ВЕСТНИК
ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА
МОРСКОГО И РЕЧНОГО ФЛОТА ИМЕНИ АДМИРАЛА С. О. МАКАРОВА

ВОДНЫЕ ПУТИ СООБЩЕНИЯ И ГИДРОГРАФИЯ

DOI: 10.21821/2309-5180-2021-13-2-222-231

FUNCTIONAL SCHEME OF OPERATIVE ROUTE OPTIMIZATION DURING ICE NAVIGATION

A. A. Aleshin[1], S. S. Kubrin[2]

[1] — Christiania Shipping A/S, Copenhagen, Denmark
[2] — ICEMR RAS, Moscow, Russian Federation

The development of the Russian Far North regions is one of the most significant national policy directions for the Russian Federation. Ongoing development of new oil and gas fields in the shelf area of the Arctic causes rapidly increasing ship's traffic and load on the local transportation network. Those circumstances highlight the growing importance of The Northeast. However, increasing ship's traffic causes concerns — more attention should be payed to the safety of navigation in this region with its harsh environment, like heavy ice conditions, sub-zero temperature, etc. The method of prompt finding of the optimal route in ice conditions onboard based on the methods of dynamic programming is developed; however, the additional solutions are required to manage implementation of this algorithm onboard. The functional scheme of operative route optimization during ice navigation is described in the paper. International regulations regarding passage planning and pollution prevention every year push to increase environmental and safety awareness of personnel involved, so that implementation of this algorithm meets those requirements permitted to use onboard. The following has to be developed: software for optimal route calculation, data management system, statement in safety management system onboard mentioning options, instructions, restrictions and benefits of the method. In this article special attention was payed to the data management. Database and its analysis may allow you to assess the various factors affecting the passage time, may identify situations when suboptimal planning took place. The following parameters are suggested for use — the maximal acceptable time loss, its possibility and the maximal level of acceptable economical risk caused by the time losses mentioned above. These parameters have to be added to safety management system onboard along with the procedures of using this optimization algorithm. Taking into account some restrictions of this method it will allow you to perform safe and effective voyage planning.

Keywords: Ice navigation, optimal routing, ice forecasts, data management, Arctic, dynamic programming.

For citation:
Aleshin, Alexander A., and Sergey S. Kubrin. "Functional scheme of operative route optimization during ice navigation." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 13.2 (2021): 222–231. DOI: 10.21821/2309-5180-2021-13-2-222-231.

УДК 656.61.052

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА ОПЕРАТИВНОГО РАСЧЕТА ОПТИМАЛЬНОГО МАРШРУТА СУДНА В ЛЕДОВЫХ УСЛОВИЯХ

А. А. Алёшин[1], С. С. Кубрин[2]

[1] — Christiania Shipping A/S, Копенгаген, Дания
[2] — ИПКОН РАН, Москва, Российская Федерация

Отмечается, что международные требования, предъявляемые к планированию перехода, ежегодно ужесточаются в вопросах сокращения расхода топлива, вредных выбросов и повышения безопасности плавания, что обуславливает необходимость совершенствования методов по определения оптимальных маршрутов в море. В данной работе рассматривается функциональная схема алгоритма оперативного расчета оптимального по времени маршрута судна при плавании в ледовых условиях, разработанного на основе метода динамического программирования и учитывающего обеспеченность прогноза по продолжительности перехода. Особое внимание уделяется проблеме обработки данных, содержащих информацию о совершенных рейсах. Описана методика формирования базы данных о совершенных рейсах, благодаря которой анализ полученной информации позволяет давать более точную оценку различных факторов,

оказывающих влияние на наступление критических потерь времени, таких как ледовые условия, метеорологические условия, особые районы плавания. Отмечается, что база данных и ее дальнейший анализ позволят давать более точную оценку различных факторов риска наступления критических потерь времени, а также выявлять случаи задержек на переходе, вызванные неоптимальным планированием. Предложены решения по вопросам применения метода в практических условиях, отвечающие международным требованиям относительно планирования перехода и управления безопасностью на борту судна и касающиеся системы управления безопасностью судна, информирования и подготовки экипажа относительно особенностей и ограничений работы метода. Предложено закрепить следующие параметры: «допустимая вероятность наступления критических потерь времени» и «допустимое значение экономического риска, связанного с потерями времени на переходе». Отмечены существующие ограничения алгоритма, учет которых необходим для его эффективного и безопасного использования.

Ключевые слова: ледовое плавание, оптимальный маршрут, ледовый прогноз, управление данными, Арктика, динамическое программирование.

Для цитирования:
Алёшин А. А. Функциональная схема оперативного расчета оптимального маршрута судна в ледовых условиях / А. А. Алёшин, С. С. Кубрин // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2021. — Т. 13. — № 2. — С. 222–231. DOI: 10.21821/2309-5180-2021-13-2-222-231.

Введение (Introduction)

На протяжении последнего десятилетия в Арктическом регионе наблюдаются процессы, связанные с развитием перспективных нефтегазовых проектов, которые в долгосрочной перспективе должны обеспечить устойчивый рост объемов перевозки жидких углеводородов морем. С точки зрения экологического аспекта рост арктических морских грузоперевозок предполагает реализацию новых задач в морской транспортной отрасли. Исследования, проведенные Международной морской организацией (IMO) и отраженные в циркуляре MEPC58/INF.21, показали, что оптимизация маршрута судна может позволить сократить расход топлива и вредные выбросы в атмосферу на 2–4 %. В дополнение к этому требования «Международной конвенции МАРПОЛ 73/78» (прил. VI, правила 22 и 22А) подразумевают обязательную разработку и внедрение «Плана управления энергетической эффективностью судна»[1]. Этот документ является механизмом для проведения кампании по повышению энергетической эффективности судна, в котором с точки зрения подготовки и выполнения перехода должен быть указан комплекс мер по улучшению энергетической эффективности для конкретного судна, среди которых следующие:

– улучшенное планирование и выполнение рейса;

– выбор потенциально наиболее эффективных маршрутов с учетом погодных условий;

– оптимизация скорости хода судна с учетом предварительного взаимодействия с портом прибытия относительно доступности причала;

– выбор оптимальных установок двигателей с учетом предполагаемого времени прибытия.

Полярный кодекс[2], вступивший в силу с 1 января 2017 г., предъявляет требования к планированию маршрута (I-A, 11), включающие в том числе учет текущей ледовой обстановки в районе плавания, а также статистических данных о ледовой обстановке и температуре в предшествующие годы в периоды, соответствующие предполагаемому времени плавания. Таким образом, в соответствии с международными требованиями, предъявляемыми к планированию перехода, сформулирована задача по определению оптимальных маршрутов в море с целью сокращения расхода топлива и вредных выбросов, при этом уделено необходимое внимание вопросам безопасности плавания. Вопросам выбора оптимальных маршрутов в различных условиях плавания посвящены работы [1]–[3]. Эффективное решение задачи предложено на основе метода Беллмана — Форда [4], генетического алгоритма [5], целочисленного линейного программирования [6]. Вопросам управления данными, в том числе при плавании в полярных водах, посвящены работы [7], [8]. Тем не менее

[1] Международная Конвенция по предотвращению загрязнения с судов 1973 г., измененная протоколом 1978 г. к ней. СПб.: ЦНИИМФ, 2017. 412 с.

[2] Международный кодекс для судов, эксплуатирующихся в полярных водах. СПб.: ЦНИИМФ, 2016. 232 с.

вопросы выбора оптимального по времени маршрута в ледовых условиях и внедрения его дальнейшего оперативного применения на борту судна были решены недостаточно полно. В связи с этим интерес представляет алгоритм по определению оптимального маршрута в ледовых условиях [9], разработанный на основе метода динамического программирования.

Данная работа имеет целью подробное описание функциональной схемы поиска оптимального маршрута судна в ледовых условиях, основанного на использовании метода динамического программирования, с учетом оценки вероятности наступления критических потерь времени на переходе, а также поиск варианта решения для применения метода в практических условиях. Особое внимание следует уделить управлению данными о совершенных рейсах, получаемыми от судов, совершающих ледовое плавание, их обработке и анализу с целью выявления закона распределения вероятности реализации критических потерь времени на переходе.

Методы и материалы (Methods and Materials)

Для разъяснения процессов, происходящих в отдельных функциональных блоках метода по определению оптимального маршрута судна в ледовых условиях, с учетом оценки риска наступления критических потерь времени на переходе, была построена функциональная схема в виде алгоритма, где все основные вычисления представлены в виде программы в среде Matlab (пакет Simulink) — рис. 1.

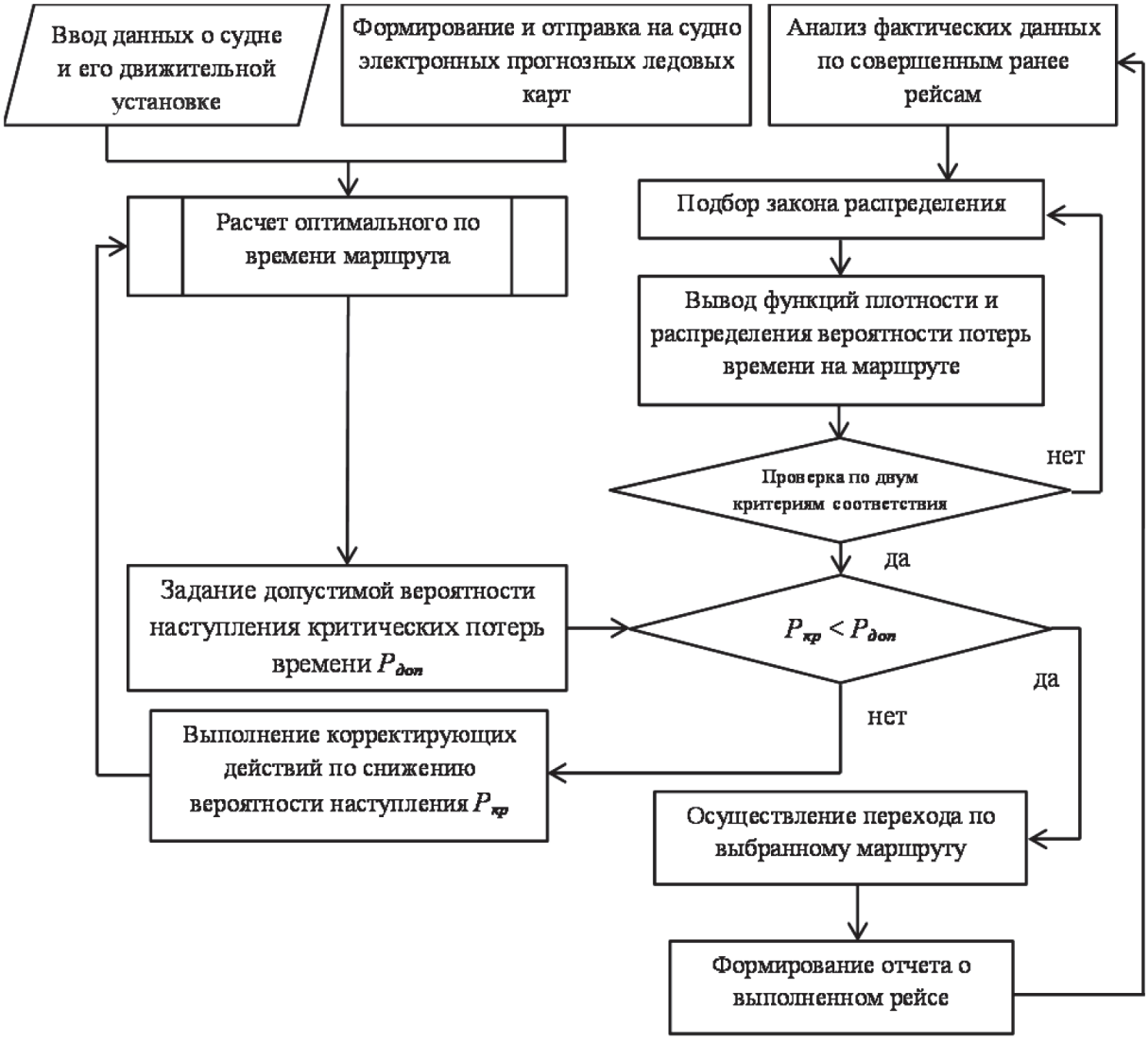

Рис. 1. Функциональная схема метода поиска оптимального маршрута судна в ледовых условиях с учетом обеспеченности прогнозов

Заблаговременно, до начала планирования перехода на конкретном судне, некоторый массив данных, содержащий сведения о ранее выполненных рейсах данного судна и однотипных судов в схожих условиях по соответствующему маршруту, подвергается обработке. Выполненный анализ позволяет получить необходимую в дальнейшем функцию плотности распределения вероятности наступления критических потерь времени, проверка подбора которого выполнена по двум критериям согласия (Колмогорова и Пирсона).

Непосредственно судоводитель вручную осуществляет ввод следующей информации перед запуском программы: данные о судне, ледоколе, пунктах отправления и прибытия, допустимая вероятность наступления критических потерь и риска $P_{доп}$, $R_{доп}$, а также параметр a, соответствующий «критическому значению» потерь времени на переходе (последние три значения могут быть заданы чартером или судовладельцем).

После запуска программы происходит автоматическое вычисление оптимального по времени маршрута. При остановке программы судоводитель получает список путевых точек и схематичный рисунок маршрута на карте, а также расчетную продолжительность рейса и дистанцию между пунктами отправления и прибытия. В дополнение к этому, с учетом полученной ранее функции плотности распределения вероятности, а также заданных параметров $P_{доп}$, $R_{доп}$ и a, выполняется расчет риска наступления финансовых потерь, связанных с задержкой на переходе. Риск рассматривается в данной задаче как сочетание вероятности наступления нежелательного события и его последствий [10]. В случае, если риск, расчет которого основан на полученной вероятности, считается допустимым, полученный маршрут следует принять к использованию и приступить к прокладке полученных путевых точек на навигационных картах с целью осуществления по нему перехода в дальнейшем. В случае, если расчетный риск оказывается больше, чем заданное допустимое значение $R_{доп}$, следует предпринять корректирующие действия, позволяющие снизить возможный риск. Необходимо дать описание корректирующих действий, состоящих из следующих возможных шагов, не ограничиваясь ими:

– перенос начала перехода в том случае, если суммарная потеря времени в ожидании будет восполнена выигрышем времени на переходе;

– выбор альтернативных маршрутов;

– рассмотрение ледокольной проводки (при этом дополнительно необходим ввод технических данных о ледоколе).

После выполнения корректирующих действий полученный маршрут применяется к использованию (действия отражены в плане перехода судна). Важным элементом в данном случае является динамическая коррекция функции плотности распределения и вероятности потерь времени на маршруте на основе базы данных, содержащей информацию по каждому последующему выполненному аналогичному переходу. По окончании каждого перехода необходимо заполнить формуляр в соответствии с представленным образцом.

Формуляр отчета о выполненном рейсе

<table>
<tr><td rowspan="8">Данные о переходе</td><td>Пункт отхода</td><td>A</td><td rowspan="2">Аварийные ситуации</td><td>Причина</td><td>...</td></tr>
<tr><td>Пункт прихода</td><td>B</td><td>Время остановки</td><td>$\Delta t_{ав}$</td></tr>
<tr><td>Время отхода</td><td>$t_{от}$</td><td rowspan="2">Плановые остановки</td><td>Причина</td><td>...</td></tr>
<tr><td>Время прибытия</td><td>$t_{пр}$</td><td>Время остановки</td><td>$\Delta t_{пл}$</td></tr>
<tr><td>Время перехода</td><td>$t_{пр} - t_{от}$</td><td colspan="2">Инструкции на переход</td><td>Да / Нет</td></tr>
<tr><td>Судно в грузу?</td><td>Да / Нет</td><td colspan="2">Скорость</td><td>...</td></tr>
<tr><td>Ледокольная проводка?</td><td>Да / Нет</td><td colspan="2">Ожидаемое время прибытия</td><td>...</td></tr>
<tr><td>Расход топлива</td><td></td><td colspan="2">Расход топлива (т/сут)</td><td>...</td></tr>
</table>

Примечание. Пустые графы формуляра должны быть заполнены актуальной информацией о переходе.

Сбор информации в базе данных (БД) с разделением по категориям на основе заполненного формуляра выполняется в соответствии с рис. 2.

Рис. 2. Процесс формирования базы данных о совершенных судном рейсах в зависимости от условий перехода

Группировка полученных данных в БД осуществляется по следующим критериям:

– пункт отхода и пункт назначения, что позволяет осуществить сортировку выполненных рейсов в зависимости от маршрута;

– время совершения перехода (в формате месяц–день) — вводится для группировки данных в зависимости от времени года;

– проведение ледокольной проводки либо самостоятельного плавания (данная информация необходима для дальнейшего анализа статистических данных в зависимости от способа плавания).

Для непосредственного анализа данных (в рамках массива для рейсов по определенному маршруту, в заданный месяц, с / без ледокольной проводки) необходимо наличие следующей информации:

– фактическая продолжительность перехода, подвергающаяся сравнению с полученным на основе предлагаемого метода расчетным значением;

– указание аварийных ситуаций или происшествий с уточнением их характера и времени остановки;

– указание плановых остановок, их причин и продолжительности.

– снижение хода до экономичного в соответствии с инструкциями чартера / судовладельца. В данном случае необходимо указать следующие данные: скорость, расход топлива, продолжительность перехода, заданные чартером / судовладельцем.

– расход топлива в течение времени перехода.

Формируется база данных о совершенных данным судном и однотипными судами рейсах. По каждому переходу должны быть получены следующие данные:

– применялась ли ледокольная проводка либо выполнялось самостоятельное плавание;

– пункт отхода и пункт назначения;

– общая продолжительность перехода;

– время совершения перехода (в формате месяц–день);

– наблюдались ли в течение рейса аварийные ситуации, описание их характера с указанием времени остановки (если применимо);

– происходили ли в течение перехода плановые остановки, их причины и продолжительность;

– наблюдалось ли снижение хода до экономичного в соответствии с инструкциями чартера / судовладельца (в этом случае необходимо указать скорость, расход топлива, продолжительность перехода, заданные чартером / судовладельцем);

– расход топлива в течение периода перехода.

База данных и ее дальнейший анализ позволят дать более точную оценку рразличных факторов риска наступления критических потерь времени, что позволит выявить наиболее проблемные факторы, обусловливающие потери времени на переходе, и отделить ситуации, когда определенная продолжительность перехода была задана заранее, от случаев, когда задержки на переходе были вызваны неоптимальным планированием.

Обработка данных выполняется в соответствии с алгоритмом, приведенным на рис. 3. Фактическая продолжительность перехода выбирается из определенного массива, полученного после формирования БД, затем выполняется вычисление разницы между фактическим и расчетным временем перехода Δt. В том случае, если заранее задано движение экономичным ходом, когда в качестве максимальной скорости вместо $v_{чв}$ выступает $v_{эк}$, необходимо вначале выполнить перерасчет оптимального маршрута с учетом этого параметра. После перерасчета полученную разницу следует принять к формированию выборки.

События, связанные с некоторыми потерями времени и поддающиеся описанию, такие как плановые или аварийные остановки / задержки, необходимо учитывать дополнительно. Время, потерянное при плановых и / или аварийных задержках, предлагается исключить из вычислений для того, с целью выявления ошибок при планировании осуществления перехода. Рекомендуется вести по ним отдельную статистику для дальнейшего анализа аварийности, разработки и применения решений с целью минимизации подобного рода потерь в дальнейшем. Информация о характере аварийных ситуаций и причинах плановых остановок позволит выявить наиболее уязвимые в отношении потерь времени элементы процесса морских грузоперевозок.

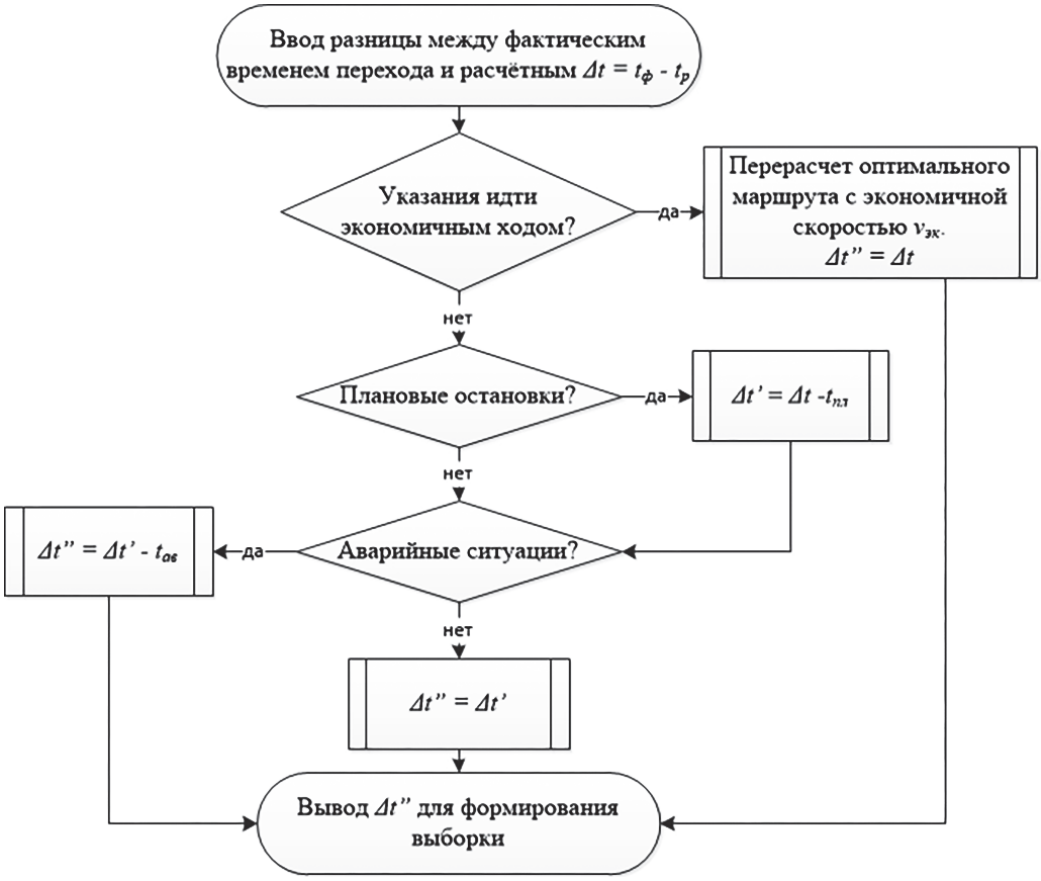

Рис. 3. Алгоритм обработки данных массива

В качестве выходных данных получено значение $\Delta t''$, которое сформирует выборку, позволяющую впоследствии определить закон распределения вероятности реализации критических потерь времени в соответствии с методикой, подробно описанной в работе [11]. Таким образом, предложен алгоритм, позволяющий получать откорректированную функцию плотности распределения вероятности наступления критических потерь времени при плавании в ледовых условиях после каждого выполненного рейса.

Результаты (Results)

На основе представленной функциональной схемы необходимо отметить основные особенности данного метода:

– от судоводителя для получения необходимого результата требуется выполнение минимального количества действий по вводу основных характеристик судна и заданию необходимых значений допустимой вероятности и продолжительности задержки в рейсе;

– описываемый метод тесно связан с картами ледовых прогнозов, получаемыми на судне, поэтому адекватное его функционирование возможно только при своевременном получении ледовых прогнозов в необходимом формате и количестве с заданной периодичностью и гарантированной точностью. Получение карт может быть организовано с помощью аппаратуры радиосвязи либо с применением сети интернет, однако именно в последнем случае становится возможной передача информации в виде, наиболее удобном для дальнейшей обработки, не требующей предварительного преобразования в необходимый формат.

Разработанный метод выполнен в виде программы, реализованной в среде Matlab Simulink, и может быть преобразован в форму самостоятельного программного обеспечения (ПО) с помощью встроенного в Matlab пакета, поддерживающего DLL-библиотеки. Практическое применение самостоятельного ПО требует выполнения следующих условий:

– обеспечение надежной связи *судно — берег* для своевременного получения карт ледовых прогнозов и другой необходимой гидрометеорологической и навигационной информации;

– соответствующая подготовка штурманского состава, в особенности лиц, ответственных за организацию и составление плана перехода судна, возможностей, функций и ограничений предлагаемого метода;

– закрепление в системе управления безопасностью (СУБ) основных понятий и параметров, связанных с описываемым методом;

– учет применения данного метода при стандартной процедуре оценки риска во время планирования перехода.

В соответствии с требованиями «Международного кодекса по управлению безопасной эксплуатацией судов и предотвращению загрязнения» (МКУБ), на борту судна должна применяться к использованию СУБ, представляющая собой комплекс взаимосвязанных элементов, согласованное функционирование которых должно обеспечивать достижение поставленных в данном направлении целей, безопасную практику эксплуатации судов и защиту судна, груза, экипажа и окружающей среды от всевозможных опасностей. В связи с подготовкой к использованию метода определения оптимального по времени маршрута судна в СУБ предлагается принять следующие значения:

– параметра a, достижение или превышение которого указывает на «критическое значение» потерь времени на переходе;

– допустимой вероятности наступления критических потерь времени и допустимого риска: $P_{\text{доп}}$, $R_{\text{доп}}$;

– допустимого риска, связанного с потерями времени на переходе, — $R_{\text{доп}}$.

С точки зрения процедур в СУБ должны быть отражены:

– изменения в форме составления плана перехода, связанные с применением метода определения оптимального маршрута;

– дополнения в стандартной процедуре оценки риска при планировании перехода судна;

– корректирующие действия, направленные на то, чтобы минимизировать выявленные экономические риски, связанные с задержками судна на переходе.

Предполагается, что изменения, затрагивающие СУБ относительно внедряемого метода, не являются значительными по объему, и, следовательно, не создадут дополнительной значительной рабочей нагрузки на экипаж судна.

Обсуждение (Discussion)

Подготовка экипажа, связанная с эксплуатацией внедряемых автоматизированных средств управления судном, имеет важное значение, позволяя снизить воздействие человеческого фактора на безопасность мореплавания. Поэтому необходимо сформулировать основные ограничения рассмотренного метода по определению оптимального маршрута в ледовых условиях, о которых необходимо знать персоналу:

– рассмотрено взаимодействие судна только со статичными объектами, а значит, метод не учитывает взаимодействие с такими подвижными объектами, как другие суда, платформы и др.;

– рассчитанный оптимальный маршрут следует считать безопасным только относительно тех факторов, которые были учтены при формировании информационного обеспечения метода. Таким образом, перед принятием маршрута к использованию необходимо убедиться в том, что другие факторы, не рассмотренные при решении задачи, не создают опасности при осуществлении перехода.

На основе функционирования построенного алгоритма оптимального маршрута вырабатываются рекомендации по снижению экономического риска, связанного с потерями времени на переходе, а учет ранее описанных ограничений обеспечит безопасное и эффективное планирование перехода.

Заключение (Conclusion)

В работе приведено описание методики формирования базы данных о совершенных рейсах, благодаря которой анализ полученной информации позволяет давать более точную оценку различных факторов, оказывающих влияние на наступление критических потерь времени. Это позволяет выявить наиболее проблемные факторы, обусловливающие потери времени на переходе, отделив ситуации, когда определенная продолжительность перехода задана заранее, от случаев, когда задержки на переходе были вызваны неоптимальным планированием. Информация о характере аварийных ситуаций и причинах плановых остановок позволит выявить наиболее уязвимые в отношении потерь времени элементы процесса морской перевозки.

Описаны действия, которые необходимо предпринять с целью реализации изложенного в работе метода. Предложены решения для применения данного метода в практических условиях, касающиеся СУБ судна, информирования и подготовки экипажа относительно особенностей и ограничений его эффективности.

В рамках инициативы IMO, касающейся безэкипажного судовождения, предлагаемый метод определения оптимального по времени маршрута судна в ледовых условиях представляется полезным, так как расчет может выполняться как на борту судна экипажем, так и береговым персоналом. Учитывая при расчете наиболее полный спектр факторов, оказывающих влияние на безопасность плавания, можно достичь эффективного планирования безопасных арктических морских перевозок с применением безэкипажных судов. В связи с тем, что для автоматизации судовождения необходима развитая информационная инфраструктура с целью обеспечения системы навигации важной и своевременной информацией, предложенный метод может явиться одним из важных шагов в этом направлении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Petrie G. L.* A new approach to vessel weather routing and performance analysis / G. L. Petrie, K. J. Bongort, W. M. Maclean // Marine Technology and SNAME News. — 1984. — Vol. 21. — Is. 01. — Pp. 19–40. DOI: 10.5957/mt1.1984.21.1.19

2. *Lin Y.-H.* The optimization of ship weather-routing algorithm based on the composite influence of multidynamic elements / Y.-H. Lin, M.-C. Fang, R. W. Yeung // Applied Ocean Research. — 2013. — Vol. 43. — Pp. 184–194. DOI: 10.1016/j.apor.2013.07.010.

3. *Eskild H.* Development of a Method for Weather Routing of Ships. Master thesis in Marine Technology / H. Eskild. — Trondheim: Norwegian University of Science and Technology, 2014. — 143 p.

4. *Чертков А. А.* Автоматизация выбора кратчайших маршрутов судов на основе модифицированного алгоритма Беллмана – Форда / А. А. Чертков // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2017. — Т. 9. — № 5. — С. 1113–1122. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-5-1113-1122.

5. *Федоренко К. В.* Исследование основных параметров генетического алгоритма применительно к задаче поиска оптимального маршрута / К. В. Федоренко, А. Л. Оловянников // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2017. — Т. 9. — № 4. — С. 714–723. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-4-714-723.

6. *Сахаров В. В.* Автоматизация поиска оптимальных маршрутов и грузовых потоков в транспортных сетях средствами целочисленного линейного программирования / В. В. Сахаров, И. А. Сикарев, А. А. Чертков // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2018. — Т. 10. — № 3. — С. 647–657. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-3-647-657.

7. *Ольховик Е. О.* Анализ скоростных режимов СПГ-танкеров в акватории Северного морского пути в период зимней навигации 2017–2018 гг. / Е. О. Ольховик// Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2018. — Т. 10. — № 2. — С. 300–308. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-2-300-308.

8. *Епихин А. И.* Программные и аппаратные методы сбора и обработки данных в системах поддержки принятия решений современных судов-газовозов / А. И. Епихин // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. — 2016. — № 46. — С. 189–198.

9. *Алёшин А. А.* Оперативный расчет оптимального маршрута судна в ледовых условиях Арктики / А. А. Алёшин, С. С. Кубрин // Транспортное дело России. — 2018. — № 6. — С. 287–290.

10. *Мойсеенко С. С.* Управление рисками в мореплавании и промышленном рыболовстве / С. С. Мойсеенко, Л. Е. Мейлер. — М.: Моркнига, 2017. — 385 с.

11. *Алёшин А. А.* Оценка потерь времени при совершении рейса в ледовых условиях / А. А. Алешин, С. С. Кубрин // Балтийский морской форум: материалы VII Международного Балтийского морского форума: в 6 т. — Калининград: Изд-во БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ», 2019. — Т. 2: Морская техника и технологии. Безопасность морской индустрии. — С. 4–11.

REFERENCES

1. Petrie, George L., Kenneth J. Bongort, and Walter M. Maclean. “A new approach to vessel weather routing and performance analysis.” *Marine Technology and SNAME News* 21.01 (1984): 19–40. DOI: 10.5957/mt1.1984.21.1.19.

2. Lin, Yu-Hsien, Ming-Chung Fang, and Ronald W. Yeung. “The optimization of ship weather-routing algorithm based on the composite influence of multi-dynamic elements.” *Applied Ocean Research* 43 (2013): 184–194. DOI: 10.1016/j.apor.2013.07.010.

3. Eskild, Hege. Development of a Method for Weather Routing of Ships. Master thesis in Marine Technology. Trondheim: Norwegian University of Science and Technology, 2014.

4. Chertkov, Alexander A. “Automation selection shortcuts routes of ships on the basis of modified Bellman-Ford Algorithm.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 9.5 (2017): 1113–1122. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-5-1113-1122.

5. Fedorenko, Kirill V., and Arkadii L. Olovyannikov. “Research of the main parameters of the genetic algorithm for the problem of searching the optimal route.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 9.4 (2017): 714–723. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-4-714-723.

6. Saharov, Vladimir V., Igor A. Sikarev, and Alexander A. Chertkov. “Automating search optimal routes and goods flows in transport networks means the integer linear programming.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 10.3 (2018): 647–657. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-3-647-657.

7. Ol'khovik, Evgeniy O. "Analysis of speed regime LNG-tankers in the Northern sea route in period of winter navigation 2017–18." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 10.2 (2018): 300–308. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-2-300-308.

8. Epikhin, A. I. "The algorithms of data collecting and processing in decision support systems for gas-carrying vessels." *Bulletin of VSAWT* 46 (2016): 189–198.

9. Aleshin, A., and S. Kubrin. "Automatized passage planning in the Arctic" *Transport business of Russia* 6 (2018): 287–290.

10. Moiseenko, S. S., and L. E. Meiler. *Upravlenie riskami v moreplavanii i promyshlennom rybolovstve*. M.: Morkniga, 2017.

11. Aleshin, Alexander Alexandrovich, and Sergey Sergeyevich Kubrin. "Estimation of time loss during sea passage in ice conditions." *BALTIISKII MORSKOI FORUM: materialy VII Mezhdunarodnogo Baltiiskogo morskogo foruma*. Vol. 2. «Morskaya tekhnika i tekhnologii. Bezopasnost' morskoi industrii». Kaliningrad: Izd-vo BGARF FGBOU VO «KGTU», 2019. 4–11.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Алёшин Александр Александрович —
инженер, исследователь, 2-й помощник капитана
Christiania Shipping A/S
2100, Дания, Копенгаген, Amerika Platz, 38
e-mail: *alexal280593@gmail.com*
Кубрин Сергей Сергеевич —
доктор технических наук, профессор
ИПКОН РАН
111020, Российская Федерация, г. Москва,
Крюковский тупик, д. 4
e-mail: *s_kubrin@mail.ru*

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Aleshin, Alexander A. —
Engineer, researcher, 2-nd Officer
Christiania Shipping A/S
38 Amerika Platz, 2100, Copenhagen, Denmark
e-mail: *alexal280593@gmail.com*
Kubrin, Sergey S. —
Dr. of Technical Sciences, professor
ICEMR RAS
4 Kryukovskiy tupik, Moscow, 111020,
Russian Federation
e-mail: *s_kubrin@mail.ru*

Статья поступила в редакцию 26 февраля 2021 г.
Received: February 26, 2021.