

Научная статья

УДК 614.811+627.77; DOI: 10.61260/2218-13X-2025-3-64-76

МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ПОТРЕБНОСТИ СИЛ И СРЕДСТВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПОИСКОВО-СПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ В АКВАТОРИИ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

✉ Колеров Дмитрий Алексеевич;

Матвеев Александр Владимирович.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия

✉ dima11rus@inbox.ru

Аннотация. Отсутствие научно обоснованных методов оценки потребности в силах и средствах затрудняет оперативное принятие решений в условиях ограниченных ресурсов и высокой динамики обстановки при реагировании на происшествия в акватории мегаполисов. Основные результаты данного исследования включают разработку математической модели для определения необходимого количества сил и средств при проведении поисково-спасательных работ в акватории Санкт-Петербурга. Модель учитывает гидрометеорологические условия, тип происшествия, характеристики спасательных судов и другие факторы. Предложен алгоритм расчёта зоны поиска, времени проведения работ и оптимальной стратегии поиска. На практическом примере показано, как модель позволяет обосновать достаточность или необходимость привлечения дополнительных сил. Практическая значимость состоит в возможности внедрения модели в автоматизированную систему поддержки принятия решений, что позволит сократить время на оценку обстановки, минимизировать человеческий фактор и повысить эффективность использования ресурсов при проведении поисково-спасательных работ.

Ключевые слова: модель, силы и средства, управление, поиск пострадавших, поисково-спасательные работы, акватория Санкт-Петербурга

Для цитирования: Колеров Д.А., Матвеев А.В. Модель оценки потребности сил и средств при проведении поисково-спасательных работ в акватории Санкт-Петербурга // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2025. № 3. С. 64–76. DOI: 10.61260/2218-13X-2025-3-64-76.

Scientific article

MODEL FOR ASSESSING THE NEED FOR CAPABILITIES AND MEANS WHEN CONDUCTING SEARCH AND RESCUE OPERATIONS IN THE WATERS OF SAINT-PETERSBURG

✉ Kolerov Dmitry A.;

Matveev Alexander V.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia

✉ dima11rus@inbox.ru

Abstract. The lack of scientifically based methods for assessing the need for forces and means complicates prompt decision-making in conditions of limited resources and highly dynamic situations when responding to incidents in the waters of megacities. The main results of this study include the development of a mathematical model for determining the required number of forces and means when conducting search and rescue operations in the waters of Saint-Petersburg. The model takes into account hydrometeorological conditions, the type of incident, the characteristics of rescue vessels and other factors. An algorithm for calculating the search area, the time of work and the optimal search strategy is proposed.

A practical example shows how the model allows justifying the sufficiency or necessity of attracting additional forces. The practical significance lies in the possibility of introducing the model into an automated decision support system, which will reduce the time for assessing the situation, minimize the human factor and increase the efficiency of resource use during search and rescue operations.

Keywords: model, forces and means, management, search for victims, search and rescue operations, water area of St. Petersburg

For citation: Kolerov D.A., Matveev A.V. Model for assessing the need for capabilities and means when conducting search and rescue operations in the waters of Saint-Petersburg // Scientific and analytical journal «Vestnik Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia». 2025. № 3. P. 64–76. DOI: 10.61260/2218-13X-2025-3-64-76.

Введение

Задача поддержки принятия решений (ППР) при проведении поисково-спасательных работ (ПСР) в акватории Санкт-Петербурга, как одна из составных частей повышения уровня безопасности населения субъекта, является особенно актуальной в связи с ростом количества погибших в акватории города; популяризацией внутреннего туризма и ростом численности любителей рыбной ловли, обусловленной общим увеличением населения Санкт-Петербурга; уменьшением толщины льда в акватории Финского залива, вызванным потеплением; развитием навигации и увеличением трафика морских и пассажирских перевозок; сложностью природно-климатических и географических особенностей акватории города.

Повышение безопасности людей на водных объектах является одной из ключевых целей реализуемой в настоящее время Концепции развития системы обеспечения безопасности на водных объектах Санкт-Петербурга в 2021–2027 гг. (Концепция). Эффективность проведения ПСР в акватории Санкт-Петербурга зависит от множества факторов (природно-климатических и географических, организационных и человеческих, инфраструктурных особенностей). Важнейшим аспектом при этом является оперативность и адекватность принимаемых управленческих решений в условиях информационной неопределенности.

Анализ проблем управления ПСР в акватории города, проведенный в работе [1], показал, что остаётся ряд нерешённых проблем, связанных с недостаточным числом спасательных станций (СПС), их неоптимальным размещением и отсутствием средств ППР. Для частичного решения проблемных вопросов в рамках концепции запланировано строительство пяти новых береговых СПС, двух новых станций на базе плавучих дебаркадеров и Центра управления силами Поисково-спасательной службы (ПСС) Санкт-Петербурга [2]. Часть из этих мероприятий уже осуществлена, но не в полном объёме.

В результате анализа Концепции было выявлено, что предлагаемые в ней решения позволяют с вероятностью 0,997 обнаруживать тонущих людей, рыбаков, провалившихся под лёд; маломерные суда и успешно спасать их только при благоприятных гидрометеорологических условиях. По данным многолетних наблюдений в акватории города наблюдаются следующие природные явления, существенно затрудняющие процесс проведения ПСР [3]:

- 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.

Таким образом, от 228 до 325 дней в году существуют факторы, препятствующие оперативному реагированию ПСС в случае реализации происшествий в акватории города.

Системный анализ проблем управления ПСР в акватории Санкт-Петербурга показал, что для комплексного решения проблемных вопросов и алгоритмизации процесса ППР необходима разработка соответствующих научно-методических средств. Она позволит решать ряд

актуальных задач: определять оптимальный способ поиска пострадавших, количество необходимых сил и средств (СиС), площадь зоны проведения ПСР, а также разрабатывать оптимальный маршрут патрулирования с целью максимально раннего обнаружения аварий и происшествий на воде. Для решения последней задачи в работе [4] разработан соответствующий алгоритм.

Анализ существующих публикаций в данной предметной области показал, что вопросам повышения качества и эффективности принимаемых решений при проведении ПСР посвящено множество трудов, однако лишь малая часть исследований учитывает специфику проведения работ на водных объектах. Работа [5] посвящена рассмотрению особенностей организации ПСС зарубежных стран, а в исследовании [6] описаны сценарии проведения ПСР при ликвидации чрезвычайной ситуации (ЧС) с маломерным судном. В статье [7] проведена оценка эффективности управления безопасностью на объектах водного транспорта на основе статистического анализа аварий и происшествий, связанных с гибелью и травматизмом людей на торговых, рыбопромысловых судах и на судах внутренних водных путей. Результаты, полученные в трудах [8, 9], учитывают особенности акватории Санкт-Петербурга, однако посвящены совершенствованию межведомственного информационного взаимодействия органов Единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (РСЧС) и разработке функциональной модели управления СиС РСЧС при проведении ПСР в акватории Санкт-Петербурга. Разработаны программные средства, предназначенные для ППР при проведении ПСР в природной среде [10], а также информационно-аналитического обеспечения поисково-спасательных операций с использованием амфибийного судна [11]. Статья [12] посвящена разработке методики расчета размещения спасательных подразделений по обеспечению безопасности людей в местах массового отдыха на акватории и пляжах (на примере Санкт-Петербурга). Исследования ряда зарубежных авторов направлены на разработку научно-методических средств ППР при проведении ПСР на море [13, 14].

Проведенный анализ релевантных работ показал, что фактически отсутствуют исследования, в которых бы прямо ставилась и решалась задача определения необходимого количества сил и средств при проведении ПСР в акватории Санкт-Петербурга.

Как правило, происшествия в акватории города случаются при комплексе неблагоприятных погодных явлений, которые в свою очередь затрудняют процесс проведения ПСР. В частности, при сильном ветре и малой толщине льда увеличивается число случаев отрыва льдин с рыбаками, а в летний период при возникновении высокой волны учащаются случаи опрокидывания судна, выноса его на мель и падения людей за борт. На вооружении Центра управления в кризисных ситуациях (ЦУКС) создана и успешно функционирует автоматизированная система «Прогнозирование и поддержка принятия управленческих решений», созданная в рамках Аппаратно-программного комплекса «Безопасный город», однако её функционал в области проведения ПСР на водных объектах ограничивается возможностью определения зоны ответственности СПС по координатам места происшествия и мониторинга перемещения крупногабаритных судов в реальном режиме времени.

Условия, складывающиеся при проведении ПСР требуют разработки и внедрения дополнительных модулей в существующую систему поддержки принятия решений (СППР) в части касающейся поиска рыбаков и утопающих, а также маломерных судов в акватории города.

Таким образом, проблема повышения эффективности проведения ПСР в акватории Санкт-Петербурга заключается в необходимости учета множества взаимосвязанных факторов природного, технического, организационного и социального характера. Традиционные подходы, основанные на линейных моделях управления, не обеспечивают достаточной гибкости и адаптивности в условиях высокой динамики обстановки. Современные тенденции развития данной области связаны с применением методов многокритериального анализа, интеллектуальных систем поддержки принятия решений, цифрового моделирования и интеграции различных информационных источников в единую систему управления спасательными операциями.

Материалы и методы исследования

При проведении исследования были использованы данные журнала проведения ПСР ПСС Санкт-Петербурга за последние 10 лет. В результате его анализа было выявлено, что в акватории города выделяют четыре основные категории ПСР: спасение людей в пляжных зонах; вне пляжных зон; спасение людей с аварийного плавсредства и спасение на льду.

При происшествии в акватории Санкт-Петербурга возможны три сценария получения заявки о происшествии в виде сообщения:

1) полученного от очевидцев, когда известны либо точные координаты происшествия, либо примерные, но возможна корректировка прибытия спасателей. В таком случае время, затрачиваемое на поиск пострадавшего, минимально;

2) полученного от пострадавшего либо с судна, терпящего бедствие. В этом случае, как правило, известна примерная точка последнего местонахождения пострадавшего, но с течением времени местоположение пострадавшего может изменяться по причине воздействия течения и ветра. В данном сценарии оптимальный выбор способа поиска позволит сократить возможное время поисковых работ (ПР) и потенциально снизить социальный ущерб;

3) полученного от родственников, когда известен лишь примерный район поиска (площадь поиска в этом случае может достигать 40 км²). В таком случае поиск целесообразнее осуществлять несколькими суднами.

Дополнительную сложность вносит фактор неопределенности. В акватории происшествия могут развиваться стремительно и зачастую непредсказуемо. Ограниченность информации при поступлении сигнала о происшествии, сложность прогнозирования поведения пострадавших в воде, влияние погодных условий и человеческой паники затрудняют использование жестко регламентированных процедур. Это требует разработки новых инструментов с использованием научного подхода.

Особое внимание следует уделить вопросам ресурсного обеспечения при проведении ПСР. Нагрузка на службы спасения носит регулярный характер, что требует постоянного поддержания готовности значительного числа спасательных формирований и техники. Однако ресурсы всегда ограничены, и их оптимальное распределение является критически важной задачей. Недостаток техники или личного состава в нужный момент может привести к катастрофическим последствиям, в то время как избыточное расходование ресурсов на незначительные происшествия снижает общую эффективность системы.

В качестве методов исследования при разработке модели были использованы основные положения теории поиска [4]. Разработанная модель рассчитана для поиска пострадавших вне пляжных зон (в том числе при проваливании человека под лёд, падения с набережной, переворачивании суда и т.д.), а также поиска аварийного плавсредства и рыбаков на дрейфующем льду.

Результаты исследования и их обсуждение

Применение предлагаемой модели оценки потребности СиС осуществляется в несколько этапов.

Этап 1. На первом этапе в рамках процесса реагирования проводится обработка заявки о происшествии и получение сведений о гидрометеорологических условиях (ГМУ), из которых выделяются данные о местонахождении пострадавшего (на льдине, судне или в воде) и примерный район поиска. От ГМУ и того, где находится пострадавший, будет зависеть допустимое время проведения ПСР. В случае, если пострадавший находится в воде, особенно холодной (ниже 15 °С), время проведения работ исчисляется минутами, так как существует риск гибели от переохлаждения. Если пострадавший находится на льдине или на судне, время проведения ПСР, как правило, составляет несколько часов. Однако в случае выноса пострадавшего на судходный фарватер в результате дрейфования существует риск его гибели, так как морские суда имеют большую инерцию и малую манёвренность и не смогут отклониться от курса в случае нахождения на нём пострадавшего.

Если человек находится не в воде (на льдине или судне), считается, что он одет по погоде и не испытывает переохлаждения. Несмотря на это, существует вероятность разрушения льдины или судна, поэтому поиск пострадавшего необходимо осуществлять в кратчайшее время.

Существенным ограничением, оказывающим влияние на процесс принятия решений, является численность СИС ПСС Санкт-Петербурга, которые могут быть задействованы для проведения ПСР. В качестве исходных данных о наличии СИС используется ежедневный приказ начальника ПСС Санкт-Петербурга о заступлении на дежурство.

Этап 2. Определение зоны проведения ПСР и допустимого времени проведения ПСР. На текущий момент все действия осуществляет старший оперативный дежурный ЦУКС, руководствуясь собственным опытом и требованиями нормативных документов, который и является лицом, принимающим решения (ЛПР). Для принятия оптимального решения необходимо учитывать множество динамически меняющихся параметров, многие из которых могут носить неопределенный характер. Это требует разработки и применения информационно-аналитических СППР.

Допустимое время поиска пострадавшего определяется по рис. 1 в зависимости от температуры воды [15]. В дальнейших расчётах используется граничное значение между зоной потери сознания и зоной наступления смерти. Из этого времени вычитается время подготовки к отходу спасательного средства (30 сек.), время надевания гидрокостюма (60 сек.), время спасения (30 сек.), время следования к району поиска (определяется в зависимости от удалённости и тактико-технических характеристик спасательного судна). Оставшееся время отводится на поиск пострадавшего (в случае необходимости).

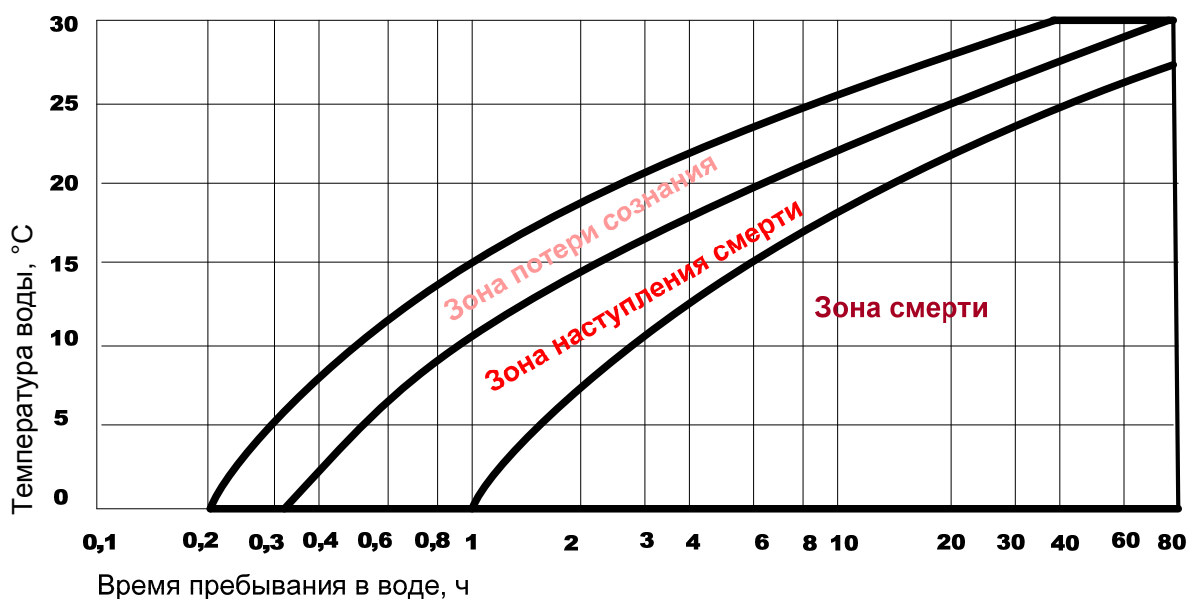


Рис. 1. Допустимое время пребывания человека в воде [15]

Этап 3. Выбор оптимального способа проведения ПСР при имеющихся ограничениях (фактического наличия СИС) и определение необходимого количества используемых СИС. На текущий момент данную операцию так же осуществляет ЛПР на основе своего опыта.

При наличии только одного спасательного судна для поиска пострадавшего в определённом районе применяется способ поиска «спираль», так как он является оптимальным в большинстве случаев проведения ПСР. Однако возникает проблема, связанная с определением расстояния между галсами (местами прохода спасательного судна). В случае, когда для проведения ПСР имеется два спасательных судна, маршрут обследования для каждого судна осуществляется способом «спираль» из её центра в противоположных направлениях (рис. 2) [16].

При поиске пострадавшего несколькими судами и работе по третьему сценарию, когда площадь проведения ПСР велика, применяется способ поиска, называемый «параллельное галсирование». В случае поиска пострадавшего, который находится в свободном дрейфе, используется способ «радиус» [16].

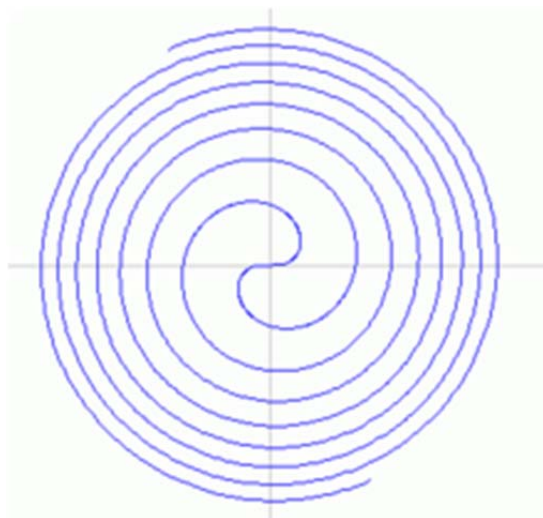


Рис. 2. Способ поиска пострадавшего «спираль» с использованием двух спасательных судов

Как правило, расстояние между галсами равняется дальности видимости (D_B) и определяется по формуле:

$$D_B = 3,57 \cdot (\sqrt{e} + \sqrt{h}), \quad (1)$$

где e – высота спасателя над поверхностью воды; h – пострадавшего над уровнем воды.

Следует отметить, что формула (1) справедлива при условии того, что коэффициент прозрачности атмосферы равен 1, на практике данные условия невозможны, поэтому D_B необходимо умножить на коэффициент прозрачности атмосферы τ согласно табл. 1.

Таблица 1

Коэффициенты прозрачности атмосферы

№ п/п	Состояние атмосферы	Коэффициент прозрачности (τ)
1	Воздух абсолютно чист	0,99
2	Исключительно высокая прозрачность	0,97
3	Воздух очень прозрачен	0,96
4	Хорошая прозрачность	0,92
5	Средняя прозрачность	0,81
6	Воздух несколько мутен (легкая мгла)	0,66
7	Воздух мутен (мгла)	0,36
8	Воздух очень мутен (сильная мгла)	0,12
9	Легкий туман	0,015
10	Туман	$2 \cdot 10^{-4} - 8 \cdot 10^{-10}$
11	Густой туман	$10 \cdot 10^{-19} - 10 \cdot 10^{-34}$

Тогда формула будет иметь вид:

$$D_b = 3,57 \cdot (\sqrt{e} + \sqrt{h}) \cdot \tau.$$

В различных методиках τ принимается равным усреднённому значению в диапазоне $0,74 \leq \tau \leq 0,8$. Однако на практике такой подход даёт большую погрешность, что может привести к тому, что пострадавший может оказаться вне зоны видимости спасателя, что недопустимо.

В случае, если пострадавший находится на дрейфующей льдине (судне), возможны различные сценарии его нахождения. В частности, льдина может начать дрейфовать в зону с отсутствием льда, тогда район поиска увеличивается с течением времени. Бывают случаи, когда ледовая обстановка в акватории достаточно плотная и мало участков с открытой водой, тогда район поиска ограничивается зоной возможного дрейфования льдины. В таком случае район поиска оказывается достаточно небольшим, и проведение поисковых работ ограничивается зоной открытой воды. Как правило, для поиска достаточно одного спасательного судна, так как район значительно уменьшается. Однако для того, чтобы гарантированно обнаружить пострадавшего в районе поиска, необходимо рассчитать время обследования района поиска, которое должно быть меньше допустимого времени пребывания человека в воде. В случае дрейфования льдины в зоне открытой воды, площадь района поиска будет определена как площадь криволинейной трапеции.

Дрейфование льдины с пострадавшими после отрыва характерно для внутренних морских путей, то есть для акватории Финского залива. При этом льдина имеет направление – курсовой угол, определяемый направлением ветра. Поскольку сила подводных течений в акватории Санкт-Петербурга направлена с востока на запад, ввиду постройки комплекса защитных сооружений, то собственная скорость дрейфования без учёта ветра имеет направление 0° и равняется 2 км/ч (1,08 морских узла). Тогда это значение представляет истинный курс (ИК). Далее необходимо знать скорость и направление ветра и найти разность между ИК и направлением ветра. Также необходимо рассчитать отношение скорости ветра к скорости по движению на ИК и определить угол дрейфа (табл. 2).

Таблица 2

Углы дрейфа в градусах

$\frac{c}{b}$	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,5	2,75	3,00
30°	–	1,0	1,0	1,5	2,0	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
60°	–	1,5	2,0	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0
90°	1,0	2,0	2,5	2,5	4,0	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0

Примечание: b – отношение разницы скоростей ИК и скорости ветра, c – отношение разниц углов

К примеру, направление ветра составляет 5 м/с и 180° , тогда разность с ИК составит 90° , а отношение $5/2=2,5$. Тогда угол дрейфа составит 7° . При условии, что разность ИК и направления ветра составляет больше 90° , угол дрейфа принимается равным 2° , поскольку направление и скорость ветра начинает оказывать значительно меньшее влияние на отклонение от ИК.

Район поиска человека, дрейфующего на льдине, в зоне с отсутствием льда определяется как часть окружности по формуле:

$$S_{\Pi} = \frac{\pi \cdot r^2}{360} * \Delta\varphi,$$

где r – радиус окружности; $\Delta\varphi$ – угол дрейфа, определённый по табл. 2.

После того как определена площадь проведения ПСР, осуществляется выбор оптимального способа проведения ПСР при имеющихся ограничениях (фактического наличия СиС) и оптимального состава СиС, который будет осуществлять реагирование на происшествие. С целью повышения оперативности при выработке управленческих решений ЛПР в перспективе планируется реализация СППР, включающей предлагаемую модель оценки потребности СиС [17, 18].

После того как решение принято, осуществляется выезд СиС к месту проведения ПСР. На текущий момент не оценивается эффективность принятых решений, однако её анализ позволил бы корректировать решения, принимаемые в будущем, что позволило бы улучшить показатели реагирования СиС. В связи с этим в качестве направлений дальнейших исследований является целесообразным разработать модель ППР при проведении ПСР в акватории Санкт-Петербурга для оценки эффективности принятых решений. Применение модели позволит существенно сократить возможные ошибки при выработке решений должностными лицами ЦУКС. Её программная реализация позволит автоматизировать процесс и снизить влияние человеческого фактора [18].

Расчётный пример

Рассмотрим применение описанной выше модели на конкретном примере. В акватории Санкт-Петербурга, а именно на Кронштадтском корабельном фарватере, в 5 км от заказника Южное побережье Невской губы, в районе выезда 30 СПС произошёл отрыв льдины с двумя рыбаками. На вооружении СПС находится аэролодка «Север». Сообщение поступило от идущего по фарватеру грузового судна и дальнейшей информации о местоположении пострадавших не приходило. Температура воды составляет 5°C , направление ветра северо-восточное (СВ), силой 5 м/с, в акватории легкий туман. Льдина находится в свободном дрейфе, однако район поиска сужается в виду плотной ледовой обстановки в акватории. Существует вероятность разрушения льдины в виду малой толщины льда. При дальнейших расчётах будем считать, что произошел наихудший сценарий и рыбаки оказались в воде. Схематично расчёт зоны проведения ПР изображен на рис. 3.



Рис. 3. Пример расчёта зоны проведения поисковых работ

Для определения необходимого количества поисковых групп нужно рассчитать площадь зоны проведения ПСР, а затем время его обследования поисковым судном. При этом скорость движения судна при поиске пострадавших равняется 20 км/ч. Общее время проведения ПСР равняется времени возможного пребывания рыбаков в воде, которое в данном случае составляет 0,5 ч (1 800 сек.). Оно было определено по графику, изображённому на рис. 1. Удалённость места происшествия от СПС составляет 6 км, средняя скорость движения судна при следовании к месту происшествия составляет 50 км/ч, следовательно, время прибытия к месту проведения ПСР составит 7,2 мин (432 сек.). Для определения требуемого времени проведения поисковых работ ($T_{\text{пр}}^{\text{ТР}}$) необходимо из допустимого времени пребывания рыбаков в воде вычесть время подготовки к отходу спасательного средства (30 сек.), время надевания гидрокостюма (60 сек.), время спасения (30 сек.) и время прибытия (432 сек.):

$$T_{\text{пр}}^{\text{ТР}} = 1800 - 30 - 60 - 30 - 432 = 1238 \text{ сек.} \approx 20,6 \text{ мин.}$$

Таким образом, необходимо обследовать район поиска за время, не превышающее 1 238 сек. (20,6 мин). В случае, если это сделать невозможно силами одного судна, будет необходимо привлечь второе свободное спасательное судно из ближайшей СПС.

Для расчёта времени обследования зоны проведения ПСР надо рассчитать её площадь, $D_{\text{в}}$ и время обследования. Для этого в зоне проведения ПСР необходимо проложить маршрут следования спасательного судна, используя способ поиска «радиус».

При этом расстояние между галсами принимается равным $D_{\text{в}}$ и равняется:

$$D_{\text{в}} = 3,57 \cdot (\sqrt{1,75} + \sqrt{0,1}) \cdot 0,015 = 0,0877 \text{ км.}$$

Площадь зоны проведения ПР определена по рис. 3:

$$S_{\text{пр}} = \int_{-1}^3 (x - x^2 + 4) dx \approx 5,33 \text{ км}^2.$$

Однако полностью обследовать всю площадь не имеет смысла, поскольку время от поступления заявки до момента нахождения пострадавшего не превысит 1 ч, в случае если он не утонет, тогда при заданной скорости ветра расстояние, пройденное льдиной в результате дрейфа, не превысит 1 км, следовательно, сузится район проведения ПСР.

Протяженность зоны проведения ПСР принимается равной 1 км. Расстояние между галсами равняется двум значениям $D_{\text{в}}$:

$$D_{\text{г}} = D_{\text{в}} * 2 = 0,0877 * 2 \approx 0,17 \text{ км.}$$

Для расчёта маршрута обследования района ПСР он принимается как часть окружности с углом в 30° . Поскольку протяженность зоны проведения ПР составляет приблизительно 1 км, а расстояние между галсами – 0,17 км, то количество галсов равняется 6. Расстояние каждого галса находится как часть длины окружности по формуле (2), полученные результаты отражены в табл. 3:

$$p = \frac{\pi * r * 30^\circ}{180^\circ}. \quad (2)$$

Результаты расчётов

Радиус окружности, км	Длина галса, км
0,17	0,09
0,34	0,18
0,51	0,27
0,68	0,36
0,85	0,45
1,02	0,53

Для получения длины маршрута обследования зоны поисковых работ ($L_{м_пр}$) необходимо просуммировать полученные значения длин галсов и к каждому значению добавить 0,17, поскольку между галсами необходимо переместиться:

$$L_{м_пр} = 0,09 + 0,18 + 0,27 + 0,36 + 0,45 + 0,53 + 6 * 0,17 = 2,9 \text{ км.}$$

Скорость движения судна при поиске пострадавших составляет 20 км/ч, тогда расчетное время проведения поисковых работ ($T_{пр}^p$) составит $T_{пр}^p = \frac{2,9}{20} = 0,145 \text{ ч.} \approx 8,7 \text{ мин.}$, что не превышает $T_{пр}^{тр}$, поэтому для поиска пострадавших достаточно одной аэролодки «Север».

Заключение

Ошибки в оценке ситуации, задержки в принятии решений или недостаточная координация действий различных структур могут стоить человеческих жизней и привести к значительным социальным и экономическим потерям. В этих условиях критическую роль играет качество управленческих решений, принимаемых должностными лицами и руководителями спасательных служб. Однако человек, даже обладая высоким профессионализмом и опытом, ограничен в возможностях анализа больших объемов информации, поступающей в реальном времени. Кроме того, стрессовые условия ЧС существенно снижают когнитивные способности и увеличивают вероятность принятия ошибочных решений.

Данное исследование связано с разработкой модели определения необходимого количества СиС при проведении ПСР в акватории Санкт-Петербурга. Практическая значимость подкрепляется необходимостью повышения эффективности принимаемых решений должностными лицами ЦУКС Главного управления МЧС России по г. Санкт-Петербургу при проведении ПСР и снижения количества погибших в акватории города.

Интеграция предлагаемой модели в автоматизированной СППР и ее применение в деятельности органов повседневного управления позволит научно обосновывать принимаемые решения и повысить их оперативность.

В современных условиях именно интеграция технологий цифрового моделирования и автоматизированных СППР в практику работы спасательных формирований становится стратегическим направлением развития системы безопасности.

Список источников

1. Колеров Д.А., Матвеев А.В. Системный анализ проблем управления поисково-спасательными работами в акватории Санкт-Петербурга // Национальная безопасность и стратегическое планирование. 2023. № 4 (44). С. 78–89. DOI: 10.37468/2307-1400-2024-2023-4-78-89. EDN EZRNLK.

2. О необходимости разработки концепции развития системы обеспечения безопасности на водных пострадавших Санкт-Петербурга / О.И. Аришина [и др.] // Морской вестник. 2019. № 4 (72). С. 115–120. EDN XTZPAE.

3. 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. EDN SQYRWZ.

4. 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. DOI: 10.34987/vestnik.sibpsa.2024.75.70.016. EDN HPIBDY.

5. Перевалов А.С., Едуш Н.Ю. Об организации поисково-спасательной службы зарубежных стран // Вопросы оборонной техники. Сер. 16: Технические средства противодействия терроризму. 2013. № 5-6 (59-60). С. 118–124. EDN SBYWFJ.

6. Перевалов А.С. Сценарии управления силами и средствами поисково-спасательных формирований МЧС России на внутренних акваториях // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2013. № 1 (5). С. 18–27. EDN ERWMXJ.

7. Куватов В.И., Заводсков Г.Н., Колеров Д.А. Оценка эффективности управления безопасностью на объектах водного транспорта // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2022. № 4. С. 81–90. EDN WPMFNU.

8. Модель межведомственного информационного взаимодействия органов РСЧС при управлении поисково-спасательными работами в акватории Санкт-Петербурга / Д.А. Колеров [и др.] // Современные проблемы гражданской защиты. 2023. № 2 (47). С. 19–26. EDN VEJWZE.

9. Функциональная модель управления силами и средствами РСЧС при проведении поисково-спасательных работ в акватории Санкт-Петербурга / Д.А. Колеров [и др.] // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2023. № 2 (29). С. 107–116. DOI: 10.34987/vestnik.sibpsa.2023.65.54.007. EDN RVCGMO.

10. Построение карт вероятностей местонахождения пострадавшего поиска в природной среде: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ RU 2017613584, 22.03.2017. Заявка: 23.12.2016.

11. Программа для поддержки поисково-спасательных операций в отдаленных районах с использованием амфибийного судна: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ RU 2017616507, 08.06.2017. Заявка 13.04.2017.

12. Данчук Ю.Л. Модель и методика расчета размещения спасательных подразделений по обеспечению безопасности людей в местах массового отдыха на акватории и пляжах (на примере субъекта Санкт-Петербург) // Инженерный вестник Дона. 2023. № 9 (105). С. 124–141. EDN HNLFHR.

13. 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. Vol. 207. P. 107399.

14. A decision-making algorithm for maritime search and rescue plan / D. Agbissoh Otote [et al.] // Sustainability. 2019. Vol. 11. № 7. P 2084.

15. Боуш Р.Л. Влияние локальной гипотермии на быстроту и точность движений человека // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. 2007. № 8. С. 20–25.

16. Абчук В.А., Матвейчук Ф.А., Томашевский Л.П. Справочник по исследованию операций. М.: Воениздат, 1979. 368 с.

17. Селезень Я.Ю. Методика построения модели экспертных предпочтений распределения подрайонов поиска между поисково-спасательными средствами // Эксплуатация морского транспорта. 2023. № 2 (107). С. 87–93. DOI: 10.34046/aumsuomt107/14.

18. Селезень Я.Ю., Боран-Кешишьян А.Л. Математические модели критериев распределения подрайонов поиска между поисково-спасательными средствами // Морские интеллектуальные технологии. 2023. № 2-1 (60). С. 198–208. DOI: 10.37220/МИТ.2023.60.2.025.

References

1. Kolerov D.A., Matveev A.V. Sistemnyj analiz problem upravleniya poiskovo-spasatel'nymi rabotami v akvatorii Sankt-Peterburga // Nacional'naya bezopasnost' i strategicheskoe planirovanie. 2023. № 4 (44). S. 78–89. DOI: 10.37468/2307-1400-2024-2023-4-78-89. EDN EZRNLK.
2. O neobhodimosti razrabotki koncepcii razvitiya sistemy obespecheniya bezopasnosti na vodnyh postradavshegoah Sankt-Peterburga / O.I. Arishina [i dr.] // Morskoj vestnik.2019. № 4 (72). S. 115–120. EDN XTZPAE.
3. Kolerov D.A., Danchuk Yu.L., Mamontova I.O. Analiz problem reagirovaniya poiskovo-spasatel'nyh sluzhzb v akvatorii Sankt-Peterburga i podhody k ih resheniyu // Prirodnye i tekhnogennye riski (fiziko-matematicheskie i prikladnye aspekty). 2023. № 2 (45). S. 74–80. EDN SQYPWZ.
4. Kolerov D.A. Algoritm podderzhki prinyatiya upravlencheskih reshenij po vyboru optimal'nogo marshruta patrulirovaniya akvatorii Sankt-Peterburga // Sibirskij pozharno-spasatel'nyj vestnik. 2024. № 2 (33). S. 82–93. DOI: 10.34987/vestnik.sibpsa.2024.75.70.016. EDN HPIBDY.
5. Perevalov A.S., Edush N.Yu. Ob organizacii poiskovo-spasatel'noj sluzhby zarubezhnyh stran // Voprosy oboronnoj tekhniki. Ser. 16: Tekhnicheskie sredstva protivodejstviya terrorizmu. 2013. № 5-6 (59-60). S. 118–124. EDN SBYWFJ.
6. Perevalov A.S. Scenarii upravleniya silami i sredstvami poiskovo-spasatel'nyh formirovanij MChS Rossii na vnutrennih akvatoriyah // Prirodnye i tekhnogennye riski (fiziko-matematicheskie i prikladnye aspekty). 2013. № 1 (5). S. 18–27. EDN ERWMXJ.
7. Kuvatov V.I., Zavodskov G.N., Kolerov D.A. Ocenka effektivnosti upravleniya bezopasnost'yu na ob"ektah vodnogo transporta // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2022. № 4. S. 81–90. EDN WPMFNU.
8. Model' mezhdovedomstvennogo informacionnogo vzaimodejstviya organov RSChS pri upravlenii poiskovo-spasatel'nymi rabotami v akvatorii Sankt-Peterburga / D.A. Kolerov [i dr.] // Sovremennye problemy grazhdanskoj zashchity. 2023. № 2 (47). S. 19–26. EDN VEJWZE.
9. Funkcional'naya model' upravleniya silami i sredstvami RSChS pri provedenii poiskovo-spasatel'nyh rabot v akvatorii Sankt-Peterburga / D.A. Kolerov [i dr.] // Sibirskij pozharno-spasatel'nyj vestnik. 2023. № 2 (29). S. 107–116. DOI: 10.34987/vestnik.sibpsa.2023.65.54.007. EDN RVCGMO.
10. Postroenie kart veroyatnostej mestonahozhdeniya postradavshego poiska v prirodnoj srede: svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlya EVM RU 2017613584, 22.03.2017. Zayavka: 23.12.2016.
11. Programma dlya podderzhki poiskovo-spasatel'nyh operacij v otdalennyh rajonah s ispol'zovaniem amfibijnogo sudna: svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlya EVM RU 2017616507, 08.06.2017. Zayavka 13.04.2017.
12. Danchuk Yu.L. Model' i metodika rascheta razmeshcheniya spasatel'nyh podrazdelenij po obespecheniyu bezopasnosti lyudej v mestah massovogo otdyha na akvatorii i plyazhah (na primere sub"ekta Sankt-Peterburg) // Inzhenernyj vestnik Dona. 2023. № 9 (105). S. 124–141. EDN HNLFHR.
13. 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. Vol. 207. P. 107399.
14. A decision-making algorithm for maritime search and rescue plan / D. Agbissoh Otote [et al.] // Sustainability. 2019. Vol. 11. № 7. P 2084.
15. Boush R.L. Vliyanie lokal'noj gipotermii na bystrothu i tochnost' dvizhenij cheloveka // Uchenye zapiski universiteta im. P.F. Lesgafta. 2007. № 8. S. 20–25.
16. Abchuk V.A., Matvejchuk F.A., Tomashevskij L.P. Spravochnik po issledovaniyu operacij. M.: Voenizdat, 1979. 368 s.

17. Selezen' Ya.Yu. Metodika postroeniya modeli ekspertnyh predpochtenij raspredeleniya podrajonov poiska mezhdru poiskovo-spasatel'nymi sredstvami // Ekspluatatsiya morskogo transporta. 2023. № 2 (107). S. 87–93. DOI: 10.34046/aumsuomt107/14.

18. Selezen' Ya.Yu., Boran-Keshish'yan A.L. Matematicheskie modeli kriteriev raspredeleniya podrajonov poiska mezhdru poiskovo-spasatel'nymi sredstvami // Morskie intellektual'nye tekhnologii. 2023. № 2-1 (60). S. 198–208. DOI: 10.37220/MIT.2023.60.2.025.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 03.06.2025; одобрена после рецензирования: 10.09.2025; принята к публикации: 12.09.2025

Information about the article:

The article was submitted to the editorial office: 03.06.2025; approved after review: 10.09.2025; accepted for publication: 12.09.2025

Сведения об авторах:

Колеров Дмитрий Алексеевич, преподаватель кафедры системного анализа и антикризисного управления Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: dimal1rus@inbox.ru, SPIN-код: 4520-5394

Матвеев Александр Владимирович, заведующий кафедрой прикладной математики и безопасности информационных технологий Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, e-mail: fcvega_10@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0778-3218>, SPIN-код: 5778-8821

Information about the authors:

Kolero Dmriy A., lecturer at the department of system analysis and crisis management of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), e-mail: dimal1rus@inbox.ru, SPIN: 4520-5394

Matveev Alexander V., head of the department of applied mathematics and information technology security Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), candidate of technical sciences, associate professor, e-mail: fcvega_10@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0778-3218>, SPIN: 5778-8821