

УДК 629.78

ОЦЕНИВАНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ УСПЕШНОГО ПОИСКА И СПАСАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ ЭКИПАЖЕЙ В СЛУЧАЕ АВАРИЙНОЙ ПОСАДКИ

И.Н. Куликов

Канд. воен. наук, доц. И.Н. Куликов
(ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

В работе рассматриваются вопросы оценивания вероятности успешного поиска и спасения космических экипажей после аварийной посадки возвращаемого аппарата (ВА) в сухопутном или морском районах. Дано определение основным воздействующим факторам, связанным с различными аспектами эффективности функционирования эргатической системы «человек – техника – среда» в приложении к формируемой стратегии поиска, спасания и эвакуации космонавтов и ВА, выполнена оценка влияния базовых элементов, характеризующих функциональность комплекса поиска и спасания космонавтов (КПСК) на всех этапах его реализации. Анализ компонентов полной вероятности аварийного поиска и спасания космонавтов выполнен на основе нормативных отраслевых документов по проведению морских и авиационных поисково-спасательных работ (ПСР), что позволяет объективно раскрыть действующие закономерности и исследовать практические возможности повышения указанной вероятности в интересах безопасного проведения пилотируемых космических пусков. В настоящее время существует эффективный, отработанный многими десятилетиями эксплуатации, метод авиационного поиска и спасания, основанный на использовании пилотируемых газовых дирижаблей жесткой или полужесткой конструкции. Его актуальность растет в связи с новыми технологиями создания оболочек и двигательных систем, информационной глобализацией в сфере гидрометеорологического обеспечения полетов, а также инновационными разработками в области авиационной навигации и связи. Обсуждение подходов, описанных в настоящей статье, позволит объективно оценить современное состояние проблем аварийного и штатного поиска и спасания космонавтов, а также сформировать предложения по его организационно-техническому обеспечению.

Ключевые слова: комплекс поиска и спасания космонавтов, вероятность поиска, вероятность спасания, надежность функционирования технических систем, эргатическая система, критерии эффективности

Assessment of the Probability of Successful Search and Rescue of Crews in the Event of an Emergency landing. I.N. Kulikov

The paper considers the issues of estimating the probability of a successful search and rescue of space crews after an emergency landing of a return vehicle (RV) in land or sea areas. The definition of the main influencing factors related to various aspects of the effectiveness of the ergatic system “man –

technology – environment” is given in the appendix to the formed strategy for the search, rescue and evacuation of astronauts and RV, the influence of the basic elements characterizing the functionality of the cosmonaut search and rescue complex (CSRC) at all stages of its implementation is assessed. The analysis of the components of the full probability of an emergency search and rescue of astronauts is based on regulatory industry documents on conducting marine and aviation search and rescue operations (SRO), which allows us to objectively reveal the current patterns and explore practical possibilities for increasing this probability in the interests of safely conducting manned space launches. Currently, there is an effective method of aviation search and rescue, proven over many decades of operation, based on the use of manned gas-powered airships of rigid or semi-rigid construction. Its relevance is growing due to new technologies for creating shells and propulsion systems, information globalization in the field of hydrometeorological flight support, as well as innovative developments in the field of aviation navigation and communications. The discussion of the approaches described in this article will allow an objective assessment of the current state of emergency and routine search and rescue for astronauts, as well as form proposals for its organizational and technical support.

Keywords: complex for searching and rescuing cosmonauts, probability of searching, probability of rescuing, reliability of technical systems, ergatic system, efficiency criteria

Одной из важнейших задач организации функционирования перспективного российского космодрома Восточный является проектирование, оснащение, развертывание и ввод в эксплуатацию нового КПСК. Факторы его принципиального отличия от созданного ранее и всесторонне отработанного КПСК космодрома Байконур состоят:

- в иной географии региона расположения;
- использовании другого наклона орбиты выведения пилотируемых космических аппаратов (ПКА);
- значительно более трудных условиях функционирования космодрома, вызванных значительной удаленностью, ограниченной доступностью, не простым характером местности, неблагоприятной геоклиматической и гидрометеорологической обстановкой в сухопутных и морских районах аварийной посадки по трассе вывода ПКА на орбиту;
- планируемом применении новых образцов пилотируемой космической техники.

При этом аварийная посадка ВА возможна на территории Амурской области, Якутии, Красноярского края, а также в акваториях Северного Ледовитого и Атлантического океанов, в том числе за полярным кругом. В районах возможной аварийной посадки условия для автономного пребывания экипажа наиболее сложны, а возможности оперативного оказания помощи космонавтам – объективно ограничены.

Состав сил и средств КПСК, их расстановка должны обеспечить поиск ВА, оказание помощи и эвакуацию экипажа в случае аварийной посадки

на пристартовой площадке, в районах приземления (приводнения) вдоль трассы выведения ПКА, а также при спуске с одновитковой траектории и срочном спуске, в том числе:

- в пристартовом районе и в районе посадки с одновитковой траектории;
- на сухопутном участке трассы выведения ПКА и в районах посадки при срочном спуске;
- на морском участке трассы выведения.

Как следует из основных отраслевых документов, современный КПСК с применением привлекаемых сил и средств должен решать следующие базовые задачи¹:

- поиск ВА и спасание экипажа ПКА после посадки в пристартовом районе, на сухопутном, морском и океанском участках трассы выведения, районе возвращения с одновитковой траектории, а также в районах срочного спуска, в том числе и на территории иностранных государств;
- оказание первичной медико-санитарной и скорой медицинской помощи на месте посадки и в процессе эвакуации до оперативного аэродрома или лечебного учреждения;
- эвакуация экипажа ВА на оперативный аэродром или в лечебное учреждение;
- подготовка ВА к безопасной транспортировке;
- эвакуация ВА с места нештатной посадки;
- организация передачи и передача информации о ходе поиска, обнаружении, эвакуации и состоянии здоровья экипажа.

Причем в действующих нормативно-технических документах (НТД) и утвержденном техническом задании на создание КПСК определены требования, что «вероятность успешного решения задачи поиска и эвакуации экипажа должна быть не менее 0,99»² [1, 2].

Цель данного исследования заключается в оценке вероятности успешного поиска и спасания космических экипажей в случае их аварийной посадки при различных наклонениях орбиты выведения в условиях организации работы нового российского космодрома Восточный, расположенного в Амурской области.

Методы исследования

Для формализации подходов к прогнозу успешности функционирования рассматриваемой сложно организационно-технической системы функционирования КПСК рассмотрим далее основное функциональное содержание

¹ Наставление по авиационному поиску и спасанию в государственной и экспериментальной авиации (НАПС-2004). URL. <https://base.garant.ru/187297/?ysclid=mkxq69o1b4808622332> (дата обращения 22.01.2026).

² ГОСТ Р 56526-2015. Требования надежности и безопасности космических систем, комплексов и автоматических космических аппаратов единичного (мелкосерийного) изготовления с длительными сроками активного существования. – С. 22.

этапов цикла аварийного поиска и спасания космонавтов (рис. 1) в различных географических регионах нашей планеты, а также сформулируем видение обобщенной вероятности его успешной реализации в зависимости от установленного нормативного времени с учетом различных условий поиска и спасания в сухопутном и морском районах.

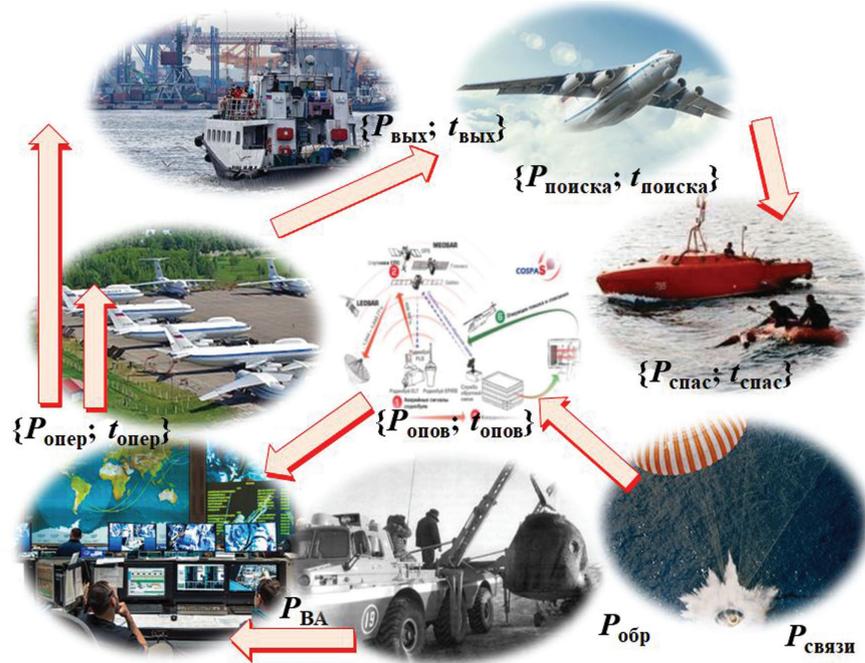


Рис. 1. Основные этапы операции по поиску и спасанию космонавтов и их некоторые характеристики

В общем случае, значение $W_{\text{ис}}(t) = \prod_1^i P_i$ – обобщенной вероятности успешного поиска и спасания космонавтов с учетом наличия различных участков аварийной посадки ВА определяется произведением частных вероятностей выполнения каждого из этапов реализации и обеспечения КПСК, где P_i – это вероятности:

- своевременного оповещения руководителя космического полета о произошедшем аварийном событии и месте вероятного приземления или приводнения ВА;
- приведения в высшую степень готовности сил и средств КПСК (авиационных, морских, сухопутных) и их своевременное убытие в район аварийного спуска ВА;
- прохода сил и средств КПСК по заданному маршруту в район аварийного поиска космонавтов за установленное нормативное время;
- успешного выполнения визуального и (или) инструментального поиска и обнаружения ВА и/или космонавтов в заданном районе;

- проведения полного цикла спасательных работ в любых природных, гидрометеорологических и временных условиях на месте осуществления операции;
- успешной эвакуации экипажа и ВА по маршруту возвращения на заданный оперативный аэродром или в лечебное учреждение;
- поддержания качественной связи и управления на всех этапах проведения поисковой операции.

Таким образом обобщенная вероятность $W_{\text{пс}}$ успешной реализации КПСК с учетом различных участков (этапов) аварийной посадки ВА в незапланированные районы вдоль трассы выведения ПКА имеет вид:

$$W_{\text{пс}} = \sum_{i=1}^n (Q_i \cdot W_{\text{пс}i}),$$

где Q_i – вероятность приземления (приводнения) ВА на i -м участке аварийной посадки;

$W_{\text{пс}i}$ – условная вероятность успешной реализации КПСК в случае приземления (приводнения) ВА на i -м участке аварийного поиска и спасания.

В частности, при описании наиболее характерных участков аварийной посадки ВА (сухопутного и морского) обобщенная вероятность $W_{\text{пс}}$ будет иметь вид:

$$W_{\text{пс}} = Q_{\text{сух}} * W_{\text{сух}} + Q_{\text{мор}} * W_{\text{мор}},$$

где $W_{\text{сух}}$ – условная вероятность успешной реализации КПСК в случае приземления ВА на сухопутном участке аварийного поиска и спасания;

$W_{\text{мор}}$ – условная вероятность успешной реализации КПСК в случае приводнения ВА на морском (океаническом) участке аварийного поиска и спасания;

$Q_{\text{сух}}$ – вероятность приземления ВА на сухопутном участке района аварийной посадки;

$Q_{\text{мор}}$ – вероятность приводнения ВА на морском (океаническом) участке района аварийной посадки.

Если предположить отсутствие существенных отличий в характеристиках эффективности использования средств КПСК на различных участках и этапах поисково-спасательной операции (ПСО) по трассе выведения ПКА, то приняв следующие допущения: $Q_{\text{сух}} = Q_{\text{мор}}$ и $W_{\text{сух}} = W_{\text{мор}} = W_{\text{пс}}$, обобщенную вероятность успешной реализации КПСК можно представить в виде:

$$W_{\text{пс}} = P_{\text{опов}} * P_{\text{опер}} * P_{\text{вых}} * P_{\text{поиска}} * P_{\text{спас}} * P_{\text{обр}} * P_{\text{связи}} * P_{\text{ВА}} * R(t),$$

где $P_{\text{опов}}$ – вероятность оповещения абонентов в системе «Коспас-Сарсат», при времени $t_{\text{опов}}$;

$P_{\text{опер}}$ – вероятность своевременного ($t_{\text{опер}}$) выдвижения поисковых сил и средств;

$P_{\text{вых}}$ – вероятность выхода авиационных, морских или сухопутных сил поиска в расчетный район аварийного приземления (приводнения) ВА за время $t_{\text{вых}}$;

$P_{\text{поиска}}$ – вероятность своевременного обнаружения ВА и/или космического экипажа в районах аварийного поиска за время $t_{\text{поиска}}$;

$P_{\text{спас}}$ – вероятность (успешность) проведения цикла ($t_{\text{спас}}$) спасательных работ;

$P_{\text{обр}}$ – вероятность перемещения (эвакуации) экипажа по обратному маршруту;

$P_{\text{связи}}$ – вероятность сохранения устойчивой связи и управления на всех этапах проведения аварийных работ;

$P_{\text{ВА}}$ – вероятность своевременной и безопасной (штатной) эвакуации многоэтажного ВА из района аварийной посадки;

$R(t)$ – вероятность безотказной работы технических систем обеспечения эвакуации (техническая надежность критически важных программно-аппаратных комплексов, технических устройств и агрегатов).

Для получения практических рекомендаций необходимо раскрыть содержание частных показателей данной обобщенной вероятности и установить характер их зависимости от совокупности воздействующих факторов. Исследование указанного содержания предлагается производить посредством приоритетного анализа элементов обстановки (условий) поиска и спасания экипажей, особенностей организации ПСР, а также влияния так называемого человеческого фактора (человеческие ошибки являются причиной в 70–80 % случаев всех авиационных происшествий, что подчеркивает критическую роль данного фактора в обеспечении безопасности полетов [3, 4]).

Показатель $R(t) = \prod_1^j P_j$ – это надежность *технических* систем, входящих в состав КПСК. Эта интегральная вероятность, представляет собой совокупность частных вероятностей безотказной работы авиационных, морских и (или) наземных транспортных систем, средств радиосвязи, навигации и пр. В общем случае, для оценки общей надежности технической компоненты КПСК, определения вероятности наступления рискованных событий и последствий отказов, а также прогнозирования будущих состояний системы на основе ее текущего состояния, можно использовать матрицу вероятностей безотказности критически важных технических систем, от работы которых зависит успешность проведения всей ПСО. Матрица состоит из строк, соответствующих начальным состояниям отдельных критических систем, и столбцов – их i -м состояниям (с градацией по времени поисковой операции, ее характерным периодам или в соответствии с этапами жизненного цикла технических систем) [5].

Для достижения полноты и объективности общего анализа $R(t)$, в качестве основных критических систем, подлежащих экспертному учету, предлагается использовать вероятности безотказной работы:

- 1) технических компонентов наземной и спутниковой группировки системы «Коспас-Сарсат»;
- 2) средств авиационной (морской) КВ- и УКВ-связи, спутниковой связи и интернета;
- 3) навигационных систем авиационных и морских поисковых средств;
- 4) наземного вездеходного автомобильного транспорта;
- 5) двигателей поисково-спасательных вертолетов и самолетов;
- 6) авиационной системы сброса спасательных катеров;
- 7) бортовых систем морского спасательного катера;
- 8) двигателей, корпуса и систем управления морских и океанических судов ледового класса;
- 9) аварийных систем обеспечения жизнедеятельности экипажа ВА;
- 10) систем аварийной радиосвязи и сигнализации экипажа ВА.

Фактическая надежность функционирования критических технических подсистем КПСК не является предметом проводимого в данной работе анализа. Ее влияние на W_{nc} предлагается учитывать на завершающем этапе формирования конечного вида функции обобщенной вероятности как $P_j^{10} = 0,99$ (по условию технической надежности каждой из участвующих подсистем не хуже, чем $P_j = 0,999$ («три девятки» [6, 7])).

Частные показатели обобщенной вероятности успешного поиска и спасания космонавтов

Рассмотрим вид и содержание некоторых частных показателей обобщенной вероятности успешного поиска и спасания космонавтов.

А. В соответствии с НТД, фиксация момента аварии ПКА на этапе его выведения осуществляется с использованием данных различных средств телеметрии и радиосвязи, а факт приземления (приводнения) в том или ином регионе планеты – по информации международной спутниковой поисково-спасательной системы «Коспас-Сарсат» (англ. *Cospas-Sarsat*). Вероятность успешного функционирования системы ($P_{опов}$), не является абсолютной и зависит от многих факторов, включая особые условия ее работы в полярных широтах нашей планеты. Одним из главных направлений развития «Коспас-Сарсат» является внедрение новых технологий и методов обнаружения терпящих бедствие судов. Сейчас активно разрабатываются программно-технические дополнения, позволяющие обнаруживать их сигналы с более высокой точностью и на больших расстояниях. Также ведутся работы по созданию новых типов аварийных радиомаяков, которые будут более эффективными и надежными в работе [8, 9].

В качестве отдельных характеристик системы «Коспас-Сарсат», используемых при анализе ее эффективности, следует обратить внимание на точность пеленгации места аварийного сигнала, зависящую от рабочей частоты автоматического радиобуя, составляющую от нескольких десятков метров

до 20 км. Также имеет место определенная временная задержка обработки информации спутниками, которая может достигать до 1 ... 1,5 ч в северном полушарии и до 2 ч в южном полушарии³.

Б. Как требует «Инструкция по поисково-спасательному обеспечению полета Международной космической станции с транспортными пилотируемыми кораблями «Союз»»⁴, в случае возникновения аварийной ситуации на ПКА, команда на начало ПСР оперативными группами Росаэронавигации выдается руководителем главной оперативной группы управления космическим полетом (ГОГУ на старте). Информация об аварии на участке выведения и расчетном районе посадки ВА передается из ГОГУ спасателям в момент фиксации данного факта, а фактический район посадки – не позднее чем через 30 мин после приземления (приводнения) спускаемого аппарата.

Поскольку поисково-спасательные силы и средства, обеспечивающие запуск и полет по трассе выведения, за 10 мин до старта ПКА должны приводиться в готовность № 1, то при получении команды «Авария» от руководителя ПСР в районе поиска, авиационный руководитель полетов практически немедленно направляет в район посадки ВА аварийно-спасательные вертолеты (самолеты). Конкретная задача на проведение ПСР, как правило, ставится экипажам уже в воздухе по каналам УКВ-радиосвязи. В зависимости от удаленности, в район посадки ВА могут одновременно выдвигаться и наземные поисковые группы (НПГ)⁵.

В большинстве случаев при использовании любого наклона трассы выведения возможно реализовать морской сценарий поиска и спасания. В соответствии с существующими в настоящее время предложениями разработчиков космической техники и учитывая относительно небольшую скорость движения морских судов (в среднем до 15 узлов или 28 км/ч), а также значительную удаленность морских участков трассы выведения ПКА от портов, спасательные суда должны заранее выйти в море из мест базирования и прибыть в морские районы своего дежурства за сутки до космического старта. Поисковые команды должны быть обеспечены специальной системой связи с органами управления для координации спасательных мероприятий в любом месте их проведения. Распоряжение на проведение работ и сопутствующую

³ Портал Морское агентство «Транс-сервис». Раздел «Радиосвязь». URL: <https://trans-service.org/ru.php?section=info&page=radio&subpage=radio14#nav> (дата обращения 22.01.2026).

⁴ Приказ № 22 Росаэронавигации от 03.04.2007 «Об утверждении Инструкции по поисково-спасательному обеспечению полета МКС с транспортными пилотируемыми кораблями «Союз». URL: <https://docs.cntd.ru/document/902094983?ysclid=md7brs4ugz217976270> (дата обращения 22.01.2026).

⁵ РПАСОП ГА-91. Руководство по поисковому и аварийно-спасательному обеспечению полетов гражданской авиации СССР (утв. Приказом МГА СССР 28.03.1991 № 65 вместе с «Порядком определения района поиска, разбивкой его на квадраты и способами поиска воздушных судов, терпящих бедствие...»). URL: <https://avam-avia.ru> (дата обращения 22.01.2026).

служебную информацию специалистам на борту конкретного спасательного судна выдает руководитель ПСР на космодроме Восточный.

В. Успешность выхода авиационных, морских или сухопутных сил поиска в расчетный район аварийного приземления (приводнения) в заданное нормативами время может определяться различными расчетно-экспериментальными методами, основанными на статистической обработке данных, получаемых при испытаниях или эксплуатации системы либо ее составных частей (элементов), а также методом статистического имитационного моделирования.

В общем случае возможность наступления такого случайного события для нормированного интервала времени $(0; t)$ может быть определена с использованием формулы расчета вероятности наступления события отказа изделия за время его работы « t » при средней наработке на отказ – « T » или, аналогично, по формуле вероятности возникновения летного происшествия (ЛП) в одном полете продолжительностью « t » при среднем налете на одно ЛП – « T »; формула справедлива при предположении, что поток отказов (или ЛП) – пуассоновский простейший, с интенсивностью наступления событий – « $1/T$ » [10–12]:

$$P_{\text{вых}} = 1 - e^{-(\lambda t)} = 1 - e^{-\left(\frac{t}{T}\right)},$$

где для ПСО имеем подобие, когда отказы или ЛП «заменяются» на аналоги – случайные события прибытия авиационных, морских или сухопутных сил поиска и спасания в расчетный район аварийного приземления (приводнения) ВА; $\lambda = 1/T$ – интенсивность событий; T – это фактически потребное время для прибытия поисковой группы в установленный район поиска, определяемое протяженностью маршрута, размерами района аварийных работ, скоростью морского или воздушного судна и т. д.; t – это $t_{\text{вых}}$, или заданное нормативами, максимальное располагаемое время прибытия морского или воздушного судна в тот или иной район с целью выполнения поиска и спасания с учетом общего времени проведения спасательной операции ($t_{\text{норм}} = t_{\text{опов}} + t_{\text{опер}} + t_{\text{вых}} + t_{\text{поиска}} + t_{\text{спас}}$).

Результаты расчета вероятности успешного поиска и спасания космических экипажей в случае аварийной посадки

Выполненные на основании вышеприведенной формулы вычисления, основанные на усредненных данных, характеризующих сухопутный, авиационный и морской сценарии ПСР, позволяют сделать выводы о величине и характере изменения $P_{\text{вых}}$, для выбранных условий поиска и спасания, когда $(t_{\text{опов}} + t_{\text{опер}}) \approx 1$ ч и $(t_{\text{поиска}} + t_{\text{спас}}) \approx 1$ ч (табл.).

Расчеты проведены для разных значений нормативного времени ($t_{\text{норм}}$), а его опорная величина в 12 ч (установленная разработчиками ПКА

по условиям выживания космонавтов со средствами индивидуального спасения в открытом море), выделена в таблице цветом [13].

Вероятность успешного выхода авиационных, морских или сухопутных сил поиска в расчетный район аварийного приземления (приводнения)

Значения $t_{\text{норм}}$, ч	ПСР на воде			ПСР на суше	
	авиация (Ил-76, Ан-24, Ми-26)	морские суда		авиация (Ми-26, Ми-8)	НПП
		с вертолетами	без вертолетов		
4	0,4	0,8	0,1	0,3	0,2
8	0,7	0,95	0,3	0,6	0,45
12	0,9	0,99	0,4	0,8	0,6
48	0,999	0,999	0,99	0,999	0,99

Анализ расчетных данных таблицы показывает, что стратегия и тактика реализации современной системы штатного и аварийного спасания экипажей на суше, основанная на совместном использовании вертолетной авиационной техники, а также наземных транспортных средств повышенной проходимости, позволяет с высокой вероятностью успешно решать задачи выхода поисковых групп в районы аварийной посадки ВА.

Для условий выполнения морских ПСО наиболее удачным методом ПСР является использование многофункциональной корабельной группировки (от 3 до 7 специальных судов) с вертолетной техникой на борту в заранее заданных *районах приведения*⁶ ВА (рис. 2). Следует отметить, что именно наличие спасательной авиационной техники на борту морских судов делает данный метод эффективным, поскольку относительная тихоходность флота не позволяет решать задачи своевременного автономного выхода кораблей в районы аварийного поиска и спасания космонавтов.

Г. Еще одним из главных частных показателей успешности проведения ПСР является вероятность своевременного обнаружения ВА и членов космического экипажа в районах аварийной посадки. $P_{\text{поиска}}$ зависит от множества условий, важнейшими из которых при авиационном визуальном поиске будут⁷:

- характеристики объекта (контраст, угловые размеры, яркость фона);
- высота и скорость полета воздушного судна;
- подготовленность и натренированность оператора;
- гидрометеорологическая обстановка в районе ПСР;

⁶ В открытой печати отсутствуют подтвержденные сведения о методе установления таких районов и условий, определяющих их количество, форму и размеры, а также навигационные точности аппаратуры приведения ВА и данные о технических средствах их практического достижения.

⁷ Федеральные авиационные правила «Аварийно-спасательное обеспечение полетов воздушных судов» – 2020. URL: <https://base.garant.ru/400165078/?ysclid=md7d3qzrfc949604060> (дата обращения 22.01.2026).



Рис. 2. Вариант проведения ПСР силами спасательных судов и корабельных вертолетов для условия наклона орбиты выведения $51,6^\circ$

– фактические и предполагаемые параметры района поиска, несоответствие которых может быть вызвано навигационными ошибками выхода в район ПСР и наличием малоориентирной местности (пустыня, полярная тундра, ледовые поля или открытое море).

Точный расчет указанной вероятности, основанный на использовании специальных математических моделей, представляет собой особую и сложную многофакторную задачу [14].

Однако оценочная величина $P_{\text{поиска}}$ может быть получена по известным эмпирическим формулам [15], учитывающим среднегодовую метеовидимость, метеорологическую дальность видимости (МДВ), наличие облачности, осредненный рельеф местности (через вероятность прямой видимости), размеры наземного (надводного) объекта, а также время, необходимое человеку-оператору для распознавания объекта. На рис. 3 представлены расчетные вероятности поиска и обнаружения типового наземного объекта (ТНО) в условиях холмистого и равнинного рельефа, которые могут быть использованы при оценке $P_{\text{поиска}}$ в системе КПСК. Показанные далее расчетные величины вероятности имеют достаточно высокую сходимость с большим массивом данных, полученных при практических летных испытаниях [14].

Таким образом, вероятность успешности авиационного поиска и обнаружения ВА, потерпевшего аварию как на суше, так и на море, объективно будет зависеть от точности выхода воздушного судна в заданный район.

В случае реализации концепции визуального авиационного или морского поиска силами и средствами ПСР на основе данных «Коспас-Сарсат»

пограничные значения данного показателя могут быть рассчитаны по следующей формуле определения суммарной ошибки выхода поискового судна в районы проведения спасательных работ:

$$\Sigma_r = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2},$$

где σ_1^2 – средняя квадратичная ошибка определения местоположения аварийного радиобуя в системе «Коспас-Сарсат», составляющая от нескольких десятков метров до 20 км (первичные данные);

σ_2^2 – средняя квадратичная ошибка самолетовождения (судовождения), характеризуемая способом счисления пути, наличием средств коррекции координат (включая ГЛОНАСС/GPS) и иными параметрами конкретной навигационной системы (может составлять от нескольких десятков метров до нескольких десятков километров);

σ_3^2 – средняя квадратичная ошибка, определяемая естественным дрейфом первоначального положения ВА за время проведения ПСР, вызванным морскими течениями, сдвигами ледяного поля и иными причинами (может составлять от 0 до нескольких километров за один час проведения ПСР или до 10 ... 12 и более километров (на момент выхода поискового судна в предполагаемый район)).

Расчеты показывают, что крайние значения величины Σ_r могут составлять: *минимальные* – от нескольких сотен метров (что позволяет говорить о приемлемой величине вероятности $P_{\text{поиска}} = 0,8-0,95$); *максимальные* – до нескольких десятков километров, что для условий авиационного визуального поиска на суше или море, ограниченного возможностями авиации по топливу (как правило, $t_{\text{поиска}}$ задается штурманским планом полета и составляет около 30 мин), демонстрируют неудовлетворительное решение поисковой задачи, учитывая фактические размеры района ПСР (рис. 3 б).

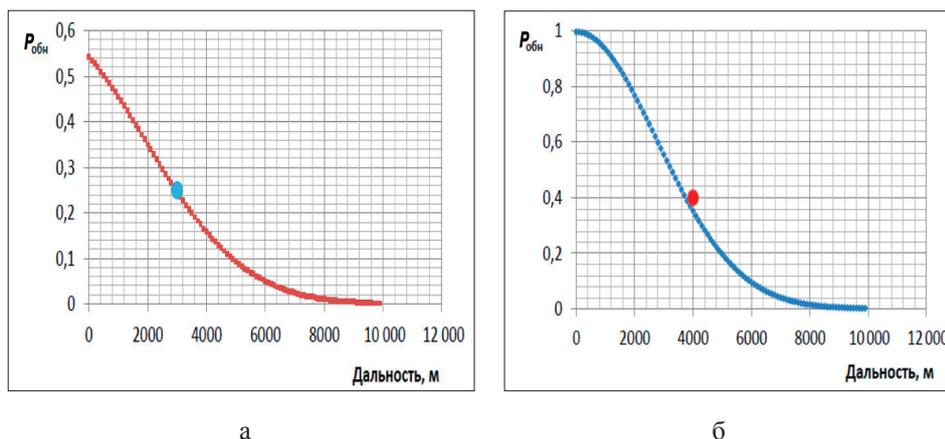


Рис. 3. Расчетные зависимости вероятности обнаружения для условий холмистой (а) и равнинной местности (б)

Д. В настоящее время не существует единой методики расчета вероятности успешности проведения цикла спасательных работ и вероятности последующего перемещения (эвакуации) экипажа по обратному маршруту. $P_{\text{спас}}$ и $P_{\text{обр}}$ всегда определяются конкретным вариантом организации ПСР и условиями проведения спасательной операции. Они являются многофакторными величинами и могут быть объективно оценены только по результатам современного компьютерного моделирования.

Е. Вероятность $P_{\text{связи}}$ на всех этапах проведения аварийных работ зависит от используемого оборудования и подготовленности персонала ПСР. Реализуемые в настоящее время методы и технологии космической радиосвязи, спутниковой навигации и интернета позволяют говорить о возможности организации и сохранения устойчивой связи, непрерывного и успешного управления поисковой операцией. Определенные ограничения могут накладываться обстановкой проведения космических ПСР в полярных и приполярных областях, а также в акватории Северного Ледовитого океана [16, 17].

Ж. Как представлено выше, РВА – вероятность своевременной и безопасной эвакуации ВА из района аварийной посадки. Необходимо указать, что помимо характеристики собственно перемещения многоразового ВА к месту назначения, ее величина является производной от полноты и успешности решения большого числа дополнительных (вспомогательных) технологических задач, среди них:

- открытие люков ВА для эвакуации экипажа;
- определение уровня радиации в зоне радиоактивного источника;
- слив пероксида водорода;
- установка технологических крышек на реактивные сопла;
- поиск и эвакуация отделившихся составных частей, включая парашютную систему;
- установка защитных крышек;
- стравливание азота из баллонов посадочного устройства;
- проведение сброса кислорода из системы подачи кислорода до консервационного давления;
- демонтаж стыковочного механизма и установка защитных принадлежностей на стыковочный агрегат;
- установка такелажных средств, обесточивание и консервация ВА и т. д.

Успешность реализации показанного выше перечня мероприятий объективно зависит от числа специалистов-спасателей и уровня их подготовленности, условий проведения ПСР, наличия специального перечня инструментов, а также располагаемого времени проведения работ. Фактическая величина РВА требует особого обоснования и может являться предметом отдельного научного исследования.

Оценка $W_{\text{пс}}$ как функции представленных в работе отдельных показателей $\{P_{\text{опов}}, P_{\text{опер}}, P_{\text{вых}}, P_{\text{поиска}} \text{ и } R(t)\}$, даже без учета $\{P_{\text{обр}}, P_{\text{связи}} \text{ и } P_{\text{ВА}}\}$ позволяет

сделать заключение *о несоответствии* результирующих значений обобщенной вероятности успешной реализации предлагаемого к разработке КПСК (0,3 ... 0,7) жестким требованиям заказчика (0,99).

Указанные выводы заставляют разработчиков ПКА исследовать новые способы организации КПСК и методы проведения ПСР, а также формулировать предложения по реализации альтернативных видов инновационной пилотируемой и беспилотной воздушной, морской и наземной спасательной техники [18–20].

Одной из таких альтернатив, органически дополняющих существующие наработки по организации КПСК космодрома Байконур, является предложение по использованию современных гелиевых жестких и полужестких дирижаблей в условиях дальневосточных и арктических регионов нашей страны, а также акватории Тихого и Северного Ледовитого океанов [21, 22].

Достоинства указанных воздухоплавательных систем имеют комплексный характер, что подтверждено рядом инициативных исследований, выполненных, в том числе, АО «ЦНИИмаш» (ГК «Роскосмос»), совместно с Центральным аэрогидродинамическим институтом (ЦАГИ) и Долгопрудненским конструкторским бюро автоматики (ДКБА, ГК «Ростех»).

Существенный прирост $W_{\text{пс}}$ при использовании дирижаблей, разрабатываемых по российским проектам на авиастроительных предприятиях РФ с использованием отечественных материалов и комплектующих, может достигаться за счет [23]:

а) высокой оперативности и универсальности применения данных воздушных судов при выполнении ПСР в различных природных регионах планеты (как на суше, так и на море) при любых наклонениях орбиты выведения ПКА;

б) значительного располагаемого времени дежурства дирижаблей в воздухе, потенциально составляющего до нескольких недель, недостижимого иными авиационными системами, с большой профессиональной командой спасателей и медицинских работников на борту;

в) относительно высокой максимальной скорости перемещения дирижаблей в район(ы) воздушного поиска и спасания космонавтов по сравнению с морскими судами;

г) возможностей организации поиска и непосредственного спасания космонавтов в режиме длительного висения, а также применения широкого спектра различной специальной крупногабаритной аппаратуры приборного поиска на море и на суше;

д) большой грузоподъемности газовых дирижаблей, обеспечивающей проведение эвакуационных мероприятий с транспортировкой многоразового ВА в гондоле или на внешней подвеске воздушного судна и оказанием профессиональной медицинской помощи на борту.

Выводы

1. В настоящее время существуют жесткие нормативные требования по планированию деятельности, техническому оснащению и организации ПСР в отношении штатного и аварийного обеспечения пилотируемых космических пусков. Предлагаемые способы построения КПСК, ранее эффективно реализованные на космодроме Байконур, не могут быть механистически транслированы для космодрома Восточный со значительно более сложными геоклиматическими и гидрометеорологическими условиями в районах возможной аварийной посадки ВА по трассе выведения ПКА на орбиту с использованием нового дальневосточного полигона. Требуется проведение специальных исследований с использованием расчетно-экспериментальных и (или) имитационно-статистических методов определения успешности (вероятности) реализации каждого из предлагаемых вариантов реализации КПСК, для чего существует развернутая теоретическая база и значительное количество современных программно-аппаратных приложений.

2. Достижение заданных высоких требований по надежности КПСК потребует неформального системного подхода к его организации с использованием новых авиационных, морских, а также сухопутных средств и технологий спасания космонавтов на базе применения современных методов связи, навигации и управления пилотируемыми и беспилотными авиационными и надводными системами.

3. Одним из реальных вариантов организации КПСК является применение отечественных пилотируемых жестких и полужестких дирижаблей большой грузоподъемности, позволяющих универсально, эффективно и безопасно решать описанные выше задачи проведения авиационных ПСР в любых регионах (акваториях) земного шара.

4. Во всех случаях проведения оценки сравнительной эффективности вариантов организации КПСК и проведения ПСР потребуется комплексное технико-экономическое обоснование предлагаемых к использованию систем с учетом нынешних требований российского законодательства, современных принципов организации функционирования отраслей народного хозяйства Российской Федерации, а также особенностей внешнеполитической деятельности государства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Александров, А.П. «Дублер – это звучит долго». Интервью с космонавтом // Военное обозрение: сетевое издание: – URL: <https://topwar.ru/113226-dubler-eto-zvuchit-dolgo.html>. – Дата публикации 17.07.2025.
2. Конесев, С.Г. Методы оценки показателей надежности компонентов и систем / С.Г. Конесев, Р.Т. Хазиева // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1(1). – URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=17558> (дата обращения: 24.07.2025).

3. Бачурин, Д.С. Роль человеческого фактора в авиационных происшествиях и методы их минимизации / Д.С. Бачурин, А.В. Седых. – Текст: непосредственный // Молодой ученый. – 2024. – № 23(522). – С. 17–20. – URL: <https://moluch.ru/archive/522/115473> (дата обращения 17.07.2025).
4. Ширшиков, А.С. Оценка надежности технических систем: учеб. пособие / А.С. Ширшиков, В.В. Лянденбургский, А.М. Белоковильский. – Пенза: ПГУАС, 2015. – 240 с.
5. Похабов, Ю.П. Конструкторско-технологический подход к обеспечению заданной надежности (на примере уникальных высокоответственных систем с малой наработкой) / Ю.П. Похабов. – DOI 10.21683/1729-26462-2022-22-1-20-29 // Надежность. – 2022. – Т. 22, № 1. – URL: <https://www.dependability.ru/jour> (дата обращения: 26.01.2026).
6. Филин, В.М. Ракетный бумеранг // Самиздат. – 2011. – URL: https://samlib.ru/f/filin_w_m/raketnyjbumerang2011.shtml. – Дата публикации: 05.10.2023.
7. Власов, И. Новое поколение аппаратуры технической диагностики / И. Власов, М. Птичников, Н. Сторожук // Первая миля. – 2016. – № 2. – URL: https://www.lastmile.su/files/article_pdf/5/article_5169_44.pdf (дата обращения 17.07.2025).
8. Прогнозирование помехоустойчивости спутниковой системы «Коспас-Сарсат» на основе результатов GPS-мониторинга мелкомасштабных возмущений ионосферы / В.П. Пашинцев, В.В. Копытов, Д.А. Михайлов [и др.]. – DOI 10.30898/1684-1719.2024.12.1. – Текст: электронный // Журнал радиоэлектроники. – 2024. – № 12. – URL: <http://jre.cplire.ru/jre/dec24/1/abstract.html> (дата обращения: 26.01.2026).
9. Лучников, И.В. Перспективы развития системы «Коспас-Сарсат» / И.В. Лучников, А.А. Зудин // Аллея Науки: научно-практический электронный журнал. – 2023. – № 11(86). – URL: https://alley-science.ru/domains_data/files/10November2023/PERSPEKTIVI-RaZVITIYa-SISTEMI-%C2%ABKOSPAS-SaRSaT%C2%BB.pdf?x89457 (дата обращения 17.07.2025).
10. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. – 2000. – 480 с.
11. Полешкина, И.О. Методика оценки транспортной доступности населенных пунктов арктической зоны России // Железнодорожный транспорт. – 2022. – № 5. – С. 32–37.
12. Полешкина, И.О. Транспортная доступность районов арктической зоны в аспекте оказания услуг скорой и скорой специализированной медицинской помощи / И.О. Полешкина. – Текст: электронный // Транспортные системы и дорожная инфраструктура Крайнего Севера: Сборник материалов III всероссийского форума: под ред. Д.В. Филиппов, В.Ю. Панков, Г.О. Николаева. – Якутск: Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова, 2022. – С. 67–72. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49956455&ysclid=mkxytjjszr327387581> (дата обращения: 28.01.2026).
13. Куликов, И.Н. Содержание этапов оценки вероятности успешного поиска и спасания космических экипажей в случае аварийной посадки / И.Н. Куликов, В.И. Дубинин, Б.И. Крючков // Пилотируемые полеты в космос. Материалы XVI Международной научно-практической конференции 3–5 декабря 2025 г. – С. 5–6.

14. Николаев, С.В. Определение в испытаниях вероятности обнаружения наземных объектов с борта летательного аппарата / С.В. Николаев. – DOI: 10.26467/2079-0619-2017-20-5-131-144 // Научный Вестник МГТУ ГА. – 2017. – Том 20, № 05. – С. 131–144.
15. Травникова, Н.П. Эффективность визуального поиска. – Москва: Машиностроение, 1985. – 127 с.
16. Кулешов, И.А. Проблемы радиосвязи в Арктике. – 2018. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-radiosvyazi-v-arktike> (дата обращения 17.07.2025).
17. Бакурский, К.В. Проблемы навигационного обеспечения в Арктической зоне / К.В. Бакурский, А.А. Макаров, Р.Г. Никитин. – Текст: электронный // Материалы конференции. – 2021. – С. 54–56. – URL: <https://conf-ntores.etu.ru/assets/files/2021/cp/papers/054-56.pdf> (дата обращения 17.07.2025).
18. Вальченко, С. Россия построит «арктического монстра». Для снабжения заполярных гарнизонов и проведения спасательных операций будет использоваться гигантский экраноплан / С. Вальченко, Н. Сурков, А. Рамм. – Текст: электронный // Газета Известия: [сайт]. – URL: <https://iz.ru/659793/sergei-valchenko-nikolai-surkov-aleksei-ramm/rossiia-postroit-arkticheskogo-monstra> (дата обращения 17.07.2025).
19. Анисимов, А.А. Возможности применения беспилотных летательных аппаратов в интересах пилотируемой космонавтики / А.А. Анисимов, И.Н. Куликов, Б.И. Крючков // Идеи Циолковского в теориях освоения космоса. Материалы 58-х научных чтений, посвященных разработке научного наследия и развитию идей К.Э. Циолковского. – Калуга: ИП Стрельцов И.А., 2023. – С. 321–324.
20. Находкин, Н.А. Современные технологии поиска и спасения в северо-восточной Арктике России. – URL: <https://s.econf.rae.ru/pdf/2012/02/973.pdf> (дата обращения 17.07.2025).
21. Куликов, И.Н. Направления использования дирижаблей для решения задач пилотируемой космонавтики // Пилотируемые полеты в космос. – 2019. – № 4(33). – С. 92–105.
22. Кирилин, А.Н. Создание воздушной транспортной системы на основе дирижаблей нового поколения для освоения труднодоступных регионов России // Крылья Родины. – 2019. – № 1(2). – С. 22–44.
23. Куликов, И.Н. К вопросу оценки эффективности применения дирижабельных систем как средства спасания космических экипажей // Пилотируемые полеты в космос. – 2020. – № 4(37). – С. 115–131.

REFERENCES

1. Alexandrov, A.P. An Understudy Sounds Like a Long Time. Interview With an Astronaut // Military Review: online publication. – URL: <https://topwar.ru/113226-dubler-eto-zvuchit-dolgo.html> (accessed 17.07.2025).
2. Konesev, S.G. Methods for Evaluating Reliability Indicators of Components and Systems / S.G. Konesev, R.T. Khazieva // Modern Problems of Science and Education. – 2015. – No 1(1). – URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=17558> (date of request: 07/24/2025).

3. Bachurin, D.S. The Role of the Human Factor in Aviation Accidents and Methods of Their Minimization / D.S. Bachurin, A.V. Sedykh. – Text: direct // Young Scientist. – 2024. – No 23(522). – P. 17–20. – URL: <https://moluch.ru/archive/522/115473/> (accessed 17.07.2025).
4. Shirshikov, A.S. Reliability Assessment of Technical Systems: Textbook. Manual / A.S. Shirshikov, V.V. Lyandenbursky, A.M. Belokylsky. – Penza: PGUAS, 2015. – 240 p.
5. Pokhabov, Yu.P. A Design and Technological Approach to Ensuring a Given Reliability (Using the Example of Unique Highly Responsible Systems With Low Operating Time) / Y.P. Pokhabov. – DOI 10.21683/1729-26462-2022-22-1-20-29 // Reliability. – 2022. – Vol. 22, No 1. – URL: <https://www.dependability.ru/jour> (accessed 26.01.2026).
6. Filin, V.M. Rocket Boomerang // Samizdat. – 2011. — URL: https://samlib.ru/f/filin_w_m/raketnyjbumerang2011.shtml. – Date of publication: 05.10.2023.
7. Vlasov, I. New Generation of Technical Diagnostic Equipment / I. Vlasov, M. Ptichnikov, N. Storozhuk // The First Mile. – 2016. – No 2 – URL: https://www.lastmile.su/files/article_pdf/5/article_5169_44.pdf (accessed 17.07.2025).
8. Pashintsev, V.P. Prediction of the Noise Immunity of the Cospas-Sarsat Satellite System Based on the Results of GPS Monitoring of Small-Scale Ionospheric Disturbances / V.P. Pashintsev, V.V. Kopytov, D.A. Mikhailov [et al.]. – DOI 10.30898/1684-1719.2024.12.1. – Text: electronic // Journal of Radio Electronics. – 2024. – No 12. – URL: <http://jre.cplire.ru/jre/dec24/1/abstract.html> (accessed 26.01.2026).
9. Luchnikov, I.V. Prospects for the Development of the Cospas-Sarsat System / I.V. Luchnikov, A.A. Zudin // Alley of Science: Scientific and Practical Electronic Magazine. – 2023. – No 11(86). – URL – https://alley-science.ru/domains_data/files/10November2023/PERSPEKTIVI-RaZVITIYa-SISTEMI-%C2%ABKOSPAS-SaRSaT%C2%BB.pdf?x89457 (accessed 17.07.2025).
10. Wentzel, E.S. Probability Theory and its Engineering Applications / E.S. Wentzel, L.A. Ovcharov. – 2000. – 480 P.
11. Poleshkina, I.O. Methodology for Assessing the Transport Accessibility of Settlements in the Arctic Zone of Russia // Zheleznodorozhnyy Transport. – 2022. – Iss. 5. – P. 32–37.
12. Poleshkina, I.O. Transport Accessibility of the Arctic Zone Areas in Terms of the Provision of Ambulance and Emergency Specialized Medical Services / I.O. Poleshkina. – Text: electronic // Transport Systems and Road Infrastructure of the Far North: Collection of Materials of the III All-Russian Forum: Ed. by D.V. Filippov, V.Y. Pankov, G.O. Nikolaeva. – Yakutsk: Northeastern Federal University Named After M.K. Ammosov, 2022. – P. 67–72. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49956455&ysclid=mkxyjjszr327387581> (date of request: 28.01.2026).
13. Kulikov, I.N. Contents of the Stages of Assessing the Probability of Successful Search and Rescue of Space Crews in the Event of an Emergency Landing / I.N. Kulikov, V.I. Dubinin, B.I. Kryuchkov // Manned Flights Into Space. Proceedings of the XVI International Scientific and Practical Conference, December 3–5, 2025. – P. 5–6.
14. Nikolayev, S.V. Determination of the Probability of Detecting Ground Objects from an Aircraft in Tests / S.V. Nikolayev. – DOI: 10.26467/2079-0619-2017-20-5-131-144// Civil Aviation High Technologies. – 2017. – Vol. 20, No 05. – P. 131–144.

15. Travnikova, N.P. Efficiency of Visual Search. – Moscow: Mashinostroenie, 1985. – 127 p.
16. Kuleshov, I.A. Problems of Radio Communication in the Arctic. – 2018. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-radiosvyazi-v-arktike> (accessed 17.07.2025).
17. Bakurskiy, K.V. Problems of Navigation Support in the Arctic Zone / K.V. Bakurskiy, A.A. Makarov, R.G. Nikitin. – Text: electronic // Conference Proceedings. – URL: <https://conf-ntores.etu.ru/assets/files/2021/cp/papers/054-56.pdf> (accessed 17.07.2025).
18. Valchenko, S. Russia Will Build an “Arctic monster”. A Giant Ekranoplane Will be Used to Supply the Polar Garrisons and Conduct Rescue Operations / S. Valchenko, N. Surkov, A. Ramm. – Text: electronic // Izvestia Newspaper: [website]. – URL: [https:// https://iz.ru/659793/sergei-valchenko-nikolai-surkov-aleksei-ramm/rossiia-postroit-arkticheskogo-monstra](https://iz.ru/659793/sergei-valchenko-nikolai-surkov-aleksei-ramm/rossiia-postroit-arkticheskogo-monstra) (accessed 17.07.2025).
19. Anisimov, A.A. The Possibilities of Using Unmanned Aerial Vehicles in the Interests of Manned Space Exploration / A.A. Anisimov, I.N. Kulikov, B.I. Kryuchkov // Tsiolkovsky’s Ideas in Space Exploration Theories. Materials of 58 Scientific Readings Devoted to the Development of Scientific Heritage and the Development of Ideas by K.E. Tsiolkovsky. – Kaluga: IP Streltsov I.A., 2023. – P. 321–324.
20. Nakhodkin, N.A. Modern Search and Rescue Technologies in the Northeastern Arctic of Russia. – URL: <https://s.econf.rae.ru/pdf/2012/02/973.pdf> (accessed 17.07.2025).
21. Kulikov, I.N. Directions of Using Airships to Solve the Problems of Manned Cosmonautics // Manned Space Flights. – 2019. – No 4(33). – P. 92–105.
22. Kirilin, A.N. Creation of an Air Transport System Based on New Generation Airships for the Development of Remote Regions of Russia // Wings of the Motherland. – 2019. – No 1(2). – P. 22–44.
23. Kulikov, I.N. On the Issue of Evaluating the Effectiveness of Using Airship Systems as a Means of Rescuing Space Crews // Manned Space Flights. – 2020. – № 4(37). – P. 115–131.