

ЗАКОН ХАЙНРИХА: РАСШИРЕНИЕ МАТРИЦЫ ОЦЕНКИ РИСКА В ОБЛАСТЬ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА

Несмотря на развитие технических средств навигации, средств и методов подготовки плавсостава судов, совершенствование технологий постройки судов, аварийность на море продолжает оставаться на достаточно высоком уровне. Одной из превентивных мер, направленных на снижение количества морских происшествий, является введение в мореплавании механизма оценки и управления риском в судовых операциях, который регламентируется многими международными инструментами, включая такие конвенции, как Международная Конвенция по охране человеческой жизни на море (СОЛАС-74), Конвенция по подготовке, дипломированию моряков и несению вахты (ПДНВ-78), Конвенция о труде в морском судоходстве (КТМС-2006), а также ряд других международных стандартов.

Необходимо отметить, что наиболее значимой причиной аварийности на море является человеческий фактор [1], а психологическое состояние моряков является его неотъемлемой составляющей. На рис. 1 в процентах показана статистика влияния человеческого фактора, а именно ошибок человека, на различные происшествия в мореплавании [2]. В документе [1] содержатся важные рекомендации по его учету, но человеческий фактор трудно поддается формализации, поэтому разработка прямой адекватной модели психологического состояния и поведения человека в различных ситуациях не является простой задачей. Если следовать стандартному алгоритму оценки риска и не использовать специальную технологию психологического тестирования, то в качестве альтернативы возможно применение косвенных вероятностных, но достаточно обобщенных подходов для постановки такой задачи.



Рис.1. Влияние ошибок человека на аварийность в мореплавании

Одной из основ для построения матрицы риска с учетом человеческого фактора может быть закон Хайнриха, согласно которому число происшествий обратно пропорционально тяжести последствий от них. Эта формулировка приводит к выводу о том, что сведение к минимуму числа незначительных

происшествий в среднем приведет к уменьшению вероятности (частоты) возникновения крупных аварий, т. е. к снижению риска. Формулировка закона интуитивно понятна и не вызывает противоречий.

В документах ИМО риск определяется как комбинация вероятности (частоты) происшествий и тяжести последствий от них, а формула для оценки риска выглядит следующим образом:

$$R = FS, \quad (1)$$

где F — частота, определяется как количество происшествий в единицу времени (например, на судно в год), либо это отношение числа результатов конкретных событий (происшествий) к общему числу возможных событий;

S — тяжесть последствий от происшествий за этот же период времени в единицах потерь определенного количества ресурсов (деньги, время, люди и др.).

В текстах судовых документов, которые зачастую составлены на английском языке, не делается особых различий между терминами «вероятность» (probability, likelihood) и «частота» (frequency). Отсутствие математической строгости может быть оправдано наличием существенных неопределенностей в информации, используемой для оценки риска.

Документ [1] рекомендует в качестве инструмента для оценки риска применять упрощенную матрицу, построенную на индексах RI , FI и SI , заменяющих дробные статистические значения R , F и S , что является наиболее приемлемым подходом в процедурах оценки риска на практике, позволяя использовать целые положительные числа вместо десятичных дробей. Причем значения R , F и S округляются с точностью до десятичного разряда, что вполне согласуется с влиянием неопределенностей на оценку параметров риска. Такой подход к представлению R , F и S полностью оправдан для применения в решении сугубо прикладных задач прогноза риска и используется в большинстве судовых форм без интерполяции, с округлением величины риска согласно эмпирическому правилу хорошей морской практики «считай себя ближе к опасности». Для формирования таких индексов применяется логарифмическая шкала, а формула (1) преобразуется в ее логарифмический аналог:

$$\lg(R) + A = \lg(F) + B + \lg(S) + C, \quad (2)$$

где A , B и C — целые положительные числа, при этом $A = B + C$.

Константы A , B и C , в принципе, могут быть любыми целыми числами, так как не меняют величин R , F и S . В документе [1] используются константы, показанные ниже, и тогда соответствующие индексы определяются следующим образом:

$RI = \lg(R) + A$ — индекс риска ($A = 9$);

$FI = \lg(F) + B$ — индекс частоты ($B = 6$);

$SI = \lg(S) + C$ — индекс тяжести последствий ($C = 3$).

В результате индекс риска RI и соответствующий ему риск R оцениваются через индексы частоты и тяжести последствий происшествия следующим образом:

$$RI = FI + SI. \quad (3)$$

После логарифмирования формулы (1) и введения констант полученный индекс частоты FI и его описание представлены в табл. 1, а индекс тяжести последствий SI — в табл. 2.

Таблица 1

Частота происшествий и индекс частоты

FI	Частота F	Описание	F (на судно в год)
7	Часто	Может случаться один раз в месяц на одном судне	10^1
5	Весьма вероятно	Может случаться на десяти судах один раз в год, т. е. может произойти несколько раз за период эксплуатации судна	10^{-1}
3	Вероятно	Может случаться на 1000 судов один раз в год, т. е. может произойти несколько раз за период эксплуатации нескольких подобных судов	10^{-3}
1	Очень маловероятно	Может случаться на 5000 судов за эксплуатационный период в 20 лет	10^{-5}

Таблица 2

Последствия происшествия и индекс тяжести последствий

S1	Тяжесть последствий происшествия	Воздействие на безопасность человека	Воздействие на судно	S (эквивалент фатальных исходов)
1	Незначительные	Одно или малые повреждения	Небольшое повреждение оборудования	10^{-2}
2	Существенные	Многочисленные или серьезные травмы	Нетяжелое повреждение судна	10^{-1}
3	Серьезные	Один фатальный исход или многочисленные тяжелые травмы	Серьезное повреждение	10^0
4	Катастрофические	Многочисленные фатальные исходы	Полная потеря	10^1

Матрица оценки риска, построенная по формуле (3), представлена в табл. 3.

Матрица оценки риска

Индекс риска RI						
Частота происшествий F и индекс частоты FI			Тяжесть последствий в фатальных исходах (S) и индекс тяжести последствий (SI)			
FI	F (на судно в год)	SI	1	2	3	4
		S	10 ⁻² незначительные	10 ⁻¹ существенные	10 ⁰ серьезные	10 ¹ катастрофические
7	10 ¹ (часто)		8	9	10	11
6	10 ⁰		7	8	9	10
5	10 ⁻¹ (весьма вероятно)		6	7	8	9
4	10 ⁻²		5	6	7	8
3	10 ⁻³ (вероятно)		4	5	6	7
2	10 ⁻⁴		3	4	5	6
1	10 ⁻⁵ (очень маловероятно)		2	3	4	5

Следующие обобщённые критерии широко используются в качестве рекомендованных границ зоны допустимого индивидуального риска в мореплавании, они опубликованы в том же документе [1]: RI = 3 ($R = 10^{-6}$) — нижняя граница зоны допустимого индивидуального риска в фатальных исходах (ФИ — fatality) для члена экипажа на судно в год; RI = 6 ($R = 10^{-3}$) — верхняя граница зоны допустимого риска. Между этими границами находится зона индивидуального риска (настолько низкого, насколько это практически возможно), которая называется зоной допустимого риска (ALARP — as low as reasonably practicable).

Использование ИМО для оценки риска таких «неделикатных» единиц как «фатальные исходы» можно объяснить самой сутью Конвенции СОЛАС-74, отраженной в ее названии: «Международная Конвенция по охране

человеческой жизни на море». В документах ИМО в качестве рекомендации предлагается использовать эквивалент единицы измерения «фатальный исход», предполагающий ее простое соотношение с легкими и тяжелыми травмами (ЛТ, ТТ): 1ФИ = 10 ТТ и 1ТТ = 10 ЛТ. В работе [6] приведены следующие комментарии, поясняющие суть термина: «Риск не является постоянной, измеримой и реальной сущностью. Количественная оценка риска должна пониматься как оценка, которая выполняется для конкретных моментов времени и является предметом влияния значительных неопределенностей, которые невозможно точно измерить, и чем реже наблюдается событие, тем более катастрофическими последствиями оно обычно характеризуется, и тем менее надежны статистические данные и оценки, полученные на основе этой информации». Значения F и S, приведенные в табл. 1 – 3, не являются обязательными для оценки и анализа риска. Размерность матрицы риска может быть изменена за счет изменения количества строк и столбцов в зависимости от того, насколько детально компания предполагает различать категории F и S. На судах не рекомендуется применять матрицы размерностью больше, чем 5×5.

На практике в судовых условиях термины, используемые для определения вероятности (частоты) и тяжести последствий происшествия, могут иметь еще более упрощенную интерпретацию для облегчения их понимания и приложения. Например, термин «вероятность происшествия» может быть выражен как «один раз за рейс», «один раз за год» или «один раз за год для судов компании». Тяжесть последствий от происшествия может интерпретироваться как «необходима первая медицинская помощь», «тяжелая травма», «фатальный исход» и т. д.

Результаты (Results)

Одним из фундаментальных принципов в идеологии судовых систем управления безопасностью (СУБ) является принцип обратной связи, без которого не может быть создан ни один механизм управления. В рамках области оценки рисков этот механизм работает на основе статистического закона Хайнриха, а его применение косвенно регламентируется разд. 9 Международного кодекса по управлению безопасностью (МКУБ). В соответствии с положениями пп. 9.1 – 9.2 данного кодекса «система управления безопасностью должна включать процедуры, обеспечивающие передачу сообщений Компании о несоответствиях, несчастных случаях и опасных ситуациях, их расследование и анализ с целью совершенствования безопасности и предупреждения загрязнения». В свою очередь, «компания должна установить процедуры по выполнению корректирующих действий, включая меры, направленные на предупреждение повторений». Как видим, алгоритм обратной связи, регламентируемый в МКУБ, по своей структуре ничем, кроме терминологии, не отличается от алгоритмов системы управления качеством.

Закон Хайнриха определяет обобщенную статистическую связь между такими категориями опасностей как «небезопасные условия», «небезопасные действия» и «потенциально-опасные ситуации» (ПОС) с прогнозом частоты (вероятности) реального происшествия и тяжести его последствий. В информационных ресурсах не публикуется достаточное количество профессиональной статистики о прямых последствиях психологической усталости для тех моряков, которые многократно испытывали такие опасности (например, опасность посадки судна на грунт или опасность столкновения) или многократно попадали в другие потенциально опасные ситуации, а поэтому для анализа использовалась косвенная информация.

В табл. 4 и 5 приведены заимствованные из документов [7], [8] примеры ситуаций, возникающих во время несения ходовой навигационной вахты, и их причины, описанные капитанами, лоцманами и вахтенными помощниками (более 2000 ответов).

Таблица 4

Потенциально опасные ситуации, %

1	Я чувствую неожиданную опасность из-за маневрирования другого судна	32%
2	Мое судно находится очень близко к другому судну, бую или какому-либо препятствию	17
3	Возможность маневрирования сильно ограничена из-за близости другого судна	16
4	Основное оборудование (главный двигатель, рулевое устройство, радар) не работает	12
5	Направление движения и скорость моего судна не соответствуют моим ожиданиям	7
6	Направление движения и скорость моего судна не поддаются контролю	7
7	Мое судно приблизилось к рифу или мелководью	5
8	Другое	4

Таблица 5

Причины возникновения потенциально опасных ситуаций, %

1	Судно-цель нарушило правила маневрирования	23
2	Судно-цель не обнаружило мое судно	15
3	Дрейф судна вследствие влияния сильного прилива	9
4	Ошибка в определении направления	9
5	Концентрация внимания не на должном объекте	7
6	Судно-цель не несло ходовые огни	5
7	Сбой в запуске двигателя	4
8	Запоздалое понимание ситуации из-за выполнения других работ	4
9	Сбой в работе рулевого устройства	3
10	Цель не была обнаружена радаром	3
11	Некорректное переключение режимов работы приборов	2
12	Судно-цель не идентифицировано из-за налетевшего шквала	2
13	Сбой в работе компаса	1
14	Неправильная настройка авторулевого	1

15	Некорректная настройка радара	1
16	Сбой в работе радара	1
17	Некорректная настройка САРП	1
18	Цель не была обнаружена САРП	1
19	Другое	8

Графическая иллюстрация закона Хайнриха описывает четыре уровня происшествий и показана на рис. 2. Эти уровни I – IV в интерпретации компании NYK приведены в документе [9] с точностью до десятичного разряда, т. е. аналогично определению параметров F и S в матрице оценки риска. Причем ряд судоходных компаний тоже применяют статистические зависимости, основанные на законе Хайнриха, но используют другие пропорции, адекватные их структуре, виду деятельности, а также численности и типу судов, находящихся в эксплуатации.

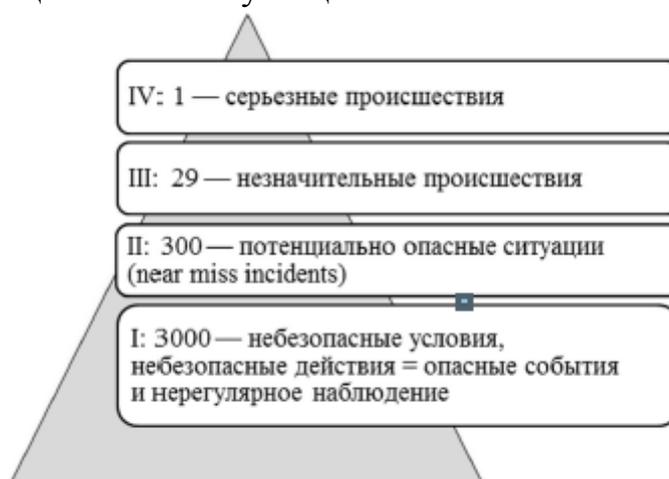


Рис. 2. Уровни закона Хайнриха

Для сохранения адекватности представлению данных в матрице риска (см. табл. 3) до десятичного разряда необходимо, чтобы указанные в формуле (2) константы имели следующие минимальные значения: $A = 11$; $B = 6$; $C = 5$. В результате введения этих констант, расширенная матрица оценки риска будет выглядеть следующим образом (табл. 6).

Расширенная матрица оценки риска

Индекс риска RI								
Частота происшествий F и индекс частоты FI		Тяжесть последствий в фатальных исходах (S) и индекс тяжести последствий (SI)						
FI	F (на судно в год)	SI	1	2	3	4	5	6
		S	10 ⁻⁴ психологич. напряжение	10 ⁻³ стресс	10 ⁻² незначительные	10 ⁻¹ существенные	10 ⁰ серьезные	10 ¹ Катастрофические
7	10 ¹ (часто)		8	9	10	11	12	13
6	10 ⁰		7	8	9	10	11	12
5	10 ⁻¹ (весьма вероятно)		6	7	8	9	10	11
4	10 ⁻²		5	6	7	8	9	10
3	10 ⁻³ (вероятно)		4	5	6	7	8	9
2	10 ⁻⁴		3	4	5	6	7	8
1	10 ⁻⁵		2	3	4	5	6	7
Уровни закона Хайнриха		I — Небезопасные условия и действия	II — ПОС	III — Незначит. происшествия	IV — серьезные происшествия			

В нижней строке расширенной матрицы риска показаны уровни закона Хайнриха в соответствии с работой [9]. Уровни I и II введены простым способом линейной экстраполяции индекса тяжести последствий происшествия SI области небезопасных условий и действий и потенциально опасных ситуаций.

Обсуждение (Discussion)

Ситуации на уровнях I и II не приводят непосредственно к авариям и катастрофам, но они оказывают влияние на вероятность (частоту) их возникновения, что при определенной «критической массе» таких ситуаций, распределенных в конкретном интервале времени, может привести к психологическому (ментальному) напряжению моряков (см. табл. 4 и 5). Если ситуации на уровнях I и II происходят часто, то можно предположить, что это может вызвать повышенное психологическое напряжение и стресс, а это, в свою очередь, может повысить уровень риска в судовых операциях. Следует также отметить, что, несмотря на требование МКУБ, компания может не иметь достаточной информации о ситуациях на уровнях I и II, так как фактического ущерба (потерь ресурсов) от таких происшествий не происходит, и экипаж зачастую не сообщает эту информацию в компанию вследствие возникающих

психологических барьеров, нарушая принципы «справедливой культуры» [10], а это ведет к повышению риска.

Среди вопросов, требующих профессионального психологического исследования, прежде всего необходимо обратить внимание на интервал времени, в течение которого накапливается критическое психологическое напряжение моряка, переходящее в стресс.

Заключение (Conclusion)

Используемый подход к составлению матрицы риска и его объединение с уровнями I–IV закона Хайнриха, дает основание построить расширенную матрицу риска путем линейной экстраполяции параметра S в область уровней I и II. В принципе, это согласуется с требованием разд. 9 МКУБ о необходимости отправки сообщений об опасных ситуациях на судне в компанию.

Если $RI = 5$ ($R = 10^{-6}$), то это незначительный индивидуальный риск фатальных исходов на судно в год для членов экипажа; если $RI = 8$ ($R = 10^{-3}$) — это максимально допустимый индивидуальный риск. Зона допустимого риска определяется в тех же пределах, что и в матрице-оригинале. Расширенная матрица оценки риска построена на формальных соотношениях, но принципиальные выводы, полученные по двум добавленным столбцам, не противоречат общей логике процессов несения навигационной вахты или любых других судовых операций. Так, например, часто повторяющиеся ситуации на уровне I, что характерно для всех судовых работ, выводят эти работы в зону допустимого риска, но повторяющиеся потенциально-опасные ситуации (уровень II) часто могут создать зону, где риск недопустимо высок.

Таким образом, в результате проведенного аналитического исследования уровни закона Хайнриха интегрированы в матрицу оценки риска, применяемую ИМО в процессе формализованной оценки безопасности, и гармонизированы в соответствии с требованиями МКУБ. В расширенную матрицу оценки риска включены два уровня событий, описанных законом Хайнриха, что позволяет оценивать риск, принимая во внимание как частоту потенциально опасных ситуаций, так и частоту возникновения условий и действий, угрожающих безопасности, т. е. небезопасных условий и небезопасных действий (unsafe conditions, unsafe acts). В матрицу оценки риска введены также такие категории тяжести последствий происшествия, как «ментальное напряжение» и «стресс», возникающие у человека на основе осознания небезопасных условий работы, небезопасных действий и потенциально опасных ситуаций. Расширение матрицы оценки риска в область человеческого фактора на основе включения в нее уровней закона Хайнриха может служить основой для дальнейшего развития методики оценки риска с учетом человеческого фактора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. MSC-MEPC.2/Circ.12/Rev.1 Revised guidelines for FSA for use in the IMO rulemaking process. — International Maritime Organization, 2015. — 70 p.
2. Strategy, planning and reform: Trends, Developments and Challenges facing the IMO in the 2018-2023 period. — 6 May 2016. — С 116/4/1, COUNCIL 116th session. — 97 p. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: www.mit.gov.it/mit/mop_all.php?p_id=6535 (дата обращения: 27.06.2018).
3. ISO 31000: Risk Management — Principles and Guidelines. — 2009. — 36 p. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://ehss.moe.gov.ir/getattachment/56171e8f-2942-4cc6-8957-359f14963d7b/ISO-31000> (дата обращения: 27.06.2018).
4. Goerlandt F. Risk analysis in maritime transportation: principles, frameworks and evaluation: doctoral dissertations / F. Goerlandt. — Aalto University publication series, 2015. — 73 p.
5. Kristiansen S. Maritime Transportation: Safety Management and Risk Analysis / S. Kristiansen. London: Routledge, 2004. — 252 p.
6. A Guide to Risk Assessment in Ship Operations. IACS Recommendation. — No. 127. — 2012. — 8 p.
7. Report on the investigation into near misses. MSC 71/INF.8. — IMO, 1999. — 6 p. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://docs.imo.org/Shared/Download.aspx?did=2431> (дата обращения: 27.06.2018).
8. Report on the investigation into near misses. MSC 74/I5/1. — IMO, 2001. — 31 p. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://docs.imo.org/Shared/Download.aspx?did=10369> (дата обращения: 27.06.2018).
9. NYK Fact book I. Segment Business Data. — Ticker code: 9101. — NYK Group, 2016. — 34 p.
10. Dekker S. Just culture: balancing safety and accountability / S. Dekker. — MPG Books Ltd, Bod-min, Cornwall, 2007. — 166 p.