

DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-3-439-447

STUDY OF THE STRUCTURE OF COEFFICIENT TAKING ACCOUNT THE HUMAN FACTOR UNDER THE NAVIGATION ACCIDENTS

E. P. Burakovskiy, P. E. Burakovskiy

Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russian Federation

The human factor, which one of the main causes of navigation accidents, is investigated. The existing approaches to accounting the influence of the human factor on the navigation safety are analyzed in the paper. The author's approach to the accounting the human factor in the vessels collision is presented. The structure of the coefficient taking into account the human factor, which allows us to estimate its fluctuations during the day, to determine the optimal duration of the voyage and to choose the standard probability of navigation accidents, is proposed. It is assumed that the daily fluctuations of the coefficient taking into account the human factor (skipper vigilance) are described by the sinusoidal law, and during the voyage this coefficient falls exponentially. Using the developed in the research process new mathematical model, the collision probability at the vessel movement in an arbitrary flow of other vessels forming the Poisson field with different intensity taking account the human factor influence has been estimated. This approach allows not only to determine the normative probability of vessels collision, but also to regulate it by tightening the requirements for the coefficient taking account the human factor. The obtained values of the collision probability are in good agreement with the statistical data and results received by the other authors, which indicates the adequacy of the proposed approach to the accounting the human factor influence at assessing the risk of the vessels collision. It has been shown that to minimize the probability of vessels collision, the level of permissible coefficients taking account the human factor has to be in the range of 0.95–1.0. The significant influence of daily fluctuations of the coefficient taking into account the human factor on the probability of vessels collision is proved. A distinctive feature of this work is not a separate consideration of the problem of determining the coefficient that takes into account the human factor, but its direct connection with the probability of a navigation accident, the regulatory probability, the navigation intensity, which allows us to solve a wide range of problems related to the navigation safety providing.

Keywords: navigation safety, vessels collision, human factor, probability, mathematical model, uncontrollable model, vigilance, time of voyage, daily fluctuations, normative probability.

For citation:

Burakovskiy, Evgeny P., and Pavel E. Burakovskiy. "Study of the structure of coefficient taking account the human factor under the navigation accidents." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 11.3 (2019): 439–447. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-3-439-447.

УДК 656.61.052

ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРЫ КОЭФФИЦИЕНТА, УЧИТЫВАЮЩЕГО ЧЕЛОВЕЧЕСКИЙ ФАКТОР ПРИ НАВИГАЦИОННЫХ АВАРИЯХ

Е. П. Бураковский, П. Е. Бураковский

ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,
Калининград, Российская Федерация

Исследована одна из основных причин навигационных аварий — человеческий фактор. Выполнен анализ существующих подходов к учету влияния человеческого фактора на безопасность мореплавания. Представлен авторский подход к учету человеческого фактора при столкновении судов. Предложена структура коэффициента, учитывающего человеческий фактор, которая позволяет оценивать его колебания в течение суток, определять оптимальную продолжительность рейса и выбирать нормативную вероятность навигационных аварий. Принимается, что суточные колебания коэффициента, учитывающего человеческий фактор (бдительность судоводителя), описываются синусоидальным законом, а в течение рейса этот коэффициент падает по экспоненциальному закону. С использованием новой, разработанной в процессе исследования математической модели, выполнена оценка вероятности столкновения при движении судна в произвольном потоке прочих судов, образующих пуассоновское поле с различной

интенсивностью с учетом влияния человеческого фактора. Данный подход позволяет не только определить нормативную вероятность столкновения судов, но и регулировать ее путем ужесточения требований к коэффициенту, учитывающему человеческий фактор. Полученные значения вероятности столкновения хорошо согласуются со статистическими данными и результатами, полученными другими авторами, что свидетельствует об адекватности предлагаемого подхода к учету влияния человеческого фактора при оценке риска столкновения судов. Показано, что для минимизации вероятности столкновения судов уровень допустимых коэффициентов, учитывающих человеческий фактор, должен находиться в диапазоне 0,95–1,0. Доказано существенное влияние суточных колебаний коэффициента, учитывающего человеческий фактор, на вероятность столкновения судов. Отличительной особенностью настоящей работы является не отдельное рассмотрение проблемы определения коэффициента, учитывающего человеческий фактор, а непосредственная связь его с вероятностью возникновения навигационной аварии, нормативной вероятностью, интенсивностью судоходства, что позволяет решать широкий круг задач, связанных с обеспечением безопасности мореплавания.

Ключевые слова: безопасность мореплавания, столкновения судов, человеческий фактор, вероятность, математическая модель, неуправляемая модель, бдительность, время рейса, суточные колебания, нормативная вероятность.

Для цитирования:

Бураковский Е. П. Изучение структуры коэффициента, учитывающего человеческий фактор при навигационных авариях / Е. П. Бураковский, П. Е. Бураковский // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2019. — Т. 11. — № 3. — С. 439–447. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-3-439-447.

Введение

Известно, что основной причиной навигационных аварий является так называемый *человеческий фактор* [1]. Поэтому многие отечественные и зарубежные ученые занимались исследованием этого вопроса. Здесь следует отметить прежде всего специалистов, внесших наибольший вклад в решение этой проблемы, таких как В. В. Вейхман [1] и Ф. М. Кацман [2], которые проанализировали практически все аспекты человеческого фактора в судовождении. Проблеме нормирования при обеспечении безопасной эксплуатации судов посвящены работы В. Д. Клименко [3]. Исследованием природы человеческих ошибок занимался М. А. Котик [4], исследованием учета человеческого фактора при оценке безопасности мореплавания занимались М. Л. Маринов [5] и В. А. Туркин [6]. Аналитические модели для оценки риска навигационных аварий предложены М. Celik, S. Cebi [7], С. Macrae [8], М. R. Martins, М. С. Maturana [9]. Исследованию роли человеческого фактора в авариях на море посвящены работы W. O'Neil [10], Y. Zhang, Y. Zhan, Q. Tan [11] и др. Значительный вклад в решение проблемы оценки риска навигационных аварий и снижения их последствий внес Р. Т. Pedersen [12]. Этими и другими авторами были проанализированы различные аспекты, оказывающие влияние на человеческий фактор, такие как психофизиологические и психологические, анатомические и физиологические особенности человека, а также усталость, компетентность, языковые проблемы, образование, конфликтность в экипаже, отрицательные черты отдельных его членов, недисциплинированность, невежество, общее состояние здоровья, стрессоустойчивость, бытовая устроенность, мотивация, отношение к алкоголю и т. д.

Попытка учесть как можно большее количество факторов (до 30 и более) совершенно разнородных, изменяющихся не только в течение рейса, но и в течение одних суток и даже одной вахты с неизвестными корреляционными связями между собой, конечно, не может привести к надежным результатам в численной оценке человеческого фактора. В этом случае необходимо ограничиться минимальным количеством главных (доминирующих) факторов и проанализировав закономерности их изменения, сделать вывод о степени влияния человеческого фактора. В конечном счете, интерес представляет бдительность судоводителя и быстрота принятия им решений в различных ситуациях.

В этом отношении наиболее интересна методика оценки человеческого фактора, предложенная Н. В. Митрофановой [13], в основе которой лежит пятибалльная экспертная оценка личностных характеристик члена экипажа. Для этой цели в качестве основных рискообразующих харак-

теристик моряка автор предлагает использовать такие, как профессионализм, ответственность, внимательность, конфликтность, реакция, отношение к алкоголю. На основе экспертного метода автором выполнена оценка каждого из этих качеств. Для определения уровня риска полученное значение показателя личностной характеристики оценивается с помощью табл. 1.

Таблица 1

Оценка риска с учетом качественных и количественных характеристик моряка

Качественная характеристика	Неудовлетворительно	Удовлетворительно	Хорошо	Отлично
Количественная характеристика	0–0,5	0,51–0,75	0,76–0,84	0,85–1
Уровень риска	Критический	Максимальный	Средний	Минимальный

При этом необходимо заметить, что хотя методика создавалась для учета человеческого фактора при страховании судов, она, несмотря на резкое ограничение количества учитываемых факторов, позволяет получать достаточно приемлемые результаты.

Методы и материалы (Methods and Materials)

Рассмотрим пример расчета вероятности столкновения судов с учетом человеческого фактора. В первом приближении он может быть выполнен путем умножения вероятности столкновения судов для случая неуправляемого их движения на два коэффициента, учитывающих человеческий фактор, так как в столкновении участвуют, как правило, два судна. Таким образом, можно записать следующее выражение:

$$P_{\text{столкн}} = P_{\text{неуправл}} \cdot [1 - K_{\phi 1}] \cdot [1 - K_{\phi 2}], \quad (1)$$

где $P_{\text{столкн}}$ — вероятность столкновения судов с учетом человеческого фактора;

$P_{\text{неуправл}}$ — вероятность столкновения в неуправляемой модели;

$K_{\phi i}$ — некоторый коэффициент (см. табл. 1), учитывающий человеческий фактор («бдительность» человека, несущего вахту).

Ясно, что коэффициент $K_{\phi i}$ изменяется в пределах $K_{\phi i} = 0 \dots 1$. При нахождении человека в нормальном состоянии коэффициент $K_{\phi i}$ будет близок к единице, в противном случае он всегда будет меньше единицы. Конечно, для уточнения значений этого коэффициента можно провести представительное тестирование штурманского состава на всех вахтах в течение суток. Все остальные факторы (туман, сильное волнение и т. д.) могут быть также учтены путем дополнительной корректировки значений $K_{\phi i}$. Вообще вместо коэффициента $K_{\phi i}$ в формуле (1) может быть некоторая функция состояния человека, которая должна также изменяться в пределах от нуля до единицы.

Однако само по себе получение численных значений коэффициентов (см. табл. 1) не позволяет оценивать вероятности навигационных аварий не только в течение рейса, но и в течение суток, так как этот коэффициент также претерпевает изменения. В этой связи предлагается следующий подход. Введем в рассмотрение при оценке человеческого фактора два положения.

Первое — будем полагать, что бдительность вахтенных штурманов характеризуется коэффициентом, учитывающим человеческий фактор, падающим по экспоненциальному закону в зависимости от длительности рейса, а именно $e^{-\lambda t}$, где λ — параметр, характеризующий скорость убывания коэффициента, учитывающего человеческий фактор, в течение рейса; t — время рейса.

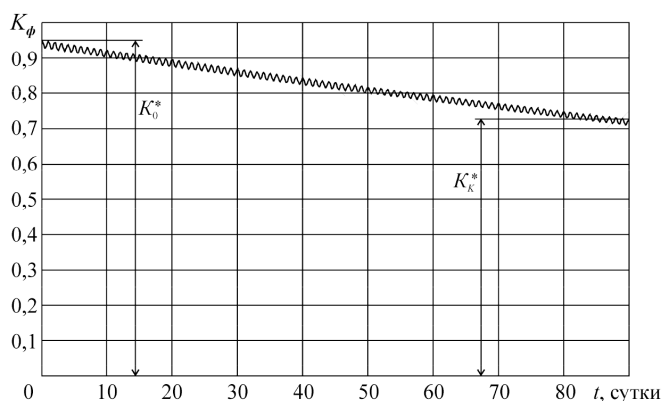
Второе — будем считать, что суточные биоритмы человека, изменяющие коэффициент $K_{\phi i}$, учитывающий человеческий фактор, будут определяться синусоидальным законом, а именно $\sin\left(\frac{2\pi t}{T_0} + \frac{\pi}{2}\right)$. Таким образом, общее уравнение, характеризующее изменение коэффициента, учитывающего человеческий фактор (рис. 1), будет иметь следующий вид:

$$K_D = \frac{K_0^*}{1 + A} \cdot \left[1 + A \cdot \sin\left(\frac{2\pi t}{T_0} + \frac{\pi}{2}\right) \right] \cdot e^{-\lambda t}. \quad (2)$$

Результаты (Results)

На рис. 1, а показаны значения коэффициента, учитывающего человеческий фактор на начало рейса K_0^* (см. табл. 1) и на конец рейса K_K^* . Нормируя минимально возможный уровень значения человеческого фактора на конец рейса K_K^* , можно устанавливать научно обоснованную продолжительность рейса.

а)



б)

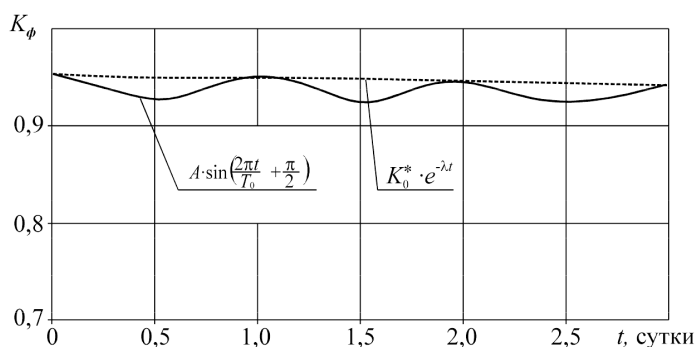


Рис. 1. Изменение коэффициента:
а — в течение рейса; б — в течение трех суток

На рис. 1, б представлен график, аналогичный приведенному на рис. 1, а, за исключением периода изменения коэффициента, ограниченного тремя сутками. Видны колебания коэффициента, учитывающего человеческий фактор, обусловленные суточными биоритмами. В данном случае важным является вопрос амплитуды синусоиды, которая может быть определена с использованием статистики столкновений.

Из данных источника [14] следует, что вероятность столкновения судов ночью больше в два раза, чем днем. Отсюда нетрудно оценить значения коэффициента K_ϕ днем и ночью. В остальное время суток его значения могут быть определены линейной интерполяцией либо по формуле (2).

Определим значение коэффициента человеческого фактора в ночное время. Амплитуда суточных колебаний коэффициента, учитывающего человеческий фактор, определяется выражением

$$A = \frac{1 - \sqrt{2} - K_0^* + \sqrt{2} \cdot K_0^*}{\sqrt{2} - 1 - K_0^* - \sqrt{2} \cdot K_0^*}. \quad (3)$$

Значения амплитуды суточных колебаний коэффициента, учитывающего человеческий фактор, приведены в табл. 2.

**Амплитуды суточных колебаний коэффициента,
учитывающего человеческий фактор**

K_0^*	0,85	0,90	0,95	0,99
A	$3,79 \cdot 10^{-2}$	$2,36 \cdot 10^{-2}$	$1,10 \cdot 10^{-2}$	$2,10 \cdot 10^{-3}$

Обсуждение (Discussion)

Из выполненного расчета видно, что даже незначительные изменения коэффициента, учитывающего человеческий фактор, в ночное время (всего на 0,022 с 0,95 до 0,928 и на 0,004 с 0,99 до 0,986) изменяют вероятность столкновения в два раза. Это свидетельствует о том, что для исключения навигационных аварий или хотя бы значительного сокращения их числа значения коэффициента, учитывающего человеческий фактор, должны быть на достаточно высоком уровне (по крайней мере, не ниже $K_{\phi} \geq 0,95$). В этом случае следует сразу же отметить, что приведенные в табл. 1, по данным Н. В. Митрофановой, значения коэффициента, учитывающего человеческий фактор, следует пересмотреть, так как на «хорошо» диапазон изменения K_{ϕ_i} от 0,76 до 0,84 вообще недопустим, а на «отлично» должно быть K_{ϕ_i} не ниже 0,98, а лучше 0,99.

Рассмотрим применение предложенной методики на конкретном примере. Для этого воспользуемся вероятностной моделью оценки риска столкновения судов при движении судна в потоке прочих судов с произвольным направлением движения (рис. 2) с целью анализа вероятностей безаварийного плавания судна в течение некоторого интервала времени t [15]. Вероятность столкновения в рамках неуправляемой модели [15] определится из условия

$$P_{\text{неуправл}} = 1 - e^{-D(H,t)} \quad (4)$$

следующим образом:

$$D(H,t) = D_I(H,t) + D_{II}(H,t); \quad (5)$$

$$D_I(H,t) = ItVM_{\lambda}M(|\cos(\alpha)|) = ItVM_{\lambda} \int_{-\pi}^{\pi} |\cos(a)| f_{\alpha}(a) da; \quad (6)$$

$$D_{II}(H,t) = ItLM_vM(|\cos(\alpha)|) = ItLM_v \int_{-\pi}^{\pi} |\cos(a)| f_{\alpha}(a) da, \quad (7)$$

где $f_{\alpha}(a)$ — плотность распределения курсового угла α ;

t — рассматриваемый интервал времени;

H — вектор характеристик заданного судна;

L — длина заданного судна;

V — скорость заданного судна;

I — плотность интенсивности пуассоновского поля прочих судов;

M_v — математическое ожидание скоростей прочих судов;

M_{λ} — математическое ожидание длин прочих судов.

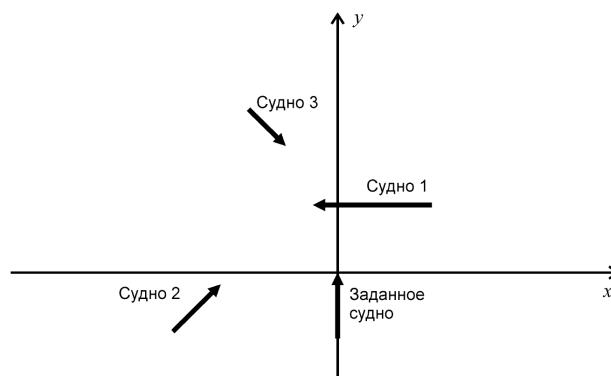


Рис. 2. Схема движения в произвольном потоке

На рис. 3 представлены результаты оценки вероятности столкновения судов $P_{\text{неуправл}}$ в рамках неуправляемой модели [15] для различных значений плотности интенсивности пуассоновского поля прочих судов: $I_1 = 0,1$ миля⁻², $I_2 = 0,05$ миля⁻² и $I_3 = 0,01$ миля⁻². Пусть скорость заданного судна $V = 6$ уз, длина $L = 100$ м, математическое ожидание скоростей и длин прочих судов: $M_v = 7,5$ уз и $M_\lambda = 120$ м соответственно.

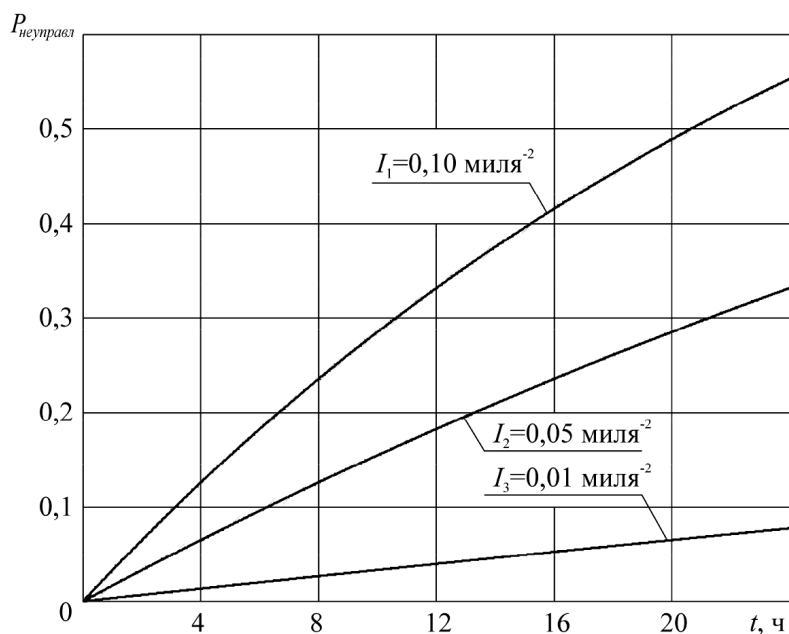


Рис. 3. Зависимость вероятности столкновения судов от времени в рамках неуправляемой модели

Для упрощения анализа будем полагать, что коэффициенты, учитывающие человеческий фактор для судоводителей всех судов, которые имеют вероятность столкнуться, будут одинаковыми. Тогда формула (1) трансформируется следующим образом:

$$P_{\text{столкн}} = P_{\text{неуправл}} \cdot [1 - K_\phi]^2. \quad (8)$$

Результаты расчета вероятности $P_{\text{столкн}}$ по формуле (8) для различных значений коэффициента K_ϕ представлены в табл. 3. Полученные значения вероятности столкновения хорошо согласуются с данными работ [16], [17], что свидетельствует об адекватности предлагаемого подхода к учету влияния человеческого фактора при оценке риска столкновения судов. Проанализируем результаты расчета, представленные в этой таблице. Для этого зададимся некоторой вероятностью, например, 10^{-4} , которую примем за нормативную и выше которой не должно быть в процессе эксплуатации судов. Эти «недопустимые» вероятности выделены в виде темных сегментов. В рассматриваемой таблице проанализирована лишь одна колонка табл. 1 с качественной характеристикой «отлично» и диапазоном изменения коэффициента, учитывающего человеческий фактор при $K_\phi = (0,85 \dots 1,0)$. Видно, что в диапазоне изменения плотности интенсивности пуассоновского поля судов от $0,05$ миля⁻² до $0,2$ миля⁻² (темный сегмент) при коэффициенте $K_\phi = 0,85$ в дневное время вероятность столкновения судов находится на уровне 10^{-3} , что, конечно, нежелательно. При коэффициенте $K_\phi = 0,9$ нормативная вероятность 10^{-3} превышена в дневное время практически только при плотности интенсивности пуассоновского поля судов $0,2$ миля⁻².

Из табл. 3 видно, что при этих же значениях коэффициента ($K_\phi = 0,85$ и $K_\phi = 0,9$) в ночное время, при плотности интенсивности пуассоновского поля судов $0,01$ миля⁻², вероятность столкновения не превысит нормативную вероятность 10^{-4} , в остальных случаях, т. е. при плотности интенсивности пуассоновского поля судов в диапазоне $0,05$ – $0,2$ миля⁻², вероятность столкновения превышает указанный предел. В то же время при коэффициенте $K_\phi = 0,95 \dots 0,99$ условие

непревышения нормативной вероятности 10^{-4} для дневного и ночного времени удовлетворяется практически полностью.

Только в одном случае в ночное время при $K_{\phi} = 0,928$ и плотности интенсивности пуассоновского поля судов $0,2$ миль $^{-2}$ на четвертом часе несения вахты вероятность столкновения превышает нормативную 10^{-4} . В этом случае довести вероятность до уровня нормативной можно либо повышением исходного значения коэффициента K_{ϕ} , учитывающего человеческий фактор для дневного времени, либо ограничением вахты до трех часов, если это возможно. Такой подход может быть применен для районов с высокой плотностью потока судов.

Таблица 3

**Результаты оценки вероятности столкновения судов
с учетом влияния человеческого фактора**

$t, \text{ ч}$	$I, \text{ миля}^{-2}$				K_{ϕ}	
	0,01	0,05	0,1	0,2		
1	$7,54 \cdot 10^{-5}$	$3,74 \cdot 10^{-4}$	$7,43 \cdot 10^{-4}$	$1,46 \cdot 10^{-3}$	0,85	День
2	$1,51 \cdot 10^{-4}$	$7,43 \cdot 10^{-4}$	$1,46 \cdot 10^{-3}$	$2,83 \cdot 10^{-3}$		
3	$2,25 \cdot 10^{-4}$	$1,11 \cdot 10^{-3}$	$2,16 \cdot 10^{-3}$	$4,10 \cdot 10^{-3}$		
4	$3,00 \cdot 10^{-4}$	$1,46 \cdot 10^{-3}$	$2,83 \cdot 10^{-3}$	$5,30 \cdot 10^{-3}$		
1	$3,35 \cdot 10^{-5}$	$1,66 \cdot 10^{-4}$	$3,30 \cdot 10^{-4}$	$6,49 \cdot 10^{-4}$	0,90	
2	$6,69 \cdot 10^{-5}$	$3,30 \cdot 10^{-4}$	$6,49 \cdot 10^{-4}$	$1,26 \cdot 10^{-3}$		
3	$1,00 \cdot 10^{-4}$	$4,91 \cdot 10^{-4}$	$9,58 \cdot 10^{-4}$	$1,82 \cdot 10^{-3}$		
4	$1,33 \cdot 10^{-4}$	$6,49 \cdot 10^{-4}$	$1,26 \cdot 10^{-3}$	$2,36 \cdot 10^{-3}$		
1	$8,38 \cdot 10^{-6}$	$4,16 \cdot 10^{-5}$	$8,25 \cdot 10^{-5}$	$1,62 \cdot 10^{-4}$	0,95	
2	$1,67 \cdot 10^{-5}$	$8,25 \cdot 10^{-5}$	$1,62 \cdot 10^{-4}$	$3,14 \cdot 10^{-4}$		
3	$2,50 \cdot 10^{-5}$	$1,23 \cdot 10^{-4}$	$2,39 \cdot 10^{-4}$	$4,56 \cdot 10^{-4}$		
4	$3,34 \cdot 10^{-5}$	$1,62 \cdot 10^{-4}$	$3,14 \cdot 10^{-4}$	$5,89 \cdot 10^{-4}$		
1	$3,35 \cdot 10^{-7}$	$1,66 \cdot 10^{-6}$	$3,30 \cdot 10^{-6}$	$6,49 \cdot 10^{-6}$	0,99	
2	$6,69 \cdot 10^{-7}$	$3,30 \cdot 10^{-6}$	$6,49 \cdot 10^{-6}$	$1,26 \cdot 10^{-5}$		
3	$1,00 \cdot 10^{-6}$	$4,91 \cdot 10^{-6}$	$9,58 \cdot 10^{-6}$	$1,82 \cdot 10^{-5}$		
4	$1,33 \cdot 10^{-6}$	$6,49 \cdot 10^{-6}$	$1,26 \cdot 10^{-5}$	$2,36 \cdot 10^{-5}$		
1	$1,51 \cdot 10^{-4}$	$7,48 \cdot 10^{-4}$	$1,48 \cdot 10^{-3}$	$2,92 \cdot 10^{-3}$	0,788	Ночь
2	$3,01 \cdot 10^{-4}$	$1,48 \cdot 10^{-3}$	$2,92 \cdot 10^{-3}$	$5,65 \cdot 10^{-3}$		
3	$4,50 \cdot 10^{-4}$	$2,21 \cdot 10^{-3}$	$4,31 \cdot 10^{-3}$	$8,20 \cdot 10^{-3}$		
4	$5,99 \cdot 10^{-4}$	$2,92 \cdot 10^{-3}$	$5,65 \cdot 10^{-3}$	$1,10 \cdot 10^{-2}$		
1	$6,65 \cdot 10^{-5}$	$3,31 \cdot 10^{-4}$	$6,56 \cdot 10^{-4}$	$1,29 \cdot 10^{-3}$	0,859	
2	$1,33 \cdot 10^{-4}$	$6,56 \cdot 10^{-4}$	$1,29 \cdot 10^{-3}$	$2,50 \cdot 10^{-3}$		
3	$1,99 \cdot 10^{-4}$	$9,76 \cdot 10^{-4}$	$1,90 \cdot 10^{-3}$	$3,63 \cdot 10^{-3}$		
4	$2,65 \cdot 10^{-4}$	$1,29 \cdot 10^{-3}$	$2,50 \cdot 10^{-3}$	$4,68 \cdot 10^{-3}$		
1	$1,74 \cdot 10^{-5}$	$8,63 \cdot 10^{-5}$	$1,71 \cdot 10^{-4}$	$3,37 \cdot 10^{-4}$	0,928	
2	$3,47 \cdot 10^{-5}$	$1,71 \cdot 10^{-4}$	$3,37 \cdot 10^{-4}$	$6,51 \cdot 10^{-4}$		
3	$5,19 \cdot 10^{-5}$	$2,55 \cdot 10^{-4}$	$4,97 \cdot 10^{-4}$	$9,46 \cdot 10^{-4}$		
4	$6,91 \cdot 10^{-5}$	$3,37 \cdot 10^{-4}$	$6,51 \cdot 10^{-4}$	$1,22 \cdot 10^{-3}$		
1	$6,57 \cdot 10^{-7}$	$3,26 \cdot 10^{-6}$	$6,47 \cdot 10^{-6}$	$1,27 \cdot 10^{-5}$	0,986	
2	$1,31 \cdot 10^{-6}$	$6,47 \cdot 10^{-6}$	$1,27 \cdot 10^{-5}$	$2,46 \cdot 10^{-5}$		
3	$1,96 \cdot 10^{-6}$	$9,62 \cdot 10^{-6}$	$1,88 \cdot 10^{-5}$	$3,58 \cdot 10^{-5}$		
4	$2,61 \cdot 10^{-6}$	$1,27 \cdot 10^{-5}$	$2,46 \cdot 10^{-5}$	$4,62 \cdot 10^{-5}$		

Выводы (Summary)

На основании проведенных исследований можно сделать некоторые предварительные выводы, а именно:

1. Предложенная структура коэффициента, учитывающего человеческий фактор, позволяет оценивать его колебания в течение суток и определять оптимальную продолжительность рейса.
2. Предложенный подход позволяет выбрать нормативную вероятность навигационных аварий.
3. С целью минимизации вероятности столкновения судов уровень допустимых коэффициентов, учитывающих человеческий фактор, должен находиться в диапазоне $K_{\phi} = 0,95 \dots 1,0$.
4. Незначительные суточные колебания коэффициента, учитывающего человеческий фактор (7 % при $K_{\phi} = 0,85$) могут существенно изменить вероятность столкновения (в 2 раза).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вейхман В. В. Безопасность мореплавания и человеческий фактор: учебное пособие / В. В. Вейхман. — Калининград: БГАРФ, 1998. — 58 с.
2. Кацман Ф. М. Человеческий фактор в проблеме обеспечения безопасности судоходства / Ф. М. Кацман. — СПб.: СПбГУВК, 2003. — 150 с.
3. Клименко В. Д. Безопасность мореплавания и учет человеческого фактора / В. Д. Клименко // Морской транспорт. Серия: Судовождение, связь и безопасность мореплавания: экспресс-информация. — 2002. — № 8 (339). — С. 43–49.
4. Котик М. А. Природа ошибок человека–оператора (на примерах управления транспортными средствами) / М. А. Котик, А. М. Емельянов. — М.: Транспорт, 1993. — 252 с.
5. Кобзев В. В. Оценка морально-волевых характеристик судоводителей в процессе обучения на тренажере / В. В. Кобзев, М. Л. Маринов, И. В. Телюк // Системы управления и обработки информации. — 2013. — № 27. — С. 116–124.
6. Туркин В. А. Учет психофизиологических свойств человека при оценке вероятности возникновения происшествий / В. А. Туркин // Морской флот. — 2002. — № 1. — С. 18–19.
7. Celik M. Analytical HFACS for investigating human errors in shipping accidents / M. Celik, S. Cebi // Accident Analysis & Prevention. — 2009. — Vol. 41. — Is. 1. — Pp. 66–75. DOI: 10.1016/j.aap.2008.09.004.
8. Macrae C. Human factors at sea: common patterns of error in groundings and collisions / C. Macrae // Maritime Policy & Management. — 2009. — Vol. 36. — Is. 1. — Pp. 21–38. DOI: 10.1080/03088830802652262.
9. Martins M. R. Human error contribution in collision and grounding of oil tankers / M. R. Martins, M. C. Maturana // Risk Analysis: An International Journal. — 2010. — Vol. 30. — Is. 4. — Pp. 674–698. DOI: 10.1111/j.1539–6924.2010.01392.x.
10. O'Neil W. The human element in shipping / W. O'Neil // WMU Journal of Maritime Affairs. — 2003. — Vol. 2. — Is. 2. — Pp. 95–97. DOI: 10.1007/BF03195037.
11. Zhang Y. Studies on human factors in marine engine accident / Y. Zhang, Y. Zhan, Q. Tan // 2009 Second International Symposium on Knowledge Acquisition and Modeling. — IEEE, 2009. — Vol. 1. — Pp. 134–137. DOI: 10.1109/KAM.2009.246.
12. Pedersen P. T. Collision and Grounding Mechanics / P. T. Pedersen // Proceedings of WEMT'95. — Copenhagen, 1995. — Pp. 125–157.
13. Митрофанова Н. В. Методические основы оценки человеческого фактора в системе управления рисками судоходных компаний: автореф. дис. ... канд. экон. наук: 08.00.05 / Надежда Владимировна Митрофанова. — СПб., 2007. — 28 с.
14. Юдович А. Б. Предотвращение навигационных аварий морских судов / А. Б. Юдович. — М.: Транспорт, 1988. — 346 с.
15. Бураковский Е. П. Математическая модель оценки риска столкновения в потоке судов с произвольным направлением движения / Е. П. Бураковский, П. Е. Бураковский, В. А. Дмитровский // Морские интеллектуальные технологии. — 2018. — № 3–4 (42). — С. 11–18.
16. Hänninen M. The Effects of Causation Probability on the Ship Collision Statistics in the Gulf of Finland / M. Hänninen, P. Kujala // TransNav. — 2010. — Vol. 4. — No. 1. — Pp. 79–84.
17. Ylitalo J. Ship–Ship Collision Probability of the Crossing Area between Helsinki and Tallinn / J. Ylitalo. — Helsinki: Helsinki University of Technology, 2009. — 26 p.

REFERENCES

1. Veikhman, V. V. *Bezopasnost' moreplavaniya i chelovecheskii faktor: uchebnoe posobie*. Kaliningrad: BGARF, 1998.
2. Katsman, F. M. *Chelovecheskii faktor v probleme obespecheniya bezopasnosti sudokhodstva*. SPb.: SPGUVK, 2003.
3. Klimenko, V. D. "Bezopasnost' moreplavaniya i uchet chelovecheskogo faktora." *Morskoi transport. Seriya: Sudovozhdenie, svyaz' i bezopasnost' moreplavaniya: Ekspress-informatsiya* 8(339) (2002): 43–49.
4. Kotik, M. A., and A. M. Emel'yanov. *Priroda oshibok cheloveka-operatora (na primerakh upravleniya transportnymi sredstvami)*. M.: Transport, 1993.
5. Kobzev, V. V., M. L. Marinov, and I. V. Telyuk. "Otsenka moral'no-volevykh kharakteristik sudovoditelei v protsesse obucheniya na trenazhere." *Sistemy upravleniya i obrabotki informatsii* 27 (2013): 116–124.
6. Turkin, V.A. "Uchet psikhofiziologicheskikh svoistv cheloveka pri otsenke veroyatnosti vozniknoveniya proisshествii." *Morskoi flot* 1 (2002): 18–19.
7. Celik, Metin, and Selcuk Cebi. "Analytical HFACS for investigating human errors in shipping accidents." *Accident Analysis & Prevention* 41.1 (2009): 66–75. DOI: 10.1016/j.aap.2008.09.004.
8. Macrae, Carl. "Human factors at sea: common patterns of error in groundings and collisions." *Maritime Policy & Management* 36.1 (2009): 21–38. DOI: 10.1080/03088830802652262.
9. Martins, Marcelo Ramos, and Marcos Coelho Maturana. "Human error contribution in collision and grounding of oil tankers." *Risk Analysis: An International Journal* 30.4 (2010): 674–698. DOI: 10.1111/j.1539–6924.2010.01392.x.
10. O'Neil, William A. "The human element in shipping." *WMU Journal of Maritime Affairs* 2.2 (2003): 95–97. DOI: 10.1007/BF03195037.
11. Zhang, Yue, Yulong Zhan, and Qinming Tan. "Studies on human factors in marine engine accident." *2009 Second International Symposium on Knowledge Acquisition and Modeling*. Vol. 1. IEEE, 2009. 134–137. DOI: 10.1109/KAM.2009.246.
12. Pedersen, Preben Terndrup. "Collision and Grounding Mechanics." *Proceedings of WEMT'95*. Copenhagen, 1995. 125–157.
13. Mitrofanova, N.V. *Metodicheskie osnovy otsenki chelovecheskogo faktora v sisteme upravleniya riskami sudokhodnykh kompanii*. Abstract of PhD diss. SPb., 2007.
14. Yudovich, A.B. *Predotvrashchenie navigatsionnykh avarii morskikh sudov*. M.: Transport, 1988.
15. Burakovskiy, Evgeniy P., Pavel E. Burakovskiy, and Vladimir A. Dmitrovskiy. "A mathematical model of collision risk assessment of vessels moving in an arbitrary direction." *Marine intelligent technologies* 3–4(42) (2018): 11–18.
16. Hänninen, M., and P. Kujala. "The Effects of Causation Probability on the Ship Collision Statistics in the Gulf of Finland." *TransNav* 4.1 (2010): 79–84.
17. Ylitalo, J. *Ship–Ship Collision Probability of the Crossing Area between Helsinki and Tallinn*. Helsinki: Helsinki University of Technology, 2009.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Бураковский Евгений Петрович —
доктор технических наук
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный
технический университет»
236022, Российская Федерация, г. Калининград,
Советский пр., 1
e-mail: e_burakovsky@mail.ru
Бураковский Павел Евгеньевич —
кандидат технических наук
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный
технический университет»
236022, Российская Федерация, г. Калининград,
Советский пр., 1
e-mail: paul_b@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Burakovskiy, Evgeny P. —
Dr. of Technical Sciences
Kaliningrad State Technical University
1, Sovetskiy Av., Kaliningrad, 236022,
Russian Federation
e-mail: e_burakovsky@mail.ru
Burakovskiy, Pavel E. —
PhD
Kaliningrad State Technical University
1, Sovetskiy prospekt, Kaliningrad, 236022,
Russian Federation
e-mail: paul_b@mail.ru

Статья поступила в редакцию 19 марта 2019 г.
Received: March 19, 2019.