УДК 656.078: 656.62

Оценка и прогнозирование рисков арктических грузоперевозок с помощью аппарата искусственных нейронных сетей

Assessment and forecasting of risks of arctic cargo transportation using the apparatus of artificial neural networks

Храмов / Khramov I.
Игорь Сергеевич
(igorhramov@yahoo.com)
кандидат технических наук.
ГКУ Тверской области «Центр информационных технологий»,
главный специалист.
г. Тверь

Биденко / Bidenko S.
Сергей Иванович
(sibidenko@mail.ru)
доктор технических наук, профессор.
ЗАО «Институт телекоммуникаций»,
советник генерального директора.
г. Санкт-Петербург

Бородин / Borodin E.
Евгений Львович
(elb999@mail.ru)
кандидат технических наук, доцент.
ФГБОУ ВО «Государственный морской университет им. адм. Ф. Ф. Ушакова»,
доцент кафедры судовождения.
г. Новороссийск

Ежов / Ezhov D.
Дмитрий Андреевич
(mail@gningi.ru)
ФГКВОУ ВО «Военный учебно-научный центр ВМФ «Военно-морская академия имени Адмирала Флота Советского Союза Н. Г. Кузнецова» (ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия») МО РФ,
соискатель.
г. Санкт-Петербург

Олейников / Oleynikov A.
Андрей Станиславович
(mail@gningi.ru)
ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия»,
соискатель.
г. Санкт-Петербург

Захаров / Zakharov K.
Константин Валентинович
(Zakharov@itain.ru)
ЗАО «Институт телекоммуникаций»,
соискатель.
г. Санкт-Петербург

Ключевые слова: экстремальная навигация – extreme navigation; угрозы – threats; опасности – dangers; морские риски – marine risks; прогноз обстановки – situation forecast; искусственная нейронная сеть – artificial neural network; нейросетевая оценка рисков – neural network risk assessment.

Приведены физико-географические и хозяйственные факторы арктической зоны, оказывающие определяющее влияние на безопасность мировых грузоперевозок в Арктике. Определены подходы к трактовке понятия «риск» применительно к арктическому судоходству. Предложено ранжирование факторов окружающей среды по связи с рисками арктического судоходства: гидрометеорологические условия, навигационно-гидрографические параметры, экологические показатели. Описана методика оценки с помощью нейронной сети рисков арктического судоходства в зависимости от навигационно-гидрографической и гидрометеорологической обстановки. Обоснована связь прогноза рисков арктической навигации с изменением внешней обстановки в регионе. Выполнены оценки рисков грузоперевозок по отдельным маршрутам в море Лаптевых.

Physical, geographical and economic factors of the Arctic zone, which have a determining impact on the safety of world cargo transportation in the Arctic, are presented. Approaches to the interpretation of the concept of "risk" in relation to Arctic shipping are determined. A ranking of environmental factors in connection with the risks of Arctic shipping is proposed: hydrometeorological conditions, navigational and hydroographic parameters, environmental indicators. A methodology for assessing the risks of Arctic shipping using a neural network depending on the navigational, hydrographic and hydrometeorological situation is described. The connection between the forecast of the risks of Arctic navigation and changes in the external situation in the region is substantiated. Risk assessments of cargo transportation on certain routes in the Laptev Sea have been carried out.

4 2023.indd 127 13.12.2023 15:56:09

Таблица 1

Характеристика природно-хозяйственных условий арктической зоны

Породно-хозяйственные факторы арктической зоны	Вытекающие из специфических условий региона проблемные вопросы АТА
Физико-географические условия: **Ионизация атмосферы приполярной области, создающая значительные по пространственному распространению (500-1500 км) и времени (до 2-х часов) помехи (вплоть до полного прекращения) прохождению радиоволн** **Мелководность и ледовитость акватории** **Низкие температуры** **Сильные ветры** **Низкая инсаляция** **Тяжелые подвижные льды** **Изменчивость рельефа дна вследствие течений и мощных выносов грунта Сибирских северных рек** **Длительность восстановления нарушенных экосистем**	Наличие протяженных зон помех прохождению радиоволн Необходимость особого арктического исполнения аппаратной части технических средств и систем Необходимость наращивания группировки бортовых/базовых беспилотных комплексов и систем ледовой разведки и гидрографических обследований Необходимость производства дноуглубительных работ Необходимость доизучения театра и наращивания навигационно-гидрографического оборудования театра Необходимость развертывания альтернативных спутниковым высокоточных навигационных систем Необходимость интеграции спутниковых и наземных навигационных систем Необходимость наращивания группировки бортовых беспилотных аппаратов – навигационных, гидрографических, разведывательных (воздушных, подводных) Необходимость систематических точных оперативных и долгосрочных метео- (ледовых) прогнозов Необходимость насыщения региона робототехническими средствами и системами поддержки территориальной арктической активности Необходимость ледокольной поддержки навигации
Хозяйственно-географические условия: **Недостаточная изученность и оборудованность театра** **Неразвитость инфраструктуры:** **- транспортной** **- энергетической** **- селитебной** **- телекоммуникационной** **- связной** **- логистической** **- здравоохранения** **- НГГМО** **- спасательной** **Удаленность от экономически активных регионов России** **Демографические ограничения** **Высокая стоимость ресурсов и услуг (людских, биологических, энергетических, транспортных)**	

4 2023.indd 128 13.12.2023 15:56:09

Арктическое судоходство осуществляется в сложных физико-географических и хозяйственно-географических условиях [2, 8 ,9]. На ледовитость и мелководность арктических морей накладываются факторы низких температур, мощных течений, значительных выносов грунта и т. д. (табл. 1).

Эти условия формируют территориальное распределение навигационных, геофизических и других многочисленных опасностей, обусловливающих наличие различных кратковременных и долговременных опасностей, угроз и рисков морских арктических предприятий [7].

Угроза – это степень возможности реализации опасности для арктического судоходства [5]. Угрозы для кораблей и судов, других хозяйственных объектов (нефтегазодобывающие платформы, трубопроводы, кабели), объектов от реализации опасности характеризуются возможностью воздействия на них негативных факторов внешней среды и причинения им в результате этого вреда [6]. Угроза объекту от источников опасности определяется их (опасностей) относительным положением в пространстве и во времени (для стационарных объектов только в пространстве), распределением глубин, ледовых полей, направлений ветра и течения, уровнем устойчивости и стойкости объектов и другими факторами.

Опасности представляют угрозу объекту только тогда, когда могут причинить ему ущерб [4, 5]. Угроза для объектов возникает при размещении их в областях возможного действия негативных факторов опасных природных, техногенных и социальных явлений. Если объект вывести географически за пределы опасной территории, то угрозы для него не будет, хотя опасность акватории сохранится.

Угроза изменяется во времени: она может возникать, усиливаться, снижаться и исчезать вследствие изменения влияющих на ее степень факторов – пространственного, временного и ситуационного, а также степени опасности.

Пространственный фактор определяется положением объекта по отношению к источнику опасности. Он (пространственный фактор) связан с локальным характером территориального проявления источников опасности, географическим распределением положения мест проявления множества источников опасности, ослаблением уровней воздействующих факторов с удалением r объекта (судна) от очага проявления опасности. Чем ближе объекты располагаются к источнику опасности (известному или предполагаемому), тем больше угроза (реальная или предполагаемая). Взаимное положение источников опасности и объектов воздействия их негативных факторов может быть различным. Рассматриваемый объект может с определенной вероятностью попасть в зону поражения или оказаться вне ее. Возможность (угроза) для объекта, размещенного в некоторой акватории (территории), подвергнуться воздействию негативных факторов опасного явления зависит от относительного положения областей возможного возникновения опасного явления, их частоты и площади зоны действия негативных факторов.

Показателем пространственного фактора угрозы, используемого для его оценки, служит, в частности, доля площади рассматриваемой акватории, поражаемой негативными факторами опасного явления в случае, если такое событие в данной акватории произойдет.

Для постоянно действующих опасных факторов (ледовые поля, мелководье, области с неблагоприятными климатическими условиями) временной фактор учитывается как доля времени, в течение которого суда находятся в зоне их действия.

Для источников опасности, реализующихся в виде опасных явлений, временной фактор учитывают как вероятность того, что рассматриваемые объекты будут находиться в зоне действия их негативных факторов. В предположении пуассоновского потока опасных явлений их реализация в любой момент времени равновероятна и зависит лишь от частоты потока явлений и интервала времени, в течение которого объект находится в зоне действия негативных факторов. Поэтому степень угрозы подвергнуться воздействию негативных факторов опасного явления равна математическому ожиданию их числа или вероятности их реализации в течение периода времени. Степень угрозы, таким образом, зависит от продолжительности пребывания объектов в уязвимых по отношению к негативным факторам опасного явления зонах.

Угроза может быть больше и меньше. Чем значительнее (интенсивней, энергосущественней) опасность и ближе размещение объектов к ее источнику, продолжительнее время их пребывания в зоне действия (или возможного действия) негативных факторов, тем больше угроза. Ее степень характеризуется условной вероятностью подвергнуться воздействию негативных факторов в случае реализации опасного явления в данном районе и в данное время.

Если существует прогноз момента и места наступления опасного явления, то для снижения угрозы желательно объект на данное время удалить от опасной локации. Таким образом, прогнозирование риска в первую очередь связано с представлением о развитии (т. е. прогнозировании) текущей навигационно-гидрографической, гидрометеорологической и тактической ситуации в будущем. Применяя оценку риска к будущей (прогнозируемой) обстановке [3], получаем прогноз риска на заданный момент времени.

Осознание того, что риск есть мера опасности – важный шаг в решении проблемы управления ситуацией, в которой наличествуют потенциальные факторы, способные неблагоприятно воздействовать на объекты морской арктической активности (АТА). Следует отличать ставшую уже классической меру объективной возможности появления каких-

4 2023.indd 129 13.12.2023 15:56:10

либо событий – вероятность, от формирующейся в последние десятилетия более общей, чем вероятность, меры опасности – риска. Риск сочетает в себе вероятность неблагоприятного события и объем этого события (потери, ущерб, убытки) [1, 10]. Эти две как бы «элементарные» меры взаимосвязано фигурируют в мозгу субъекта при его действиях в условиях неопределенности, в условиях опасности. Строя комбинации этих элементарных мер, адекватных сложившейся ситуации, субъект оценивает уровень опасности и принимает решение на последующие действия (последнее относится к управлению риском) [4, 11].

Указанная комбинация элементарных мер и представляет собой обобщенную меру опасности, называемую риском. Такое толкование риска может быть подкреплено совершенно прозрачными логически непротиворечивыми выводами субъекта об опасности, находящегося в одной из трех идеализированных ситуаций.

Понятие риска в мореплавании традиционно связывается с вопросами обеспечения безопасности мореплавания в сложных условиях морской природной и хозяйственной среды [1, 4]. При рассмотрении понятия «риск» применительно к мореплаванию с ним часто отождествляется понятие «опасность». Зачастую в морской практике термины «риск» и «опасность» понимаются как синонимы без какого-либо значимого различия между ними.

Оценка риска – количественная величина вероятности недостижения поставленной цели и величины возможного ущерба. Для целей определения области действия оценки риска в мореплавании следует исходить из целевой функции арктического мореплавания, к которой отнесена деятельность ледокольного, торгового, исследовательского, рыболовного флота. Основной целевой функцией мореплавания (в т. ч. и арктического) является, в первую очередь, безопасная эксплуатация судна для выполнения его функционального назначения.

В широком смысле риск является как технической, так и философской, и экономической категорией. Слово «риск» имеет испано-португальские корни и означает «риф», «подводная скала», что ассоциируется с понятием «лавировать между скалами», а значит, сопряжено с чувством опасности. В настоящее время не существует однозначного толкования термина «риск». Наиболее широко распространено суждение о риске как о возможности опасности (неудаче) и ее величине. Риск – это все внутренние и внешние предпосылки, которые могут негативно повлиять на достижение поставленных целей в течение точно определенного отрезка времени наблюдения, например, периода перехода судна по Северному морскому пути (СМП).

Арктические грузоперевозки являются сложной и рискованной операцией, которая включает в себя доставку грузов по арктическому региону. Рассмотрим различные аспекты арктических грузоперевозок и связанные с ними риски, а затем построим математическую модель обстановки, учитывающую данные группы рисков:

1. Ледовая обстановка: одним из основных арктических рисков для грузоперевозок является проблема льда. Ледяной покров может препятствовать движению судов и создавать опасность столкновения с айсбергами или ледовыми горами. Для решения этой проблемы требуется специализированное оборудование, такое как ледоколы и суда с усиленной конструкцией корпуса.

2. Экстремальные погодные условия: арктический регион характеризуется экстремальными погодными условиями, включая сильные ветры, низкие температуры и метели. Эти условия могут затруднить операции грузоперевозок, увеличивая вероятность задержек и повреждений грузов. Необходимость учета погодных условий и принятия соответствующих мер предосторожности является критической для осуществления успешных арктических грузоперевозок.

3. Ограниченная инфраструктура: арктический регион характеризуется ограниченной инфраструктурой, что может затруднять операции грузоперевозок. Недостаток портов и удобных площадей для отстоя судов может создать проблемы при загрузке и разгрузке грузов. Более того, отсутствие достаточного количества обслуживающего персонала и технического оборудования может повлиять на скорость и эффективность грузоперевозок.

4. Загрязнение окружающей среды: арктический регион является уникальной экосистемой, которую нужно оберегать. Однако грузоперевозки, особенно морские, могут представлять угрозу для окружающей среды. Возможность разлива нефтепродуктов или других опасных материалов может иметь серьезные последствия для морской фауны и флоры. Поэтому необходимо принимать меры предосторожности и строго соблюдать международные стандарты для защиты окружающей среды.

5. Риск несчастных случаев: в связи с особенностями арктической местности и климата риск несчастных случаев при грузоперевозках может быть высоким. События, такие как кораблекрушения, падение грузов или оказание помощи при авариях, могут представлять опасность для людей и имущества. Подготовка персонала и наличие систем безопасности должны быть неотъемлемой частью арктических грузоперевозок.

Одним из подходов к расчету риска является умножение вероятности возникновения определенного события на его возможные последствия. Формула для подсчета риска может быть выражена следующим образом:

$$R = P * S,$$

4 2023.indd 130 13.12.2023 15:56:10

где: P – «Вероятность» – отражает вероятность возникновения угрозы или негативного события при перемещении груза. Она может быть оценена на основе исторических данных или экспертных оценок; S – «Последствия негативного события» – отражают масштаб возможного ущерба или негативного влияния в случае, если указанное событие произойдет. Последствия могут быть измерены в денежном эквиваленте, времени задержки, повреждениях груза и других факторах, которые могут негативно сказаться на бизнесе или клиентах.

Конкретная реализация варьируется в зависимости от условий и факторов, влияющих на арктические грузоперевозки. Варианты подсчета риска включают:

1. Квантификационный подход:

– Вероятность: используется историческая статистика или экспертные оценки для определения вероятности возникновения определенных событий, таких как потеря груза или повреждение.

– Последствия: оцениваются размером возможного финансового ущерба, затратами на восстановление или временной задержкой доставки.

2. Качественный подход:

– Вероятность: определяется на основе категорий, таких как высокая, средняя или низкая вероятность возникновения определенных событий.

– Последствия: оцениваются с помощью категорий, таких как высокие, средние или низкие влияния на бизнес или клиентов.

3. Комбинированный подход:

– Вероятность и последствия: используются различные категории и метрики, а также экспертные оценки для определения вероятности и последствий различных рисков при перемещении груза.

Соответственно, для применения аппарата искусственных нейронных сетей необходимо, чтобы нейронная сеть могла определить вероятность возникновения угрозы и оценить её последствия. Для упрощения условий задачи рассмотрим финансовые риски, то есть последствия будут иметь размерность «рубль». Алгоритм достаточно прост: маршрут судна разбивается на участки по однородности окружающей среды, затем нейронная сеть вычисляет вероятность возможных событий на каждом участке, которые могут нанести финансовый ущерб. Для каждого участка i вычисляется величина риска $R_i=\sum_j P_j*S_j$, где P_j – вероятность негативного события j, S_j – ущерб от данного события, j – число различных негативных событий, чья вероятность на данном маршруте существенна для рассмотрения нейронной сетью (например, ледовая обстановка и связанные с ней риски неактуальна в условиях тропических морей). Затем в случае превышения допустимого уровня риска (заранее заданного) будет выдана рекомендация об обходе данного участка.

Таким образом, искусственная нейронная сеть по заданным правилам определяет P_j – вероятность негативного события, основываясь на ряде факторов, которыми описываются параметры анализируемого региона. То есть, определенному набору параметров и их показателей (значений) обстановки, ставится в соответствие вероятностная мера наступления того или иного события. Например, ледовый класс судна – Arc7, толщина льда – 80 см, сплоченность льда – 60%, тогда вероятность преодоления судном данного ледового массива составит 0,9.

К таким факторам внешней среды относятся глубины, течения, осадки, видимость, ветер, температура, ледовая обстановка, другие объекты в районе плавания (тактическая обстановка), иные существенные для принятия решения параметры. Обучающий набор для искусственной нейронной сети будет представлять из себя таблицу, где будут сопоставлены факторы как входные параметры, и вероятности негативных событий как параметры выходные. Затем для определения величины риска R происходит умножение вероятности наступления нежелательного события на заранее оцененный для каждого негативного события размер ущерба в случае наступления данного события.

Модель искусственной нейронной сети, способная оценить вероятность возникновения событий, подвергающих риску судно, проходящее по маршруту, может быть реализована с использованием архитектуры рекуррентной нейронной сети (RNN). Архитектура RNN состоит из нейронных блоков, в которых информация обрабатывается последовательно. В контексте оценки вероятности риска каждый блок будет отвечать за обработку информации о судне на каждом шаге его перемещения по маршруту.

Математическая составляющая такой RNN связана с передачей информации от одного блока к другому. Вводные данные – указанные выше типы рисков – являются входами нейронной сети (формально векторы событий N, A, R, E, S). Каждый блок обрабатывает информацию, учитывая предыдущие состояния и данные, передавая их следующему блоку.

Формализуем задачу оценки риска в терминах ИНС. Исходные геоданные задаются выражением (1):

$$\dot{x}_i(t) = -\gamma_i x_i(t) + \sum_{j=1}^{n} (\omega_{ij}(t) g(x_j(t)) + u_i(t)); \quad i, j = \overline{1 \ldots n};$$

$$\dot{x}_i(t) = -\gamma_i x_i(t) + g_i(z_i(t)) + u_i(t); \quad i, j = \overline{1 \ldots n};$$

$$z_i(t) = \sum_{j=1}^{n} \omega_{ij}(t) x_j(t-h);$$

$$g_i(z_i(t)) = \left(1 + \exp\left(-\lambda \sum_{j=1}^{n} \omega_{ij}(t) x_j(t-h)\right)\right)^{-1};$$

$$\dot{x}_i(t) = -\gamma_i x_i(t) + \left(1 + \exp\left(-\lambda \sum_{j=1}^{n} \omega_{ij}(t) x_j(t-h)\right)\right)^{-1} + u_i(t);$$

$$i, j = \overline{1 \ldots n}; \qquad (1)$$

4 2023.indd 131 13.12.2023 15:56:10

где $x_i(t) = (N_1, \ldots N_n, A_1 \ldots A_n, R_1 \ldots R_n, E_1 \ldots E_n, S_1 \ldots S_n)$ – вектор данных в определенный момент времени (значения нейрона), $\dot{x}_i(t)$ – вектор геоданных, преобразованный для оценки обстановки, $\omega_{ij}(t)$ – вектор приоритетов параметров в конкретный момент времени (веса связей нейронов), $u_i(t)$ – вектор внешних воздействий (принудительного управления) в конкретный момент времени, $g(x_j(t))$ – функция активации нейрона (сигмоидального типа), $z_i(t)$ – сумма воздействия ансамблей (групп) нейронов, γ_i – затухание нейрона (специальный поправочный коэффициент).

Обучающее множество для рассматриваемой сети будет содержать данные о перемещении судна по маршруту в разные временные точки. Для каждой временной точки будет известен риск возникновения определенного события, например потери груза или повреждения судна. Обучение сети осуществляется путем подачи последовательных пар входных данных и целевых значений риска на каждом временном шаге.

Важно отметить, что для обучения нейронной сети требуется наличие достаточного количества размеченных данных, содержащих входную информацию.

1. Инициализация весов: Веса нейронной сети инициализируются случайными значениями. Обозначим веса как ω.

2. Прямое распространение: Входные данные X подаются на входной слой нейронной сети. Затем сигналы распространяются через слои нейронов, применяя активационные функции к полученным значениям. Результатом являются выходные значения Y.

3. Вычисление функции ошибки: сравниваем выходные значения сети Y с ожидаемыми значениями Y_{true} и вычисляем значение функционала ошибки E, который нужно минимизировать. Обычно для задачи классификации используется кросс-энтропийная функция потерь:

$$E = -\sum (Y_{true} * \log(Y) + (1 - Y_{true}) * \log(1 - Y)). \quad (2)$$

4. Обратное распространение ошибки: производится вычисление градиента функции ошибки по весам сети ω. Для этого применяется алгоритм обратного распространения ошибки. Градиентные значения вычисляются в обратном порядке от выходного слоя к входному слою. Обозначим градиенты как $dE/d\omega$.

5. Обновление весов: Веса сети обновляются с использованием градиентного спуска. Для этого вычисленный градиент $dE/d\omega$ умножается на скорость обучения alpha и вычитается из текущих значений весов ω. Этот процесс повторяется для каждого образца данных в обучающей выборке. Формула для обновления весов:

$$\omega_{new} = \omega_{alpha} * dE / d\omega. \quad (3)$$

6. Повторение шагов 2–5: процедура прямого и обратного распространения ошибки повторяется для каждого образца данных в обучающей выборке. Это называется эпохой обучения. Обычно процесс обучения повторяется несколько эпох, чтобы дать сети возможность лучше адаптироваться к данным.

7. Оценка производительности: после завершения обучения проверяется производительность сети на отложенной тестовой выборке или валидационной выборке. Это позволяет оценить, насколько хорошо сеть обучилась и как ее можно улучшить.

8. Финальное тестирование: если производительность сети на тестовой выборке удовлетворяет требованиям, тогда она готова к использованию. Если нет, то необходимо провести дополнительные итерации обучения или внести изменения в архитектуру сети или параметры обучения, чтобы улучшить производительность.

После обучения нейронной сети на тестовых наборах данных (исходные данные (параметры обстановки) – связи – оценки), обученную нейронную сеть можно использовать для оценки риска на новых исходных данных (реальная обстановка), предоставленных для определенной акватории (района) или маршрута плавания. Еще раз подчеркнем, что оценки нейронной сетью определяются:

а) через угрозы, опасности и неопределенности – для вероятности наступления нежелательного события (получение повреждения от столкновения со льдом, посадка на мель, затирание судна во льдах, столкновение с другим судном, гибель судна, ...) P;

б) по данным о судне, перевозимом грузе, экологической обстановке – для ущерба S (общем и частных) вследствие наступления нежелательного события.

Нейронная сеть будет анализировать информацию о судне и обстановке, предсказывать на основе динамической модели обстановки (дает представление о развитии обстановки в будущем) вероятность возникновения различных рисковых событий на каждом временном шаге предстоящего маршрута плавания.

Применение такой модели позволит оценивать вероятность возникновения различных рисковых событий на маршруте судна. Это может помочь логистическим компаниям и судовладельцам принимать решения, связанные с безопасностью грузов и судов, и принимать соответствующие меры предосторожности для минимизации риска перемещения груза.

Рассмотрим вышеуказанную модель применительно к практической задаче построения маршрута. Для наглядности возьмем маршрут между поселком Тикси и островом Котельный. Рассмотрим перемещение самоходного судна класса Arc6 (самостоятельное плавание в разрежённых однолетних арктических льдах при их толщине до 1,1 м в зимнее-весеннюю навигацию и до 1,3 м в летнее-осеннюю) в летне-осеннюю навигацию. Положим также, что судно перевозит контейнерные грузы. Дополнительно зададим зоны, имеющие дополнительную нагрузку. В учебных целях выделим зону обитания краснокнижных организмов (экологические риски), зону неблагопри-

4 2023.indd 132 13.12.2023 15:56:11

Рис. 1. Постановка задачи

Рис. 2. Картоид, разбитый на подрайоны

4 2023.indd 133 13.12.2023 15:56:11

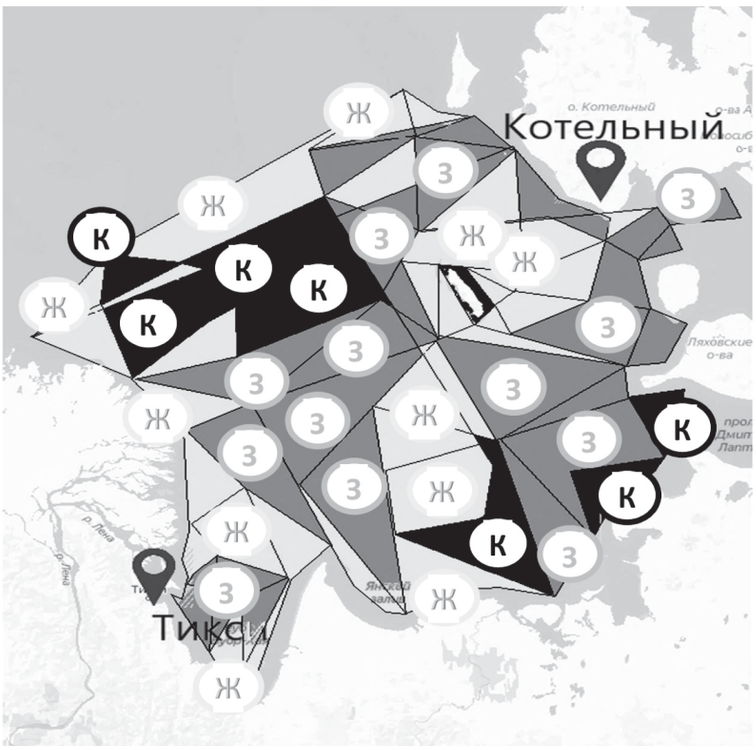

Рис. 3. Анаморфоза оценочной карты оценки ледовой обстановки в акватории. Легенда карты: К – красная зона предельных рисков; Ж – желтая зона умеренных рисков; З – зеленая безрисковая зона (допустимые (приемлемые) риски)

Рис. 4. Маршрут на картоиде

4 2023.indd 134 13.12.2023 15:56:11

Таблица 2

Пример обучающего множества параметров для построения маршрута

Навигационные параметры		Антропогенные параметры			Погодные параметры			Экологические параметры		Параметры риска
Глубина (N1)	Расстояние до берега (N2)	Наличие военных конфликтов/учений (A1)	Наличие транспортного маршрута (A2)	Наличие судов в данной зоне (A3)	Осадки (P1)	Давление (P2)	Наличие опасных погодных условий (P3)	Нерест рыб (E1)	Наличие животных из Красной книги региона (E2)	Параметр оценки риска в зоне (S1)
17	26	0	0	0	23	756	0	0	1	1,2
36	36	0	1	1	32	751	1	1	1	0
54	65	1	0	1	12	745	1	0	1	0,3
12	84	1	1	1	54	745	0	1	0	0,6
19	78	0	1	1	12	790	0	0	0	0
99	45	1	0	0	4	756	1	1	0	0,1
84	21	1	1	0	0	752	1	0	0	0,3
12	12	1	0	1	17	712	0	1	0	0,45

Рис. 5. Перенос маршрута на географическую карту

4 2023.indd 135 13.12.2023 15:56:11

ятных погодных условий (экстремальные погодные условия) и зону проведения учений (антропологические факторы, риск несчастных случаев).

Для решения данной задачи воспользуемся описанной выше нейронной сетью для оценки рисков на каждом участке маршрута. При этом в качестве функции активации нейрона используется сигмовидная функция

$$S(x) = \frac{1}{1 + \exp(-x)}.$$

Данная функция позволяет существенно сократить вычислительную сложность метода обратного распространения ошибки, используемого для обучения нейронной сети.

Обучающий набор состоял из 100 000 векторов параметров, дополненных оценкой риска в зоне с параметрами для каждого набора. Оценивание условий и составление обучающего множества производилось вручную методом экспертной оценки.

Построим модель обстановки в рассматриваемой зоне, разбитую на территории крупного размера. Она представлена на рис. 2.

По результатам работы обученной нейронной сети, описанной в первой части статьи, строится оценочный картоид. Для наглядности геоизображения результирующей оценки обстановки применяется процедура цветового легендирования (окрашивания). В качестве параметра окраски используется суммарная оценка рисков (g). Результатом анаморфозы будет картоид, представленный на рис. 3. На рисунке территории окрашены в зависимости от проведенной оценки рисков, где красным (код К) цветом были выделены участки с неприемлемым риском (затраты в случае реализации риска значительно превосходят затраты на обход участка), желтым (код Ж) – участки умеренного риска (то есть издержки в случае реализации риска находятся на том же уровни что и затраты на обход участка) либо зеленым (код З) – затраты от реализации рисков стремятся к нулю.

Проанализировав полученный картоид, можно выделить районы, оптимальные для прохождения судна.

По ним нейронная сеть составит оптимальный маршрут прохождения судна (рис. 4) с учётом иных параметров, важных для построения маршрута. Пример обучающего множества для такой нейронной сети приведен в таблице 2.

В качестве финального этапа исследований осуществляется детопологизация картоида и перенос маршрута на географическую карту. Перенос представлен на рис. 5.

Следует отметить, что разбиение карты на области было в испытательных целях взято мелкомасштабным. При увеличении разбиения точность построения маршрута вырастает. Однако вырастает и сложность обучения нейронной сети, то есть количество наборов, необходимых для обучения нейронной сети.

Литература

1. Абчук, В. А. Теория риска в морской практике / В.А. Абчук. – Л.: Судостроение, 1983. – 152 с.
2. Арикайнен, А. И. Судоходство во льдах Арктики / А.И. Арикайнен. – Москва : Транспорт, 1990. – 246 с.
3. Морские прогнозы / З.К. Абузяро, К.И. Кудрявая, Е.И. Серяков, Л.И. Скриптунова. – Л.: Гидрометеоиздат, 1988. – 320 с.
4. Топалов, В. П. Риски в судоходстве: монография / В.П. Топалов, В.Г. Торский. – Одесса : Астропринт, 2007. – 368 с.
5. Топалов, В. П. Опасности для мореплавания / В.П. Топалов, В.Г. Торский, Л.А. Позолотин. – Одесса : Астропринт, 2009. – 238 с.
6. Правила разработки и проведения морских операций // Российский морской регистр судоходства. – Санкт-Петербург, 2010. – 122 с.
7. Фисенко, А. И. Риски организации судоходства в Арктике по Северному морскому пути / А.И. Фисенко // Транспортное дело России. – 2015. – № 6. – С. 260–262.
8. Чижков, Ю. В. Арктическая морская транспортная система / Ю.В. Чижков. – Санкт-Петербург : Медиапапир, 2021. – 96 с.
9. Широкорад, А. Б. Арктика и Северный морской путь: безопасность и богатство России / А.Б. Широкорад. – Москва : Вече, 2017. – 412 с.
10. Baecher, G. B. Reliability and statistics in geotechnical engineering / G.B. Baecher, J.T. Christian. – New York : John Wiley and Sons, Chichester. – 2003. – 593 p.
11. Kuo, Ch. Management Ship Safety / Ch. Kuo. – London – Hong Kong : LLP. – 2008. – 189 p.

4 2023.indd 136 13.12.2023 15:56:11