c_{\text{опт}}$, а при заданном или идентифицированном значении $f$ найти величину навигационного риска $q_n \in Q$ как параметра соответствующей опасности в складывающейся навигационной либо навигационно-промысловой ситуации.

В общем случае предложенный механизм выбора величины $c_{\text{опт}} \in C$ может быть отнесен к разряду обучающихся, когда набор априори неизвестных чисел $\nu_i$ в условии (3) характеризует свойства «случайной внешней среды», а условие (4) соответствует требованию независимости статистических свойств внешней среды в момент времени $t_n$ от предыстории процесса:

$$\{c_t, q_t(f, c) | t = 0, n-1\}.$$

Для практической реализации оптимизационной задачи (5) в информационных и экспертных системах, обеспечивающих безопасность плавания судна, можно рекомендовать алгоритмы, которые, используя формальную зависимость (5), на каждом шаге $n = 0,1, \ldots$ осуществляют рандомизированный выбор варианта $c_n = c(t)$ с условной вероятностью равной

$$p_n(i) = P\{c_n = c(t)/c_k, q_k(k = 0, n - 1)\}$$

и перестраивают вектор $p_n^T = (p_n(1), \ldots, p_n(N))$ вероятностей такого выбора на основе получаемой информации вида $q_n(f, c_n)$ о возможных затратах на ликвидацию последствий от навигационного аварийного происшествия.

**Заключение**

При реализации жесткой логической программы плавания судна по заданному маршруту оценку величины текущего риска можно искать с помощью предложенного механизма выбора величины потерь. Предложенный механизм выбора за счет снижения уровня чувствительности с вероятностью, стремящейся к единице, позволяет найти оптимальный вариант величины затраты $c_{\text{опт}} \in C$ и при заданном значении $f$ получить величину риска $q_n \in Q$ как параметра соответствующей навигационной опасности в складывающейся навигационной либо навигационно-промысловой ситуации.

*СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ*

1. *Гладышевский М. А., Пасечников М. А., Пеньковская К. В.* Организационно-технические структуры, обеспечивающие безопасную эксплуатацию судна / под общ. ред. В. И. Меньшикова. Мурманск: Изд-во МГТУ, 2008. 212 с.
2. *Меньшиков В. И., Суслов А. Н., Шутов В. В.* Проблемы безопасного мореплавания в сложных навигационных условиях стесненных вод / под общ. ред. В. И. Меньшикова. Мурманск: Изд-во МГТУ, 2013. 186 с.
3. *Ключко Д. В., Сиротюк А. А., Меньшиков В. И.* Доминируемые и недоминируемые риски при разрешении проблемной навигационной ситуации // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2012. № 1. С. 247–250.
4. *Меньшиков В. И., Пасечников М. А., Душин В. Л.* Повышение достоверности навигационной информации в ходе несения штурманской вахты при заданных потерях // Вестн. МГТУ: Тр. Мурман. гос. техн. ун-та. 2011. Т. 14. № 4. С. 733–736.
5. *Смирнов А. Ж., Сиротюк А. А., Меньшиков В. И.* Разрешение проблемных ситуаций с минимизацией ошибок сравнения результатов управления состоянием безопасности судна // Вестн. МГТУ: Тр. Мурман. гос. техн. ун-та. 2011. Т. 14. № 3. С. 481–483.

Статья поступила в редакцию 28.10.2016

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

***Еремин Михаил Михайлович*** – Россия, 183010, Мурманск; Мурманский государственный технический университет; канд. техн. наук, доцент; доцент кафедры судовождения; ereminmm@mstu.edu.ru.

***Кулезнев Игорь Александрович*** – Россия, 183010, Мурманск; Мурманский государственный технический университет; старший преподаватель кафедры судовождения; igor.kuleznev@yandex.ru.

***Меньшиков Вячеслав Иванович*** – Россия, 183010, Мурманск; Мурманский государственный технический университет; д-р техн. наук, профессор; профессор кафедры судовождения; kseniamgtu@rambler.ru.

*M. M. Eremin, I. A. Kuleznev, V. I. Menshikov*

# COST ESTIMATES FOR THE ELIMINATION OF LOSSES IN THE NAVIGATION OR FISHING ACCIDENT

**Abstract.** It is alleged that there is quite an impressive array of uncertainties, diluting the parameters of the mathematical model of risk adopted in the marine navigation, the registration of which is essential for effective assessment and appropriate interpretation of risk. The selection mechanism of the value of consequence severity when implementing unwanted navigation event, which makes the probability tending to one, find the value of the navigation risk as the parameter corresponding to the danger emerging in the navigation or navigation and fishing situation. The recommended algorithms that are based on the adopted formal dependence allow carrying out a randomized selection of risk variant with conditional probability and reshaping probability vector of such a choice on the basis of the received information on possible costs to eliminate the consequences of the navigation accident.

**Key words:** a mathematical model for calculating the amount of risk, array of uncertainties, selection mechanism of the value of the degree of consequence severity, randomized selection of options.

*REFERENCES*

1. Gladyshevskii M. A., Pasechnikov M. A., Pen'kovskaia K. V. *Organizatsionno-tekhnicheskie struktury, obespechivaiushchie bezopasnuiu ekspluatatsiiu sudna* [Organizational and technical structures ensuring the safe operation of the ship]. Pod obshchei redaktsiei V. I. Men'shikova. Murmansk, Izd-vo MGTU, 2008. 212 p.
2. Men'shikov V. I., Suslov A. N., Shutov V. V. *Problemy bezopasnogo moreplavaniia v slozhnykh navigatsionnykh usloviiakh stesnennykh vod* [Problems of safe navigation in difficult navigation conditions of confined waters]. Pod obshchei redaktsiei V. I. Men'shikova. Murmansk, Izd-vo MGTU, 2013. 186 p.
3. Kliuchko D. V., Sirotiuk A. A., Men'shikov V. I. Dominiruemye i nedominiruemye riski pri razreshenii problemnoi navigatsionnoi situatsii [Dominated and non-dominated risks in resolving problem navigation situation]. *Nauchnye problemy transporta Sibiri i Dal'nego Vostoka*, 2012, no. 1, pp. 247–250.
4. Men'shikov V. I., Pasechnikov M. A., Dushin V. L. Povyshenie dostovernosti navigatsionnoi informatsii v khode neseniia shturmanskoi vakhty pri zadannykh poteriakh [Increasing the reliability of navigation information in the navigational watch for given losses]. *Vestnik MGTU: Trudy Murmanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2011, vol. 14, no. 4, pp. 733–736.
5. Smirnov A. Zh., Sirotiuk A. A., Men'shikov V. I. Razreshenie problemnykh situatsii s minimizatsiei oshibok sravneniia rezul'tatov upravleniia sostoianiem bezopasnosti sudna [Resolution of problem situations while minimizing the comparison errors of the management results of the ship safety state]. *Vestnik MGTU: Trudy Murmanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2011, vol. 14, no. 3, pp. 481–483.

The article submitted to the editors 28.10.2016

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

***Eremin Mikhail Mikhailovich*** – Russia, 183010, Murmansk; Murmansk State Technical University; Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; Associate Professor of the Department of Navigation; ereminmm@mstu.edu.ru.

***Kuleznev Igor Aleksandrovich*** – Russia, 183010, Murmansk; Murmansk State Technical University; Senior Lecturer of the Department of Navigation; igor.kuleznev@yandex.ru.

***Menshikov Vyacheslav Ivanovich*** – Russia, 183010, Murmansk; Murmansk State Technical University; Doctor of Technical Sciences, Professor; Professor of the Department of Navigation; kseniamgtu@rambler.ru.