

АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ

DOI: 10.21821/2309-5180-2025-17-2-282-290

EDN XPGEVH

DISTRIBUTED-LAG APPROACH IN MATHEMATICAL MODELS FOR TRANSPORT RISK MANAGEMENT

M. Yu. Yastrebov, I. V. Laneva, A. A. Rydanov

Admiral Makarov University of Maritime and Inland Shipping,
St. Petersburg, Russian Federation

The purpose of this work is to develop information digital technologies in terms of modeling methods and formalized descriptions of technological process control that are associated with increasing the reliability of water transport systems by reducing the likelihood of transport risks occurring. As part of this goal, the problem of developing mathematical methods for accounting for the partial delay of the protective effect in risk management models is being addressed. This is done in the context of growing requirements for the safe digitalization of water transport, given a wide range of risk factors of both engineering-material and informational nature. A theoretical-probabilistic approach to optimizing costs for reducing risks, considering both these costs and possible losses from risk realization, has recently been developed in industry research on water transport. However, the models considered have not accounted for the possible and sometimes inevitable delay in the effect, as costs for anti-risk measures are not fully realized immediately. This situation is analogous to distributed-lag analysis of incomplete construction, which was developed under planned economy conditions. The results of this work include new optimization mathematical models that account for the possible delay in the effect of additional costs, thereby reducing overall risk damage.

Keywords: distributed lags, transport risks, optimizing, math modeling, graphs, critical path, mathematical programming.

For citation:

Yastrebov, Mikhail Y., I. V. Laneva and A. A. Rydanov “Risk management in software development in the field of information protection.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 17.2 (2025): 282–290. DOI: 10.21821/2309-5180-2025-17-2-282-290.

УДК 004.6:656.6

РАСПРЕДЕЛЕННО-ЛАГОВЫЙ ПОДХОД В МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЯХ УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫМИ РИСКАМИ

М. Ю. Ястребов, И. В. Ланева, А. А. Рыданов

ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Целью настоящей работы является исследование методов моделирования и формализованного описания управления технологическими процессами, связанными с повышением надежности функционирования систем водного транспорта посредством снижения вероятности реализации транспортных рисков. В рамках поставленной цели решена задача разработки математических методов учета частичного запаздывания защитного эффекта в моделях управления рисками в условиях усиления требований к безопасной цифровизации водного транспорта при наличии широкого спектра риск-факторов как инженерно-материального, так и информационного характера. Теоретико-вероятностный подход к оптимизации затрат на снижение рисков в аспекте совместного рассмотрения этих затрат и возможных потерь от реализации рисков получил в настоящее время развитие в отраслевых исследованиях на во-

дном транспорте. Отмечается, что вне рамок рассматриваемых моделей остается возможное и подчас неизбежное запаздывание эффекта, поскольку затраты на антирисковые мероприятия не реализуются мгновенно в полной мере (по аналогии с распределенно-лаговым анализом незавершенного строительства, получившим развитие в условиях плановой экономики в XX в.). Показано, как процедуры снижения рисковых потерь, формально определяемых как средние значения ожидаемых суммарных (рисковых и управленческих) потерь, могут быть дополнены как в моделях управления рисками на графах, так и в моделях математического программирования методами распределенно-лаговых моделей, что позволяет повысить их адекватность. Результатом проведенного исследования является разработка оптимизационных математических моделей, учитывающих возможное запаздывание эффекта от дополнительных затрат, снижающих в целом рисковый ущерб.

Ключевые слова: распределенные лаги, транспортные риски, оптимизация, математическое моделирование, графы, критический путь, математическое программирование.

Для цитирования:

Ястребов М. Ю. Распределенно-лаговый подход в математических моделях управления транспортными рисками / М. Ю. Ястребов, И. В. Ланева, А. А. Рыданов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2025. — Т. 17. — № 2. — С. 282–290. DOI: 10.21821/2309-5180-2025-17-2-282-290. — EDN XPGEVN.

Введение (Introduction)

Снижение транспортных рисков в контексте положений действующего национального стандарта¹ предполагает расширение спектра используемых математических методов и математических моделей. Исходной концепцией соответствующих отраслевых исследований 2010–2020-е гг. [1]–[12] является теоретико-вероятностный подход к оценке рисковых потерь [1], рассматриваемых как случайные величины, когда объектом математического моделирования и оптимизации становятся их соответствующим образом дезагрегированные математические ожидания. В предлагаемом исследовании рассмотрены две изложенные в отраслевой научной литературе концепции [3] в аспекте их дополнения с учетом распределенных лагов:

- активный подход, предполагающий сопоставление динамики ожидаемых рисковых потерь и вариантов затрат на их вероятное снижение;
- аналитический подход, использующий модели, основанные на представлении ситуаций (возможно каскадного цепного) осуществления возможных рисков ориентированными графами.

Использование распределенных лагов в экономическом анализе [13] осуществляется на основе представления временного ряда значений каким-либо образом формулируемого эффекта Y_t в виде линейной корреляционной зависимости и ряда нескольких предшествующих значений показателя денежных вложений X_t : $Y_t = \sum_{i=0}^n \lambda_i X_{t-i} + \epsilon_t$ с нулевой в среднем ошибкой ϵ_t . Предметом исследований являлись методы оценки коэффициентов λ_i , соответствующих лагам i , что давало возможность получения достаточного объема статистических данных.

Применительно к транспортным рискам статистическая база для оценки коэффициентов регрессии не всегда имеет объем, достаточный для использования корреляционно-регрессионных моделей, с чем связано использование экспертных оценок. Так, в [7] экспертные оценки служат базой для построения математической модели определения области стабильности транспортной системы, что отчасти сопряжено с концепцией нечеткого регулирования [11]. При этом предметом исследования в оптимизационном аспекте является разработка моделей, формулируемых как задачи математического программирования, допускающие точные либо (что чаще в реальных ситуациях) эвристические алгоритмы решения. Таким образом, распределенные лаги становятся дополнительными параметрами математической модели, ориентированной на учет рисков.

В [3] применительно к рискам при разработке большого программного кода построены «активные» модели в дискретной и континуальной постановках, основанные на концепции «возможности

¹ ГОСТ Р ИСО 31000–2019. Менеджмент риска. Принципы и руководство. М.: Стандартинформ, 2020. 14 с.

уменьшения риск-факторов за счет дополнительных «упреждающих», или «профилактических» затрат, что может оказаться выгодным, если итоговые вероятные затраты на выполнение проекта уменьшатся». В данном случае представляется противоречивой цель управления рисками, сформулированная в [12], когда одновременно при «оптимальной стратегии управления рисковыми событиями сводятся к минимуму затраты на профилактический ремонт, а также величина причиненного ущерба в результате возникновения соответствующего события». Из данного контекста следует, что минимизация затрат и ущерба может осуществляться независимо, при этом минимизироваться должна сумма вероятного ущерба и стоимости упреждающих мероприятий.

Аналогичный подход применительно к уменьшению вероятности появления русловых затопов «за счет выполнения упреждающих инженерно-технических мероприятий» описан в публикации [10]. Дополнительный учет фактора запаздывания, реализованный в виде распределенных лагов для понижающего риски эффекта, представляется естественным направлением развития указанной концепции. Кроме того, указанная математическая модель изначально аналитическая может быть дополнена, в том числе независимо от привлечения распределенных лагов, оптимизационными аспектами в русле математического программирования.

Основанный на представлении последовательного осуществления рисков орграфами со взвешенными дугами, выражающими вероятные рисковые потери, в публикациях [4] и [5] построен и проанализирован алгоритм поиска критического пути. При этом возможен также оптимизирующий подход, основанный на активном подходе и учете запаздываний. В частности, речь может идти об уменьшении веса критического пути либо уменьшении введенной интегральной оценки среднего по всему графу ущерба.

Методы и материалы (Methods and Materials)

Распределенно-лаговый подход в аналитической модели активного управления. Рассмотрим в качестве исходной аналитическую модель, представленную в [3], сохраняя в основном ее обозначения, но не относя рисковые факторы по отдельности к функционально однородным элементам системы (в публикации [3] этому соответствует двойная индексация). Ожидаемый эффект (возможное снижение прогнозного ущерба) от дополнительных затрат при активном управлении E выражается через соответствующим образом дезагрегированные прогнозные рисковые потери при нулевых затратах (инерционная составляющая) z_n , ожидаемые потери при активном управлении z_a и дополнительные затраты z_a :

$$E = z_n - z_a - z_a, \quad (1)$$

что является оправданным при выполнении условия $E > 0$.

Параметрами расчета величины z_n являются: p_i — вероятность осуществления риск-фактора R_i ($i = 1, \dots, n$), z_i — соответствующие рисковые потери (ущерб). Тогда

$$z_n = \sum_{i=1}^n p_i z_i. \quad (2)$$

При активном подходе в модель дополнительно включаются предполагаемые уменьшения вероятностей Δp_i , после чего можно записать следующее:

$$z_a = \sum_{i=1}^n p_i (1 - \Delta p_i) z_i; \quad (3)$$

$$z_a = \sum_{i=1}^n u_i, \quad (4)$$

где u_i — затраты на уменьшение соответствующих вероятностей.

Заметим, что в критерии (1) слагаемое z_n является константой, что дает возможность при оптимизационном подходе вместо максимизации критерия E перейти к минимизации критерия $E_0 = z_a + z_a$ с дополнительным ограничением $E_0 > z_n$.

Включение распределенных лагов в модель (1)–(4) может в зависимости от содержательного описания риск-факторов и экспертных оценок выполняться несколькими рассмотренными далее

способами. Будем исходить из временного горизонта учета рисков $[0, T]$. Например, разработка большого программного кода для реализации информационных потоков, сопровождающих транспортные процессы (как в [5]) T , определяется длительностью полной реализации проекта либо его существенного этапа, в случае внутреннего судоходства — периодом навигации либо иным базовым периодом календарного планирования и т. п. Рассмотрим три способа включения запаздываний в математическое моделирование активного подхода.

1-й способ. Если для риск-фактора R_i имеются основания (экспертное заключение) считать, что при горизонте T эффект от дополнительных затрат u_i , осуществляемых в начальный момент промежутка, с вероятностью q_i реализуется с фиксированным запаздыванием t_i , то для соответствующих потерь, которые в этом случае возрастают, уменьшая E , следует ввести повышающий коэффициент K_i , на который умножается исходное значение z_i в выражении (3). Представляется обоснованным принять

$$K_i = 1 + q_i t_i / T, \quad (5)$$

в соответствии с условием $K_i = 1$ при $q_i = 0$ и $t_i = 0$, а также с линейной зависимостью K как от q_i , так и от t_i . Тогда

$$z_a = \sum_{i=1}^n p_i (1 - \Delta p_i) K_i \Delta z_i. \quad (6)$$

2-й способ. Если для риск-фактора R_i к рассмотрению с вероятностями $(q_{i1}, q_{i2}, \dots, q_{ik_i})$, $\sum_{l=1}^{k_i} q_{il} \leq 1$ привлекаются несколько альтернативных значений одного запаздывания $0 < t_{i1} < t_{i2} < \dots < t_{ik_i} < T$, то для соответствующего повышающего коэффициента полагаем

$$K_i = 1 + \left(\sum_{l=1}^{k_i} q_{il} t_{il} \right) / T. \quad (7)$$

Здесь также при отсутствии лагов $K_i = 1$ и выражение в скобках задает математическое ожидание запаздывания, если считать, что вероятность $1 - \sum_{l=1}^{k_i} q_{il}$ соответствует нулевому запаздыванию. При значениях (7) повышающих коэффициентов для z_a сохраняется формула (6).

3-й способ. Если по аналогии с анализом незавершенного строительства распределенное запаздывание для риск-фактора R_i формализуется в виде набора лагов: $t_{i1}, t_{i2}, \dots, t_{ik_i}$, $0 < t_1 < t_2 < \dots < t_{k_i} < T$, которым соответствуют доли $\lambda_{i1}, \lambda_{i2}, \dots, \lambda_{ik_i}$ от полного эффекта Δp_i , имеющего место при нулевом запаздывании, где $\lambda_{i1} + \lambda_{i2} + \dots + \lambda_{ik_i} = 1$, $t_{i1} < t_{i2} < \dots < t_{ik_i} < T$, то повышающий коэффициент

$$K_i = 1 + \lambda_{i1} \frac{t_{i1}}{T} + \lambda_{i2} \frac{t_{i2}}{T - t_{i1}} + \dots + \lambda_{ik_i} \frac{t_{ik_i}}{T - t_{i1} - t_{i2} - \dots - t_{ik_{i-1}}}. \quad (8)$$

Здесь также при отсутствии запаздываний $K_i = 1$ и имеет место линейная зависимость K_i от λ_{il} .

Следует отметить, что возможна ситуация, когда для одной части риск-факторов применяется формула (5), для другой — (7), для третьей — (8). При этом полное значение z_a получается сложением соответствующих частей.

Включение лагов в оптимизационную модель. Рассмотрим возможный подход к учету запаздываний в оптимизационной модели. Согласно концепции [3] и [8], будем исходить из задачи математического программирования, связанной с минимизацией критерия E_0 :

$$E_0 = z_a + 3_a \rightarrow \min; \quad (9)$$

$$E_0 < z_n. \quad (10)$$

В наиболее общей постановке для каждого риск-фактора R_i выделена совокупность представляющих его субфакторов r_{ij} ($1 \leq j \leq m_i$), которые имеют количественное выражение. С ними связаны значения вероятностей пассивного прогноза их реализации $p_{i1}, \dots, p_{im_i}$ (в наиболее простом

варианте и, по-видимому, наиболее частом, $m_i = 1$, при этом второй индекс можно опустить) и соответствующие прогнозные рисковые потери z_{ij} . Управляемые переменные задачи, к которым относятся уменьшения δ_{ij} вероятностей p_{ij} , с одной стороны, уменьшают z_a , а с другой — увеличивают z_a , чем обусловлена нетривиальность задачи оптимизации. На δ_{ij} накладываются следующие ограничения:

$$0 \leq \delta_{ij} \leq \alpha_{ij}. \quad (11)$$

Далее в модели (задаче) (9)–(11) должны быть детализированы функциональные зависимости δ_{ij} от затрат u_{ij} на их обеспечение:

$$\delta_{ij} = f_{ij}(u_{ij}). \quad (12)$$

От выбора вида этих функций зависит спецификация задачи (9)–(11). Функции могут задаваться экспертным путем либо при наличии достаточного статистического материала средствами корреляционно-регрессионного анализа. Так, в [9] привлекаются линейные функции:

$$\delta_{ij} = a_{ij}u_{ij} + b_{ij},$$

в [8] — квадратичные:

$$\delta_{ij} = a_{ij}u_{ij}^2 + b_{ij}u_{ij} + c_{ij}.$$

Относительно параметров функций следует уточнить, что в первом случае необходимо соблюдение условий: $a_{ij} > 0$, $b_{ij} = 0$, поскольку δ_{ij} растет с увеличением u_{ij} , а нулевому значению u_{ij} отвечает $\delta_{ij} = 0$. Аналогично во втором случае $a_{ij} > 0$, $b_{ij} = 0$, $c_{ij} = 0$.

Таким образом,

$$\delta_{ij} = a_{ij}u_{ij} \quad (13)$$

либо

$$\delta_{ij} = a_{ij}u_{ij}^2. \quad (14)$$

Разумеется, для разных риск-факторов могут привлекаться зависимости разных видов: (13) либо (14).

В ситуации единственного для каждой пары i, j фиксированного запаздывания t_{ij} , имеющей вероятность q_{ij} (при отсутствии запаздывания $t_{ij} = 0$, $q_{ij} = 1$), составляющая z_a критерия E_0 в (9) записывается в виде

$$z_a = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} p_{ij} (1 - \delta_{ij}) K_{ij} z_{ij},$$

где, как и в выражении (3), повышающий коэффициент в отдельном слагаемом задается формулой (5).

Аналогичным образом видоизменяется выражение для z_a при рассмотрении единственного лага как дискретной случайной величины, когда применяется формула (7), и при распределенных лагах, когда применяется формула (8).

Инверсия управляемых переменных и параметров оптимизации. Зависимости (13) и (14) в силу строгой монотонности допускают взаимно однозначное обращение: $\delta_{ij} = a_{ij}^{-1}u_{ij}$ и, соответственно, $\delta_{ij} = \sqrt{a_{ij}^{-1}u_{ij}}$ (при этом во втором случае меняется направление выпуклости функции). В общей записи $u_{ij} = f_{ij}^{-1}(\delta_{ij})$, что позволяет при анализе активной рисковей модели сформулировать еще один вариант задачи математического программирования: рассмотрение фиксированных значений δ_{ij} . Тогда и z_{ij} будут функционально зависящими от δ_{ij} как заданные, но варьируемые при анализе параметры, а u_{ij} — как управляемые переменные. Введя ограничение U на общую сумму затрат, получим:

$$z_a = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} u_{ij} \leq U; \quad (15)$$

$$u_{ij} \geq 0. \quad (16)$$

Теперь альтернативная оптимизационная задача записывается по-прежнему в виде (9), (10), но уже с дополнительными ограничениями (15), (16) и с фиксированным значением активных

потерь — в данном случае для отыскания оптимальной структуры затрат на активное управление. Учет распределенных запаздываний для z_a в виде повышающих коэффициентов сохраняется в (6) прежнем виде: (5) и / или (7) и / или (8).

Распределенные лаги в графовой модели транспортных рисков. Рассмотрим теперь в аспекте распределенных лагов предложенную в [4] и [5] математическую модель анализа транспортных рисков на ориентированных графах. В данном подходе рисковые ситуации разбиваются на цепочки, в которых каждая с определенной вероятностью влечет за собой некоторые другие. Соответствующий каскад рисков представляется ациклическим оргграфом G с множеством вершин $V = \{1, \dots, n\}$ и дуг $E = \{i \rightarrow j\}$. Далее с каждой дугой $i \rightarrow j$ соотносится величина ущерба z_{ij} и вероятность p_{ij} его реализации, после чего каждой дуге приписывается ее взвешенный по вероятности вес $p_{ij}z_{ij}$, полному пути π как связной последовательности дуг — его вес $z(\pi) = \sum_{(i,j) \in \pi} p_{ij}z_{ij} \rightarrow \max$ и решается задача отыскания критического пути $\pi_{кр}$ по критерию $z(\pi_{кр}) = \max_{\pi \in G} z(\pi)$. Рассмотренный подход может развиваться в следующих направлениях.

1. Информативным при сравнении рисков спектров разных транспортных систем представляется показатель среднего рискового веса оргграфа $Z = \frac{1}{N} \sum_{\pi \in G} z_{\pi}$, где N — общее количество полных путей. Оргграф Z следует рассматривать в качестве усредненной интегральной характеристики подверженности транспортной системы рисковому ущербу.

2. Для активного управления возможна также при минимаксном подходе постановка задачи минимизации веса критического пути $\pi_{кр}$ на основе зависимостей $\delta_{ij} = f_{ij}(\Delta u_{ij})$ изменений рисков вероятностей от соответствующих затрат u_{ij} (после этого он, возможно, перестанет быть критическим):

$$z_a = \sum_{i \rightarrow j \in \pi_{кр}} p_{ij}(1 - \delta_{ij})z_{ij}; \quad (17)$$

$$Z_a = \sum_{i \rightarrow j \in \pi_{кр}} f_{ij}(\delta_{ij}); \quad (18)$$

$$0 \leq \delta_{ij} \leq \alpha_{ij}; \quad (19)$$

$$E_{кр} = z_a + Z_a \rightarrow \min. \quad (20)$$

Здесь, как и в инверсном варианте, использующем обратные зависимости $u_{ij} = f_{ij}^{-1}(\Delta p_{ij})$, при дополнительном учете распределенных лагов последние участвуют в математических моделях в форме (6).

3. Активное управление может быть направлено в прямом или инверсном варианте на минимизацию целевой функции Z :

$$Z = \sum_{\substack{\pi \in G \\ i \rightarrow j \in \pi}} p_{ij}(1 - \delta_{ij})z_{ij} \rightarrow \min.$$

Таким образом, использование лаговых моделей в проблеме активного управления приводит к эффективно решаемым задачам математического программирования, позволяя учесть запаздывание результата от проводимых мероприятий по снижению рисков.

Результаты исследования (Results and Discussion)

В рамках общей концепции развития информационных цифровых технологий управления системами водного транспорта в контуре АСУТП, АСУП, АСТПП и т. п. направлением дальнейшего развития математических моделей, ориентированных на снижение транспортных рисков, может служить концепция активного управления «дополнительные затраты — снижение вероятностей рисков» транспортными рисками, дополненная математическими моделями минимизации рискового ущерба, в том числе учитывающими запаздывание эффекта от управляющих воздействий. Последние сформулированы в виде задач математического программирования. В русле этого подхода

предложена методика включения распределенных лагов в такие модели, что достигается с учетом прогнозных потерь как способа формализации снижения эффекта от дополнительных затрат при наличии запаздываний.

Описан необходимый вид параметров функциональных зависимостей вероятности – затраты при линейной и квадратичной оптимизации. Сформулирован инверсный подход к оптимизации управления, отражающий двойственность управляемых переменных и ограничений, такой как снижение рисков вероятностей и необходимых затрат. Для обоих случаев сформулированы задачи математического программирования, включающие распределенные лаги.

В развитие концепции использования ориентированных графов для анализа потерь от каскадов рисков ситуаций и в рамках стратегии минимакса построены математические модели минимизации потерь на критическом пути средствами активного управления.

Предложен показатель среднего веса орграфа рисков для сравнения рисков спектров разных транспортных систем, получена соответствующая формула.

Таким образом, расширение спектра математических моделей дает дополнительный инструментальный анализ и минимизации рисков потерь в рамках вероятностного подхода.

Выводы (Summary)

В результате проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Концепция активного подхода к снижению транспортных рисков является стимулом для разработки и перспективным способом приложения новых математических моделей. Сформулированная первоначально как аналитическая, она дополнена методами оптимизации, в том числе с учетом запаздываний эффекта управляющих воздействий. Привлечение теории графов позволяет в развитие предложенных методов анализа в терминах критического пути реализовать также оптимизационный подход, в том числе с использованием лагов.
2. Предложенные модели допускают двойственное использование, когда параметры и ограничения задачи математического программирования выступают в качестве управляющих переменных: вероятностей и их отрицательных приращений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каретников В. В. К вопросу оценки рисков на внутреннем водном транспорте Российской Федерации / В. В. Каретников, К. И. Ефимов, А. А. Сикарев // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. — 2017. — Т. — № 2. — С. 22–27.
2. Каретников В. В. К вопросу оценки рисков использования безэкипажных средств водного транспорта на участке акватории / В. В. Каретников, С. В. Козик, А. А. Буцанец // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. — 2019. — Т. 11. — № 6. — С. 987–1002. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-6-987-1002. — EDN ACCRDQ.
3. Ястребов И. М. Управление рисками при разработке программного обеспечения в области защиты информации / И. М. Ястребов // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. — 2023. — Т. 15. — № 6. — С. 1105–1114. DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-6-1105-1114. — EDN ULIUUE.
4. Нырков А. П. Графовые модели управления рисками / А. П. Нырков, А. А. Нырков // Информационные управляющие системы и технологии: Материалы V Международной научно-практической конференции (ИУСТ-ОДЕССА-2016), Одесса, 20–22 сентября 2016 года. — Одесса: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Государственный университет морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова, 2016. — С. 100–102. — EDN XBLQML.
5. Нырков А. П. Модели, алгоритмы и программное обеспечение минимизации рисков мультимодальных перевозок / А. П. Нырков, А. А. Нырков // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. — 2013. — № 1(20). — С. 67–73. — EDN RGPDXF.
6. Mamunts D. Models and Algorithms for Estimation and Minimization of the Risks Associated with Dredging / D. Mamunts, S. Sokolov, A. Nyrkov, S. Chernyi, M. Bukhurmetov, V. Kuznetsov // Transport and Telecommunication Journal. — 2017. — Vol. 18. — Is. 2. — Pp. 139–145. DOI: 10.1515/ttj-2017-0013.

7. Ястребов М. Ю. Определение области стабильности технической системы в терминах нечетких множеств / М. Ю. Ястребов, П. В. Комиссаров, С. В. Колесниченко // Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2023. — Т. 15. — № 4. — С. 692–700. DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-4-692-700. — EDN ELADLE.

8. Ястребов М. Ю. Математическое моделирование в задаче управления транспортными рисками / М. Ю. Ястребов // Цифровая трансформация транспорта: проблемы и перспективы: материалы IV Международной научно-практической конференции, Москва, 25 сентября 2024 года. — М.: Российский университет транспорта, 2024. — С. 272–276. — EDN CYVVTТ.

9. Ястребов М. Ю. К проблеме математического моделирования в задаче управления рисками для систем водного транспорта / М. Ю. Ястребов // Цифровая трансформация транспорта: проблемы и перспективы: материалы III Международной научно-практической конференции, Москва, 27 сентября 2023 года. — М.: Российский университет транспорта, 2023. — С. 212–217. — EDN BVLIOW.

10. Ткаченко Ю. А. О подходе к решению задачи снижения вероятности возникновения затопов на участке реки / Ю. А. Ткаченко, П. Н. Ткаченко, Е. В. Иванов // Проблемы анализа риска. — 2024. — Т. 21. — № 1. — С. 56–64. — EDN VASAHP.

11. Агеев С. А. Адаптивный метод оценки характеристик трафика в высокоскоростных мультисервисных сетях связи на основе процедуры нечеткого регулирования / С. А. Агеев, А. А. Привалов, В. В. Каретников, А. А. Буцанец // Автоматика и телемеханика. — 2021. — № 7. — С. 133–146. DOI: 10.31857/S0005231021070072. — EDN BLOIBR.

12. Калашников П. В. Математическая модель управления рисками, возникающими при функционировании сложных технических систем ответственного назначения, в условиях неопределенности информации о значениях параметров и фазовом состоянии / П. В. Калашников // International Journal of Advanced Studies. — 2022. — Т. 12. — № 3. — С. 22–39. DOI: 10.12731/2227-930X-2022-12-3-22-39. — EDN QZGLRA.

13. Верескун В. Д. Методы управления рисками и надежностью в транспортно-логистических цепях поставок / В. Д. Верескун, А. Н. Гуда, Э. А. Мамаев // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. — 2024. — № 4(96). — С. 153–160. DOI: 10.46973/0201-727X_2024_4_153. — EDN WKIZHY.

14. Седелев Б. В. Оценка распределенных лагов в экономических процессах. / Б. В. Седелев — М.: Экономика, 1977. — 191 с.

REFERENCES

1. Karetnikov, V. V., K. I. Efimov and A. A. Sikarev. “To the question of risk assessment on domestic water transport of the russian federation.” *Vestnik Of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering And Technologies* 2 (2017): 22–27. DOI: 10.24143/2073-1574-2017-2-22-27.

2. Karetnikov, V. V., S. V. Kozik and A. A. Butsanets. “Risks assessment of applying unmanned means of water transport in the water area.” *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S. O. Makarova* 11.6 (2019): 987–1002. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-6-987-1002.

3. Yastrebov, I. M. “Risk management in software development in the field of information protection.” *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S. O. Makarova* 15.6 (2023): 1105–1114. DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-6-1105-1114.

4. Nyrkov, A. P. and A. A. Nyrkov. “Grafovye modeli upravleniya riskami.” *Informatsionnye upravlyayushchie sistemy i tekhnologii: Materialy V Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (IUST-ODESSA-2016), Odessa, 20–22 sentyabrya 2016 goda*. Odessa: Federal’noe gosudarstvennoe byudzhethoe obrazovatel’noe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya Gosudarstvennyy universitet morskogo i rechnogo flota im. admirala S. O. Makarova, 2016: 100–102.

5. Nyrkov, A. P. and A. A. Nyrkov. “Modeli, algoritmy i programmnoe obespechenie minimizatsii riskov mul’timodal’nykh perevozok.” *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S. O. Makarova* 1(20) (2013): 67–73.

6. Mamunts, D., V. Kuznetsov, et al. “Models and Algorithms for Estimation and Minimization of the Risks Associated with Dredging.” *Transport and Telecommunication Journal* 18.2 (2017): 139–145. DOI: 10.1515/ttj-2017-0013.

7. Yastrebov, M. Yu., P. V. Komissarov and S. V. Kolesnichenko. “Determining the area of a technical system stability in fuzzy sets terms.” *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S. O. Makarova* 15.4 (2023): 692–700. DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-4-692-700.

8. Yastrebov, M. Yu. "Mathematical modeling in the problem of management for transport risks." *Tsifrovaya transformatsiya transporta: problemy i perspektivy: materialy IV Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Moskva, 25 sentyabrya 2024 goda*. Moskva: Rossiyskiy universitet transporta, 2024: 272–276.
9. Yastrebov, M. Yu. "To the problem of mathematical modeling in the problem of risk management for water transport systems." *Tsifrovaya transformatsiya transporta: problemy i perspektivy: materialy III Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Moskva, 27 sentyabrya 2023 goda*. Moskva: Rossiyskiy universitet transporta, 2023: 212–217.
10. Tkachenko, Yu. A., P. N. Tkachenko and E. V. Ivanov. "On the approach to solving the problem of reducing the likelihood of congestion on the river section." *Issues Of Risk Analysis* 21.1 (2024): 56–64.
11. Ageev, S. A., A. A. Privalov, V. V. Karetnikov and A. A. Butsanets. "An adaptive method for assessing traffic characteristics in high-speed multiservice communication networks based on a fuzzy control procedure." *Automation And Remote Control* 7 (2021): 133–146. DOI: 10.31857/S0005231021070072.
12. Kalashnikov, P. V. "Mathematical model of risk control arising from the functioning of complex technical systems for critical purposes in conditions of uncertainty of information about the values of parameters and the phase state." *International Journal of Advanced Studies* 12.3 (2022): 22–39. DOI: 10.12731/2227-930X-2022-12-3-22-39.
13. Vereskun, V. D., A. N. Guda and E. A. Mamaev. "Risk and reliability management methods in transport and logistics supply chains." *Vestnik Rostovskogo Gosudarstvennogo Universiteta Putej Soobshcheniya* 4(96) (2024): 153–160. DOI: 10.46973/0201–727X_2024_4_153.
14. Sedelev, B. V. *Otsenka raspredelennykh lagov v ekonomicheskikh protsessakh*. M.: Ekonomika, 1977: 191.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Ястребов Михаил Юрьевич —

кандидат экономических наук, профессор кафедры высшей математики, доцент кафедры комплексного обеспечения информационной безопасности ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова
Санкт-Петербург, Российская Федерация
e-mail: mikyast@gmail.com

Ланева Ирина Владимировна —

кандидат экономических наук, доцент кафедры прикладной математики ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова
Санкт-Петербург, Российская Федерация
e-mail: lanir@list.ru

Рыданов Анатолий Александрович —

кандидат военных наук, доцент кафедры комплексного обеспечения информационной безопасности ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова
Санкт-Петербург, Российская Федерация
e-mail: a. a.rydanov@gmail.com

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Yastrebov, Mikhail Yu. —

Phd, professor Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping
5/7 Dvinskaya Str.,
St. Petersburg, 198035,
Russian Federation
e-mail: mikyast@gmail.com

Laneva, Irina V. —

Phd, associate professor Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg, 198035,
Russian Federation
e-mail: lanir@list.ru

Rydanov, Anatoly A. —

Phd, associate professor Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg, 198035,
Russian Federation
e-mail: a. a.rydanov@gmail.com

Статья поступила в редакцию 11 февраля 2025

Received: Feb. 11, 2025