

Научная статья
УДК 355/359.07
doi:10.34987/vestnik.sibpsa.2024.75.70.016

Алгоритм поддержки принятия управленческих решений по выбору оптимального маршрута патрулирования акватории Санкт-Петербурга

Дмитрий Алексеевич Колеров

*Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия,
<https://orcid.org/0000-0001-9800-4904>*

Автор ответственный за переписку: Дмитрий Алексеевич Колеров, dima11rus@inbox.ru

Аннотация. Активная популяризация внутреннего туризма, обилие рек и каналов в черте Санкт-Петербурга, удешевление технологий производства маломерных судов приводят к увеличению числа водных прогулок и любителей рыбалки. Как следствие, наблюдается рост количества происшествий на воде.

Для повышения уровня безопасности населения в акватории города в 2020 году принята соответствующая концепция. Однако в результате её анализа было выявлено, что расчёт необходимого числа сил и средств поисково-спасательных служб проводился для благоприятных погодных условий. От 228 до 325 дней на водных объектах Санкт-Петербурга наблюдаются различные неблагоприятные погодные явления, затрудняющие процесс проведения поисково-спасательных работ. Поэтому мероприятий, проводимых в рамках реализации концепции недостаточно для полноценного обеспечения безопасности в акватории.

Одним из возможных вариантов повышения уровня безопасности является её патрулирование при неблагоприятных погодных явлениях. Для этих целей в статье разработан алгоритм поддержки принятия управленческих решений по выбору оптимального маршрута патрулирования акватории Санкт-Петербурга на основе метода ветвей и границ и Венгерского метода. Полученные результаты позволяют минимизировать затраты на проведение патрулирования и сократить количество необходимых спасательных судов.

Ключевые слова: алгоритм, поддержка принятия решений, патрулирование, оптимальный маршрут, метод ветвей и границ, Венгерский метод, акватория г. Санкт-Петербурга

Для цитирования: Колеров Д. А. Алгоритм поддержки принятия управленческих решений по выбору оптимального маршрута патрулирования акватории Санкт-Петербурга // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2024. № 2 (33). С. 82-93. <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2024.75.70.016>

Original article

Algorithm for supporting management decisions on choosing the optimal route for patrolling the waters of St. Petersburg

Dmitry A. Kolerov

*Saint - Petersburg University of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia,
<https://orcid.org/0000-0001-9800-4904>*

Corresponding author: Dmitry A. Kolerov, dima11rus@inbox.ru

Abstract. The active popularization of domestic tourism, the abundance of rivers and canals within St. Petersburg, the reduction in the cost of production technologies for small boats lead to an increase in the number of boat trips and fishing enthusiasts. As a result, there is an increase in the number of accidents on the water.

To increase the level of population safety in the city's water area, a corresponding concept was adopted in 2020. However, as a result of its analysis, it was revealed that the calculation of the required number of forces and means of search and rescue services was carried out for favorable weather conditions. From 228 to 325 days, various adverse weather phenomena are observed on the water bodies of St. Petersburg, complicating the process of search and rescue operations. Therefore, the activities carried out as part of the implementation of the concept are not enough to fully ensure safety in the water area.

One of the possible options for increasing the level of safety is patrolling the water area during adverse weather events. For these purposes, the article has developed an algorithm to support management decision-making for choosing the optimal route for patrolling the waters of St. Petersburg based on the branch and bound method and the Hungarian method. The results obtained make it possible to minimize the costs of patrolling and reduce the number of required rescue vessels.

Keywords: algorithm, decision support, patrolling, optimal route, branch and bound method, Hungarian method, St. Petersburg water area

For citation: Kolerov D. A. Algorithm for supporting management decisions on choosing the optimal route for patrolling the waters of St. Petersburg // Siberian Fire and Rescue Bulletin. 2024; №2 (33). С. 82-93. (In Russ.). <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2024.75.70.016>

Введение

Развитие внутреннего туризма, обилие рек и каналов в черте Санкт-Петербурга, удешевление технологий производства маломерных судов приводят к росту количества водных прогулок и любителей рыбалки. Как следствие, увеличивается число происшествий на воде. Для повышения уровня безопасности населения в акватории города в 2020 году принята концепция развития системы обеспечения безопасности на водных объектах Санкт-Петербурга на 2021-2027 годы, согласно которой планируется (Рис.1) [1, 2]:

- 1) строительство 5 новых береговых спасательных станций (СПС);
- 2) строительство 2 новых станций на базе плавучих дебаркадеров;
- 3) строительство Центра управления силами Поисково-спасательной службы (ПСС) Санкт-Петербурга;
- 4) оснащение современной аварийно-спасательной техникой и оборудованием подразделений ПСС Санкт-Петербурга;
- 5) развитие сети сезонных спасательных постов в местах массового отдыха населения на базе автомобильных шасси и временных сооружений;
- 6) развитие сети общественных сезонных и постоянных спасательных постов.

ОД ПСС на рисунке означает нахождение оперативного дежурного спасательных станций в г. Санкт-Петербург.

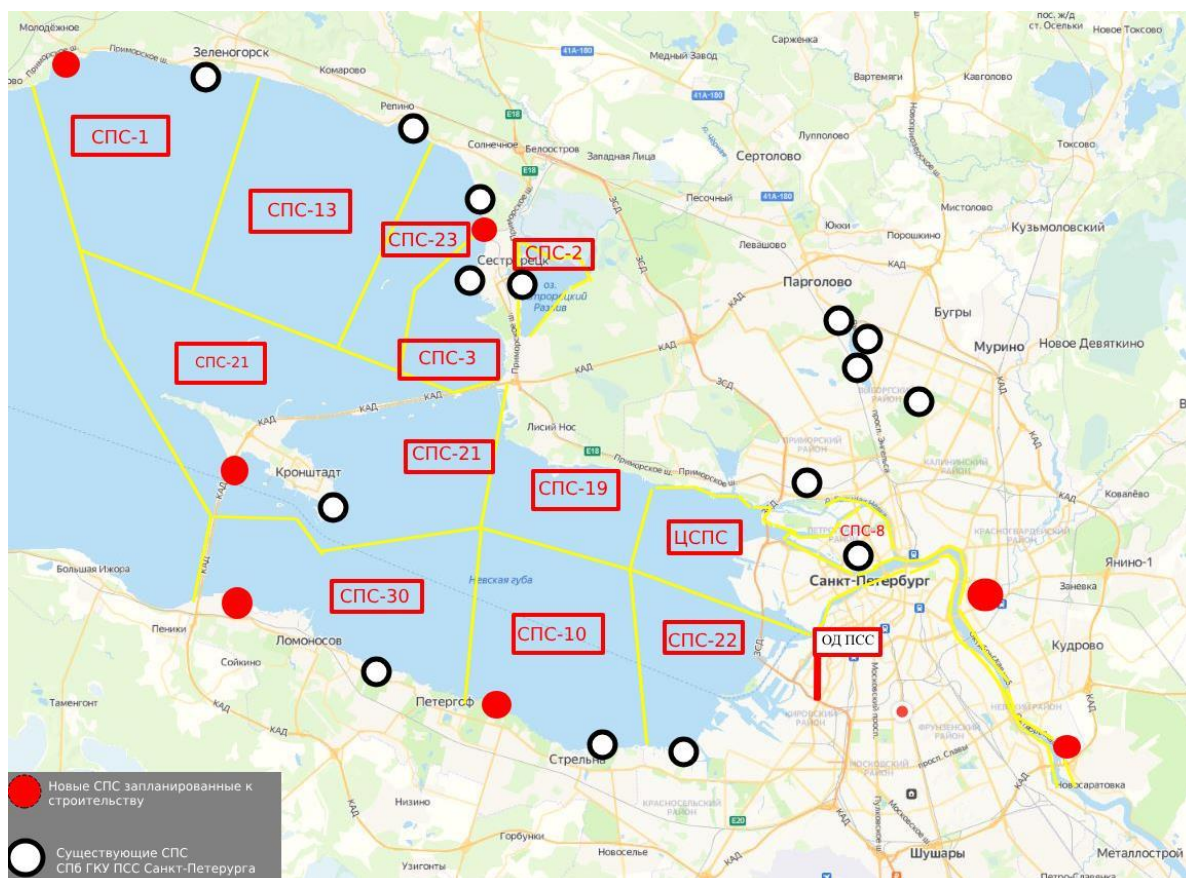


Рис.1. Схема размещения и зоны ответственности спасательных станций ПСС Санкт-Петербурга

На текущий момент часть вышеупомянутых мероприятий уже осуществлена, однако выполнена не в полном объёме. В результате анализа вышеупомянутой концепции было выявлено, что предлагаемые в ней решения позволяют с вероятностью 0,997 обнаруживать тонущих людей; рыбаков, провалившихся под лёд; маломерные суда и их успешно спасать только при благоприятных гидрометеорологических условиях. По данным многолетних наблюдений в акватории города наблюдаются природные явления, затрудняющие процесс проведения ПСР, а именно:

- количество пасмурных дней в году варьируется от 145 до 175;
- количество дней с туманами составляет от 53 до 75;
- количество дней с сильными ветрами лежит в промежутке от 30 до 75 дней.

Таким образом, от 228 до 325 дней в году существует повышенная вероятность гибели людей при происшествиях на воде.

Одним из возможных решений данной проблемы является патрулирование акватории при неблагоприятных погодных явлениях, которое позволит минимизировать время прибытия к месту ПСР за счёт того, что места концентрации любителей рыбалки сконцентрированы примерно в середине зоны ответственности СПС, а сама станция расположена на берегу. Кроме того, при реагировании на происшествия из СПС тратится время на подготовку спасательного судна к выезду и надевание гидрокостюма. В связи с этим, в случае происшествия время следования к месту проведения ПСР от спасательной станции будет больше, по сравнению с тем, если бы судно осуществляло патрулирование акватории. При реагировании на происшествия, особенно в зимний период, когда пострадавший находится в воде, время его спасения исчисляется минутами и любое промедление может привести к его гибели, что недопустимо.

Задача оптимизации маршрутов патрулирования, как одна из составных частей повышения безопасности на водных объектах города, является особенно актуальной в связи с тенденцией роста числа отдыхающих и рыбаков в акватории Санкт-Петербурга. Научная новизна этой задачи связана с возможностью применения метода ветвей и границ и Венгерского метода для оптимизации выбора маршрута патрулирования. Решение данной задачи требует применения соответствующих математических методов [3, 4].

Целью настоящей статьи является разработка алгоритма поддержки принятия управленческих решений по выбору оптимального маршрута патрулирования акватории Санкт-Петербурга. Для решения поставленной цели необходимо решить ряд частных задач, а именно: провести анализ существующих исследований в данной предметной области; исследовать особенности акватории Санкт-Петербурга, влияющие на возникновение происшествий; проанализировать статистические данные по распределению происшествий в акватории города и мест с концентрацией отдыхающих и рыбаков; осуществить разработку алгоритма поддержки принятия управленческих решений по выбору оптимального маршрута патрулирования акватории Санкт-Петербурга.

Анализ научных исследований в данном направлении, показал, что часть из них посвящена применению робототехнических комплексов для патрулирования акватории [5, 6]. В статье [7] представлена модель маневрирования группы патрульных робототехнических комплексов. Для управления силами и средствами (СиС), осуществляющими патрулирование целесообразна разработка соответствующей функциональной модели [8]. Оценка эффективности траекторий патрулирования акватории может быть осуществлена на основе имитационного моделирования [9].

Статьи зарубежных исследователей направлены на применение методов машинного обучения для разработки методов поддержки принятия решений при проведении поисковых работ и реагировании на чрезвычайные ситуации на море [10, 11]. Так же отдельное внимание уделяется учёту статистических показателей гибели людей на пляжах и акваториях, патрулируемых спасателями [12].

Работ, в которых бы решалась задача разработки алгоритма поддержки принятия решений, позволяющего осуществлять построение оптимальных маршрутов патрулирования акватории Санкт-Петербурга с учётом её специфики на текущий момент нет, поэтому материалы статьи являются исключительно актуальными.

Материалы и методы исследования

В качестве источника статистических данных были использованы данные журнала учёта проведения ПСР Поисково-спасательной службы Санкт-Петербурга за последние 5 лет. Анализ распределения происшествий, произошедших в акватории города свидетельствует о том, что их концентрация сосредоточена в местах массовых купаний, скопления рыбаков и аномалий рельефа дна (наличие камней, мелей и т.д.) (Рис.2).

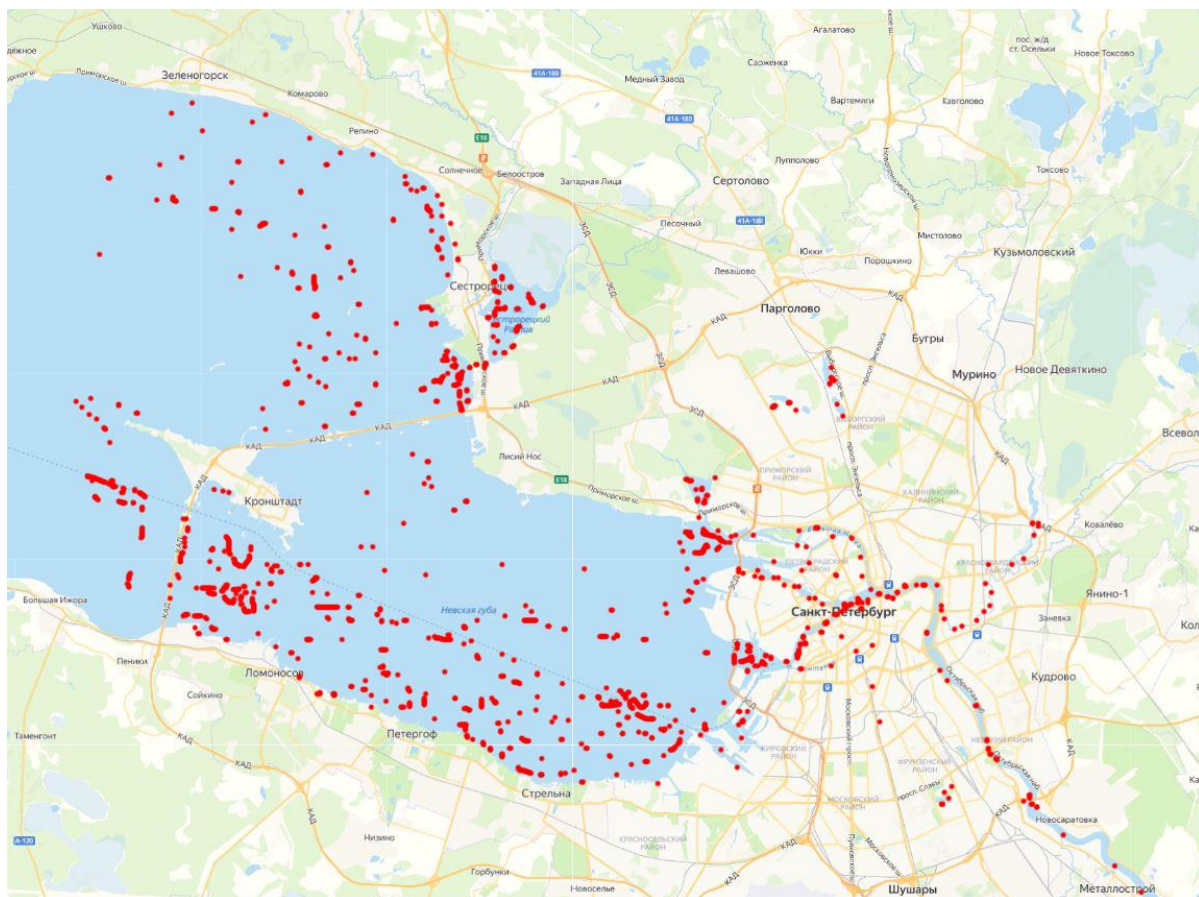


Рис.2. Распределение происшествий в акватории Санкт-Петербурга за 2019 – 2023 г.

Для решения задачи поиска оптимального маршрута патрулирования акватории города были использованы различные методы, однако наибольшую эффективность показали 2 метода: метод ветвей и границ, и Венгерский метод. Первый из них позволяет построить оптимальный маршрут для патрулирования акватории одним спасательным судном, второй метод для двух судов соответственно.

Результаты исследования и их обсуждение

В качестве примера для расчёта была выбрана СПС №30, поскольку в её зоне ответственности сконцентрированы места массовой рыбалки и неорганизованного отдыха.

Пусть спасательному судну необходимо осуществить патрулирование акватории Санкт-Петербурга, в частности мест с концентрацией рыбаков (n). Расстояния между ними задаются взвешенными дугами ориентированного графа:

$$G = (A; B); A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}, B = \{b_{ij}; i, j \in \{1, 2, \dots, n\},$$

где A – множество мест с массовой концентрацией людей, которые необходимо посетить; B – множество дуг (отрезков маршрута b_{ij} спасателей от i места к j месту); $k(b_{ij})$ – вес дуги b_{ij} графа G (время или расстояние прохождения маршрута патрулирования b_{ij}).

Схематично граф G патрулирования определённой зоны акватории Санкт-Петербурга, при $n=6$ представлен на Рис.3.

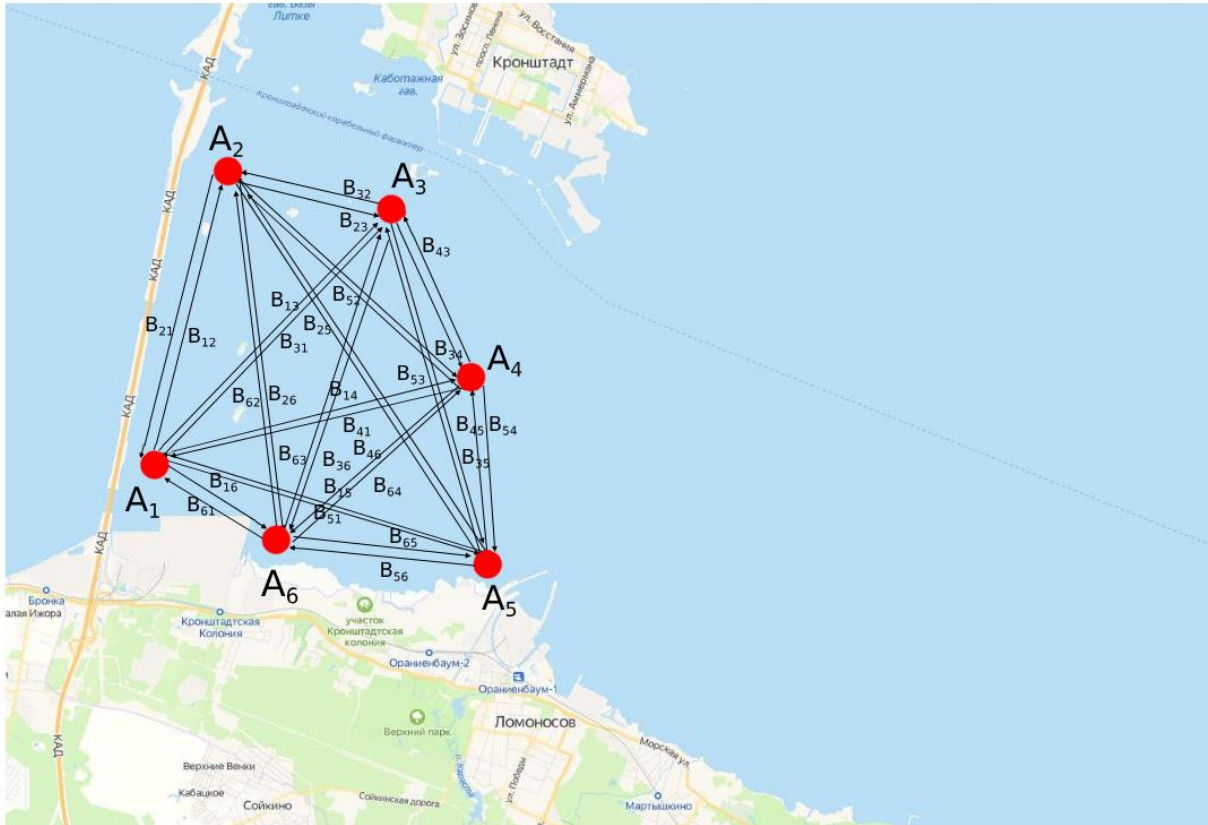


Рис.3. Пример графа $G = (A, B)$ на карте акватории Санкт-Петербурга

Предположим, что для графа G заданы следующие значения весов: $k_{12} = 9; k_{13} = 11; k_{14} = 8; k_{15} = 18; k_{16} = 12; k_{21} = 6; k_{23} = 7; k_{24} = 1; k_{25} = 25; k_{26} = 4; k_{31} = 12; k_{32} = 20; k_{34} = 16; k_{35} = 3; k_{36} = 1; k_{41} = 2; k_{42} = 17; k_{43} = 15; k_{45} = 13; k_{46} = 11; k_{51} = 30; k_{52} = 10; k_{53} = 22; k_{54} = 17; k_{56} = 5; k_{61} = 3; k_{62} = 29; k_{63} = 6; k_{64} = 8; k_{65} = 7.$

В качестве первоначального (произвольного) маршрута для графа G выберем следующее множество:

$$B_0 = \{b_{12}; b_{23}; b_{34}; b_{45}; b_{56}; b_{61}\}.$$

Суммарный вес маршрута равняется сумме весов дуг маршрута B_0 :

$$L(B_0) = k_{12} + k_{23} + k_{34} + k_{45} + k_{56} + k_{61} = 9 + 7 + 16 + 13 + 5 + 3 = 53.$$

Применив метод ветвей и границ можно рассчитать вес маршрута патрулирования акватории B_1^* с минимальным суммарным весом $L(B_1^*)$:

$$B_1^* = \{b_{41}; b_{13}; b_{36}; b_{65}; b_{52}; b_{24}\}.$$

$$L(B_1^*) = k_{41} + k_{13} + k_{36} + k_{65} + k_{52} + k_{24} = 2 + 11 + 1 + 7 + 10 + 1 = 32.$$

Маршрут перемещения спасательного судна между n патрулируемыми участками, соответствующий B_1^* , представлен на Рис.4.

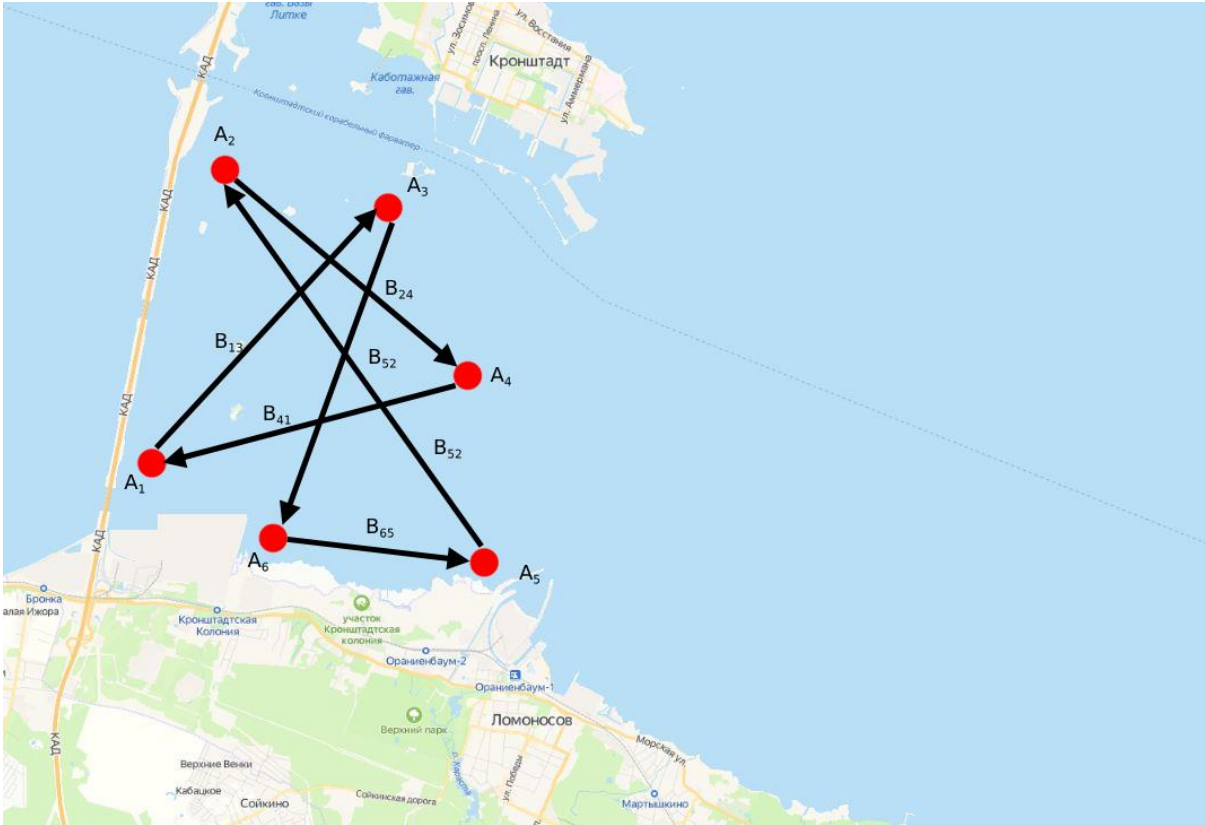


Рис.4. Последовательность перемещения спасателей между местами с концентрацией рыбаков

Таким образом, вес $L(B_1^*)$ маршрута $L(B_1^*)$ сократился более чем в 1,5 раза по сравнению с весом $L(B_0)$ произвольного маршрута $L(B_0)$.

Применение метода ветвей и границ позволяет определить оптимальный маршрут патрулирования акватории, используя только одно спасательное судно. Венгерский метод позволяет определить оптимальный маршрут патрулирования, при наличии 2 спасательных судов. В частности, при задействовании двух спасательных судов оптимизация маршрута с 6 вершинами при его использовании приводит к нахождению двух оптимальных маршрутов B_2^* :

$$B_2^1 = (b_{12}, b_{24}, b_{41}), B_2^2 = (b_{35}, b_{56}, b_{63}), B_2^* = (b_{12}, b_{24}, b_{41}, b_{35}, b_{56}, b_{63}).$$

$$L(B_2^1) = b_{12} + b_{24} + b_{41} = 9 + 1 + 2 = 12, L(B_2^2) = b_{35} + b_{56} + b_{63} = 3 + 5 + 6 = 14, L(B_2^*) = L(B_2^1) + L(B_2^2) = 12 + 14 = 26.$$

Тогда последовательность перемещения двух спасательных судов между n патрулируемыми местами будет иметь вид, представленный на Рис.5.

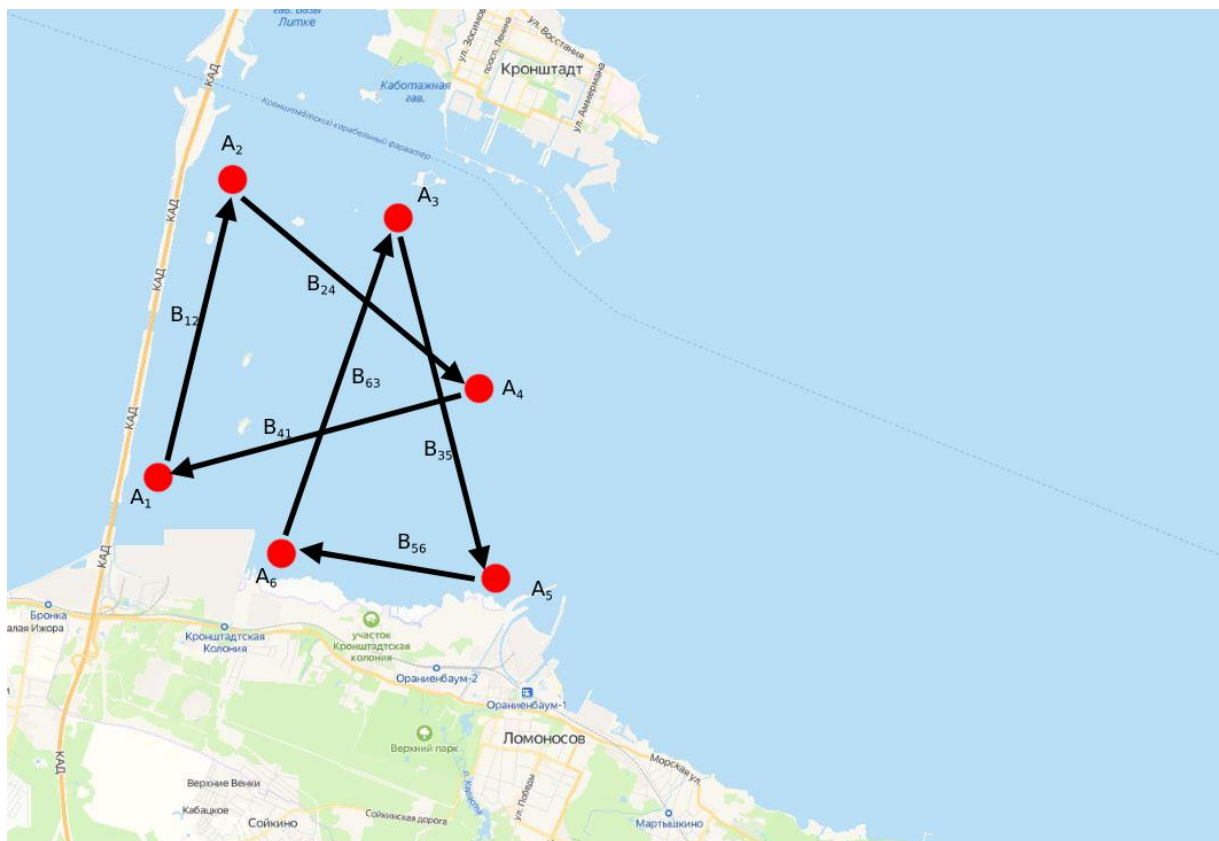


Рис.5. Последовательность перемещения двух групп спасателей между патрулируемыми местами с концентрацией рыбаков

Таким образом, суммарный вес двух маршрутов $L(B_2^*)$ сократился более чем в 2 раза по сравнению с произвольным маршрутом $L(B_0) = 53$.

Осуществим пошаговое описание разработанного алгоритма.

Шаг 1. Начало.

Шаг 2. Анализ сложившейся обстановки (гидрометеорологических условий) и принятие решения о патрулировании акватории. В случае если в акватории города сложились неблагоприятные природные явления, которые будут затруднять процесс проведения ПСР, принимается решение о патрулировании акватории.

Шаг 3. Выбор района патрулирования и мест с массовой концентрацией рыбаков/отдыхающих. От выбранного района патрулирования будут зависеть привлекаемые СИС. В частности от того, в зоне какой СПС находится район патрулирования, будет зависеть тип спасательного судна, задействованного в патрулировании.

Шаг 4. Определение весов дуг графа. В качестве весов дуг граф выступают количественные характеристики маршрута, такие как длина или время. Их величина зависит от сложившейся обстановки в акватории, а именно: от высоты и наличия торосов, высоты волны, направления и силы ветра.

Шаг 5. Выбор критерия оптимальности (длины или времени маршрута патрулирования). На данном этапе происходит выбор критерия оптимальности, в зависимости от задачи, стоящей перед лицом, принимающим решение. В подавляющем большинстве случаев таким критерием выступает время маршрута патрулирования, поскольку меньший по длине маршрут зачастую оказывается самым долгим по времени, так как в акватории формируются торосы, существенно замедляющие скорость спасательного судна. Кроме того, большое количество рыболовов так же вынуждает спасательное судно снижать скорость перемещения и увеличивает количество манёвров для их объезда.

Шаг 6. Число спасательных судов = 1? В случае если числа спасательных судов, которые будут задействованы для патрулирования акватории равняется одному, то осуществляется переход к шагу 7. Если же число спасательных судов равняется двум, то происходит переход к шагу 8. На практике, для патрулирования определенного района задействовать более чем два судна практически невозможно, в виду их ограниченного количества.

Шаг 7. Выполнение расчёта маршрута патрулирования методом ветвей и границ. На данном этапе происходит расчёт маршрута патрулирования для одного спасательного судна, с учётом весов дуг графа, определённых на шаге 4.

Шаг 8. Выполнение расчёта маршрута патрулирования Венгерским методом. На данном этапе происходит расчёт маршрута патрулирования для двух спасательных судов, с учётом весов дуг графа, определённых на шаге 4.

Шаг 9. Вывод параметров маршрута (длины/времени). После выполнения расчётов на шаге 7 или 8 осуществляется вывод количественной характеристики маршрута, в зависимости от выбранного критерия оптимальности. В качестве которых выступают длина и время маршрута патрулирования. После того, как выбран оптимальный маршрут, осуществляется отправка СиС для патрулирования акватории.

Шаг 10. Конец. Графически блок – схема алгоритма поддержки принятия управленческих решений по выбору оптимального маршрута патрулирования акватории Санкт-Петербурга представлена на Рис.6.

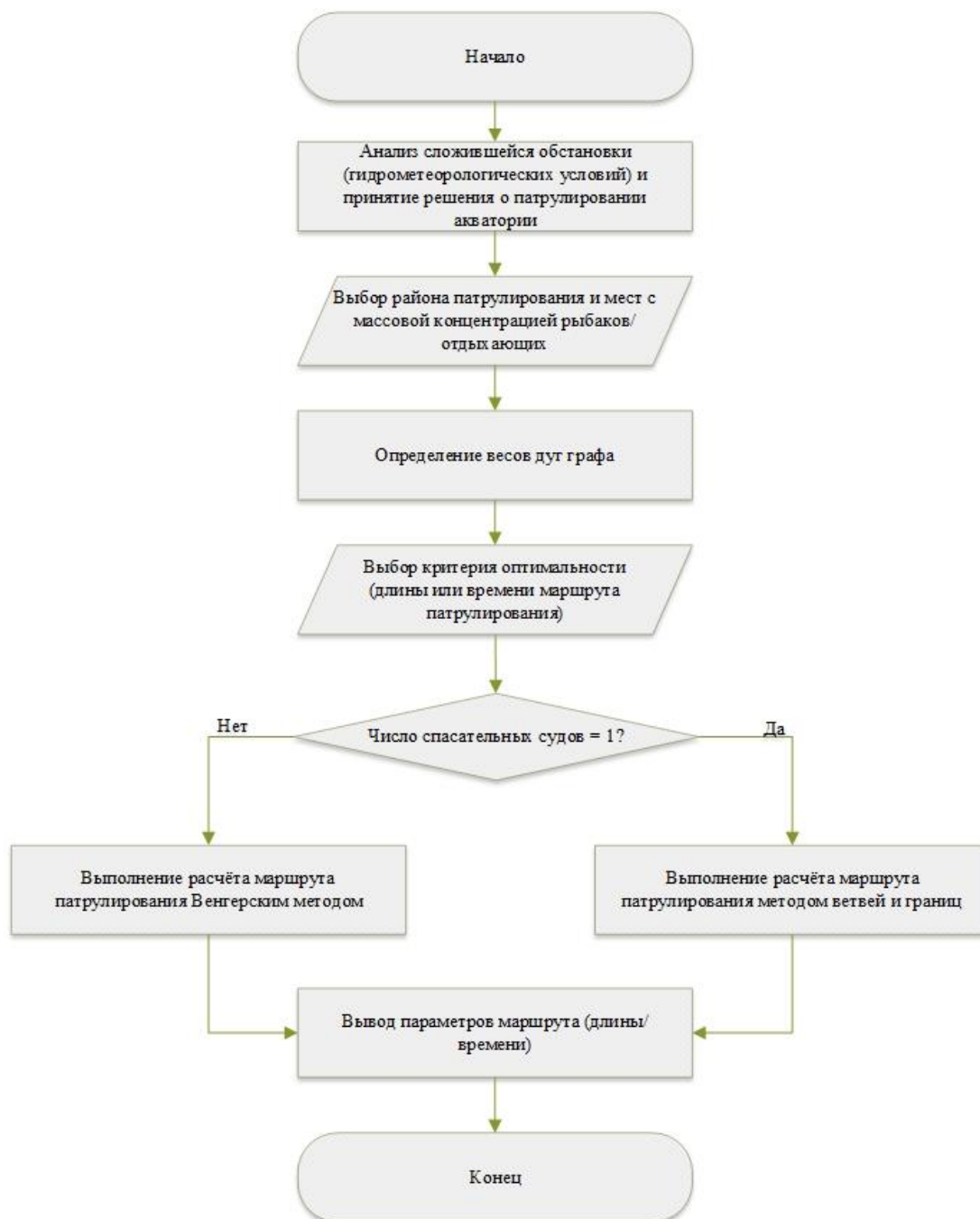


Рис. 6. Блок – схема алгоритма поддержки принятия управленческих решений по выбору оптимального маршрута патрулирования акватории Санкт-Петербурга

Таким образом, разработанный алгоритм поддержки принятия управленческих решений позволяет находить оптимальный маршрут патрулирования акватории Санкт-Петербурга по выбранному критерию оптимальности. В случае если патрулирование осуществляется одним спасательным судном, то для расчёта маршрута патрулирования применяется метод ветвей и границ, а для двух спасательных судов – Венгерский метод.

Заключение

При неблагоприятных погодных явлениях в акватории города (в частности при: наличии высокой облачности, тумана или сильного ветра) предлагается патрулирование акватории для снижения времени прибытия к месту проведения ПСР. В статье показана возможность

применения Венгерского метода и метода ветвей и границ для оптимизации маршрутов патрулирования акватории Санкт-Петербурга.

Программная реализация данного алгоритма позволит сократить временные и когнитивные затраты для проведения необходимых расчётов, а также исключить человеческий фактор.

Внедрение разработанного алгоритма в деятельность органов повседневного управления, в частности в Центр управления в кризисных ситуациях Главного управления МЧС России по г. Санкт-Петербургу и ПСС Санкт-Петербурга позволит в случае неблагоприятных погодных явлений осуществлять патрулирование акватории с минимальными затратами на горюче-смазочные материалы и снизить износ техники. Кроме того, в случае, когда произойдёт происшествие, спасательное судно будет находиться в непосредственной близости к месту происшествия и прибудет для проведения ПСР за меньшее время, по сравнению с тем, если бы оно находилось в спасательной станции. Так же при таком сценарии отсутствуют временные затраты, связанные с подготовкой судна к выезду и надеванию спасательного костюма. В совокупности такой подход позволит минимизировать время прибытия спасательного судна к месту проведения ПСР и как следствие спасти большее количество жизней.

Список источников

1. Аришина О. И., Данчук Ю. Л., Промыслов Л. А., Илюхин В. Н. О необходимости разработки концепции развития системы обеспечения безопасности на водных объектах Санкт-Петербурга // Морской вестник. 2019. № 4(72). С. 115-120.
2. Колеров Д. А., Данчук Ю. Л., Мамонтова И. О. Анализ проблем реагирования поисково-спасательных служб в акватории Санкт-Петербурга и подходы к их решению // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2023. № 2(45). С. 74-80.
3. Матвеев А. В. Методы моделирования и прогнозирования. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий имени Героя Российской Федерации генерала армии Е.Н. Зиничева. 2022. 230 с. ISBN 978-5-907116-73-3.
4. Бутырский Е. Ю., Матвеев А. В. Математическое моделирование систем и процессов. Санкт-Петербург: Информационный издательский учебно-научный центр "Стратегия будущего", 2022. 733 с. ISBN 978-5-4268-0064-9. DOI 10.37468/book_011222.
5. Маевский А. М., Печайко И. А. Опыт и перспективы применения групп морских робототехнических комплексов глайдерного типа для решения задач мониторинга и патрулирования акваторий // Экстремальная робототехника. 2024. № 1(34). С. 99-104.
6. Киселев Л. В., Медведев А. В. Траекторное обследование границ морских акваторий группой автономных подводных роботов // Известия ЮФУ. Технические науки. 2018. № 3(197). С. 185-197. DOI 10.23683/2311-3103-2018-3-185-197.
7. Бычков И. В., Максимкин Н. Н., Хозяинов И. С., Киселев Л. В. О задаче патрулирования границы акватории, охраняемой группой подводных аппаратов // Технические проблемы освоения Мирового океана. 2013. Т. 5. С. 424-428.
8. Колеров Д. А., Скрипник И. Л., Каверзнева Т. Т., Балобанов В. А. Функциональная модель управления силами и средствами РСЧС при проведении поисково-спасательных работ в акватории Санкт - Петербурга // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2023. № 2(29). С. 107-116. DOI 10.34987/vestnik.sibpsa.2023.65.54.007.
9. Малыханов А. А., Черненко В. Е., Былина П. В. Оценка эффективности траекторий патрулирования акватории на основе имитационной модели // Автоматизация процессов управления. 2010. № 2. С. 31-33.
10. Сюн У., Ван Гелдер П., Ян К. Метод поддержки принятия решений для проектирования и введения в действие поисково-спасательных систем в чрезвычайных ситуациях на море // Океанология. 2020. Т. 207. С. 107399.

11. Ай Б. и др. Интеллектуальный алгоритм принятия решений для разработки планов действий в чрезвычайных ситуациях, связанных с поиском и спасением на море // IEEE Access. 2019. Т. 7. С. 155835-155850.

12. Манолиос Н., Макки И. Утопающие и чуть не утонувшие на австралийских пляжах, патрулируемых спасателями: 10-летнее исследование, 1973–; 1983 // Медицинский журнал Австралии. 1988. Т. 148. № 4. С. 165-171.

References

1. Arishina O. I., Danchuk Yu. L., Promyslov L. A., Ilyukhin V. N. On the need to develop a concept for the development of a safety system for water bodies in St. Petersburg // Morskoy Vestnik. 2019. No. 4(72). pp. 115-120.

2. Kolerov D. A., Danchuk Yu. L., Mamontova I. O. Analysis of problems of response of search and rescue services in the waters of St. Petersburg and approaches to their solution // Natural and man-made risks (physical, mathematical and applied aspects) . 2023. No. 2(45). pp. 74-80.

3. Matveev A.V. Methods of modeling and forecasting. St. Petersburg: St. Petersburg University of the State Fire Service of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Disaster Relief named after Hero of the Russian Federation, Army General E.N. Zinicheva. 2022. 230 p. ISBN 978-5-907116-73-3.

4. Butyrsky E. Yu., Matveev A. V. Mathematical modeling of systems and processes. St. Petersburg: Information Publishing Educational and Scientific Center "Strategy of the Future", 2022. 733 p. ISBN 978-5-4268-0064-9. DOI 10.37468/book_011222.

5. Mayevsky A. M., Pechaiko I. A. Experience and prospects for using groups of glider-type marine robotic complexes to solve problems of monitoring and patrolling water areas // Extreme Robotics. 2024. No. 1(34). pp. 99-104.

6. Kiselev L.V., Medvedev A.V. Trajectory survey of the boundaries of sea waters by a group of autonomous underwater robots // Izvestia of the Southern Federal University. Technical science. 2018. No. 3(197). pp. 185-197. DOI 10.23683/2311-3103-2018-3-185-197.

7. Bychkov I.V., Maksimkin N.N., Khozyainov I.S., Kiselev L.V. On the problem of patrolling the border of a water area protected by a group of underwater vehicles // Technical problems of the development of the World Ocean. 2013. Т. 5. pp. 424-428.

8. Kolerov D. A., Skripnik I. L., Kaverzneva T. T., Balobanov V. A. Functional model for managing the forces and means of the RSChS during search and rescue operations in the waters of St. Petersburg // Siberian Fire and Rescue Bulletin . 2023. No. 2(29). pp. 107-116. DOI 10.34987/vestnik.sibpsa.2023.65.54.007.

9. Malykhanov A. A., Chernenko V. E., Bylina P. V. Assessing the effectiveness of water patrol trajectories based on a simulation model // Automation of control processes. 2010. No. 2. P. 31-33.

10. Xiong W., Van Gelder P., Yang K. A decision support method for design and operationalization of search and rescue in maritime emergency // Ocean Engineering. 2020. Т. 207. С. 107399.

11. Ai B. et al. An intelligent decision algorithm for the generation of maritime search and rescue emergency response plans // IEEE Access. 2019. Т. 7. С. 155835-155850.

12. Manolios N., Mackie I. Drowning and near-drowning on Australian beaches patrolled by life-savers: a 10-year study, 1973–; 1983 // Medical Journal of Australia. 1988. Т. 148. №. 4. С. 165-171.

Статья поступила в редакцию 25.04.2024; одобрена после рецензирования 13.05.2024; принята к публикации 17.06.2024.

The article was submitted 25.04.2024, approved after reviewing 13.05.2024, accepted for publication 17.06.2024.