

Соколов Олег Аркадьевич

Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации им. Главного
маршала авиации А.А. Новикова

Новикова Мария Андреевна

Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации им. Главного
маршала авиации А.А. Новикова

**Экономическая оценка применения беспилотных авиационных систем для ледовой
разведки на Северном морском пути в условиях экспериментального правового
режима**

Аннотация. В статье рассматривается задача экономической оценки применения беспилотных авиационных систем для ледовой разведки на Северном морском пути в условиях экспериментального правового режима. Актуальность темы определяется ростом требований к безопасности и регулярности арктического судоходства, а также необходимостью снижения затрат, связанных с ледовой проводкой, задержками рейсов, неоптимальным выбором маршрута и дефицитом оперативной ледовой информации. Предлагается подход к оценке экономического эффекта, основанный на сопоставлении базового сценария получения ледовой обстановки и сценария с использованием беспилотных авиационных систем. В модели учитываются сокращение времени принятия решений, уменьшение вероятности отклонения от рационального маршрута, снижение эксплуатационных потерь из-за задержек, а также дополнительные затраты на развертывание, обслуживание и применение беспилотной системы. Отдельное внимание уделяется влиянию правовых и организационных ограничений экспериментального режима на структуру затрат и масштабируемость решения. Практическая значимость работы состоит в формировании методической основы для предварительного экономического обоснования внедрения беспилотных авиационных систем в контур ледовой разведки, а также для выбора приоритетных сценариев их применения в интересах судоходных компаний, операторов инфраструктуры и органов управления арктической логистикой.

Ключевые слова: беспилотные авиационные системы, БАС, ледовая разведка, Северный морской путь, экспериментальный правовой режим, ЭПР, экономическая оценка, арктическая логистика, эффективность, транспортные издержки, навигационные риски

Sokolov Oleg Arkadievich

St. Petersburg State University of Civil Aviation named after A.A. Novikov

Novikova Maria Andreevna

St. Petersburg State University of Civil Aviation named after A.A. Novikov

**Economic Assessment of Unmanned Aircraft Systems For Ice Reconnaissance on the
Northern Sea Route Under the Experimental Legal Regime**

Abstract. The article addresses the problem of economic assessment of unmanned aircraft systems used for ice reconnaissance along the Northern Sea Route under the experimental legal regime. The relevance of the study is determined by increasing requirements for the safety and regularity of Arctic navigation, as well as by the need to reduce costs associated with icebreaker assistance, voyage delays, suboptimal route selection, and insufficient operational ice data. The paper proposes an approach to evaluating economic effects based on a

comparison between a baseline scenario of obtaining ice information and a scenario involving the use of unmanned aircraft systems. The assessment model takes into account shorter decision-making time, a lower probability of deviation from an efficient route, reduced operational losses caused by delays, and additional costs related to deployment, maintenance, and operation of the unmanned system. Special attention is paid to the influence of legal and organizational constraints of the experimental regime on the cost structure and scalability of the solution. The practical significance of the study lies in developing a methodological basis for preliminary economic justification of introducing unmanned aircraft systems into the ice reconnaissance framework and for selecting priority application scenarios for shipping companies, infrastructure operators, and Arctic logistics management bodies.

Keywords: unmanned aircraft systems, UAS, ice reconnaissance, Northern Sea Route, experimental legal regime, economic assessment, Arctic logistics, efficiency, transport costs, navigational risks.

ВВЕДЕНИЕ

Развитие Северного морского пути (СМП – далее) сейчас рассматривается в Российской Федерации как одна из самых приоритетных задач транспортной и арктической политики, что закреплено в плане развития СМП на период до 2035 года [1; 2]. Практическая эффективность перевозок на данном направлении определяется не только протяженностью маршрута и состоянием инфраструктуры, но и высоким уровнем зависимости эксплуатационных параметров рейса от ледовой обстановки. Изменчивость метеорологических условий, неравномерное распределение толщины и плотности льдин, наличие торосистых участков, разводий и зон сжатия, а также ограниченное получение данных о ледовой обстановке повышают неопределенность при выборе маршрута и в целом условий прохождения «ледяных участков». [2; 3].

Экономическое значение оперативных данных о ледовой обстановке связано с тем, что именно они влияют на обоснованность решения по выбору маршрута морского судна, потребность в обходе сложных участков, расход времени на ожидание уточнений, величину затрат на ледокольное сопровождение и риск отклонения от заданного и оптимального режима движения судна. В отечественных исследованиях показано, что особенности ледовых условий и отсутствие постоянного канала данных для навигации непосредственно отражаются на экономических показателях судоходства в акватории СМП [3]. На этом фоне использование беспилотных авиационных систем (БАС) для ледовой разведки представляет интерес как экономическое решение.

В марте 2026 года в России установлен экспериментальный правовой режим (ЭПР) по эксплуатации БАС в районах акватории СМП и на прилегающих сухопутных территориях Арктической зоны Российской Федерации. Программа ЭПР предусматривает применение беспилотных систем для ледовой разведки, получения данных о ледовой обстановке и обеспечения безопасной ледокольной проводки морских судов [1]. Отмечаются перспективы разведки ледовой обстановки с помощью дронов при движении морского судна по СМП, но в принципе в работах основной акцент сохраняется на технических и организационных аспектах использования БАС [4].

При эксплуатации на СМП беспилотные авиационные системы целесообразно рассматривать в качестве источника данных для специальной автоматизированной системы поддержки принятия решений по выбору режима движения морского судна, последующей корректировке маршрута и организации ледокольной проводки. В такой постановке экономический эффект формируется не только за счет самого факта получения дополнительных сведений, а прежде всего за счет более точного выбора маршрута, режима движения и параметров проводки, принимаемого на их основе [1; 4].

В зарубежной литературе близкая логика прослеживается в вероятностных и так называемых «риск-ориентированных» моделях арктического плавания, где ледовая неопределенность рассматривается как фактор, изменяющий время перехода, вероятность

блокировки маршрута, эксплуатационные затраты и итоговую экономическую результативность перевозки [5–7].

Данные о ледовой обстановке, поступающие в систему автоматизированного управления (САУ) поддержки решений, должны рассматриваться как экономически значимый фактор, влияющий на себестоимость рейса, устойчивость графика движения и надежность проводки [7–9].

Несмотря на наличие работ по экономике арктического судоходства и отдельных публикаций по беспилотной ледовой разведке, в научной литературе ограниченно представлены компактные модели, напрямую связывающие использование БАС как источника данных для автоматизированной системы поддержки решений с изменением затрат на рейс, потерь от задержек, затрат на ледокольную проводку и ожидаемых потерь от нерационального управленческого решения на СМП [3; 7; 9].

В этом, собственно, состоит научная новизна решаемой задачи.

Цель исследования – разработка подхода к экономической оценке применения беспилотных авиационных систем как элемента информационного обеспечения автоматизированной поддержки решений при выборе режима движения морского судна и организации ледокольной проводки на Северном морском пути в условиях экспериментального правового режима.

Экономическая модель и метрики исследования.

Экономическая оценка применения БАС для ледовой разведки строится на сопоставлении двух сценариев прохождения участка акватории Северного морского пути.

«Нулевой» предполагает, что решение о маршруте, режиме движения морского судна и параметрах ледокольной проводки принимается по штатным данным о ледовой обстановке без дополнительного применения БАС.

Сценарий с применением БАС – «**расширенный**» – предполагает, что беспилотная авиационная система выполняет дополнительную ледовую разведку, а полученные навигационные и метеорологические данные используются в автоматизированном контуре поддержки навигационных решений для уточнения маршрута, режима движения морского судна и необходимости ледокольного сопровождения.

На **вход** модели подается совокупность расчетных параметров, описывающих различие между сравниваемыми сценариями по временным, вероятностным и стоимостным характеристикам прохождения ледового участка: сокращение времени движения судна, уменьшение задержек, изменение продолжительности ледокольного сопровождения, снижение вероятности неблагоприятного исхода и затраты на развертывание и эксплуатацию беспилотного авиационного комплекса в составе автоматизированного контура поддержки решений.

На **выходе** модели формируется система интегральных и экономических показателей. К интегральному результату отнесем - итоговый экономический эффект применения БАС, выраженный в рублях. К экономическим результатам отнесем:

- снижение маршрутных затрат;
- сокращение потерь от задержек;
- уменьшение затрат на ледокольную проводку;
- предотвращенные ожидаемые потери;
- коэффициент экономической отдачи;
- пороговые параметры экономической устойчивости рассматриваемого решения.

Итоговый экономический эффект определяем из соотношения:

$$E = \Delta C_{mar} + \Delta C_{del} + \Delta C_{esc} + \Delta C_{risk} - C_{UAS} \quad (1)$$

где E - итоговый экономический эффект применения БАС, руб., C_{mar} – снижение маршрутных эксплуатационных затрат, руб., C_{del} – снижение потерь от задержек, руб., C_{esc} – снижение затрат на ледокольную проводку, руб., C_{risk} – предотвращенные ожидаемые потери, руб., C_{UAS} – совокупные затраты на применение БАС, руб.

Если $E > 0$, применение БАС в рассматриваемом сценарии экономически оправдано. Если $E < 0$, прямой экономический эффект отсутствует.

Составляющая, характеризующая снижение маршрутных эксплуатационных затрат отражает уменьшение прямых затрат судна за счет более «рационального» прохождения участка включает выигрыш по времени движения, топливу и длине маршрута:

$$C_{mar} = c_t \Delta t_{mov} + c_f \Delta q_f + c_l \Delta l \quad (2)$$

где c_t – стоимость одного часа движения судна, руб./ч., t_{mov} – сокращение времени движения, ч., c_f – стоимость единицы топлива, руб./т или руб./кг., q_f – сокращение расхода топлива, т или кг., c_l – переменные затраты на единицу избыточного пути, руб./км. или руб./морская миля, l – сокращение длины маршрута, км. или мили.

Составляющая, которая отражает уменьшение потерь, связанных с ожиданием, вынужденным замедлением, простоем в ожидании уточнения ледовой обстановки или задержкой прохождения участка определяется соотношением:

$$C_{del} = c_{del} \Delta t_{del} \quad (3)$$

где c_{del} – стоимость одного часа задержки, руб./ч., t_{del} – сокращение задержки между базовым сценарием и сценарием с БАС, ч.

Если более точные данные позволяют сократить длительность ледокольного сопровождения или уменьшить потребность в нем на конкретном участке, соответствующий эффект записывается как:

$$C_{esc} = c_{esc} \Delta t_{esc} \quad (4)$$

где c_{esc} – стоимость одного часа ледокольной проводки или сопутствующего сервиса, руб./ч., t_{esc} – сокращение времени сопровождения, ч.

Для учета тех случаев, когда в базовом сценарии выше вероятность неблагоприятного исхода - неудачного выбора участка, дополнительного обхода, роста задержки или иной экономически значимой потери используем вероятностную оценку:

$$C_{risk} = (p_b - p_u)L \quad (5)$$

где p_b – вероятность неблагоприятного исхода в базовом сценарии, p_u – вероятность того же исхода в сценарии с применением БАС, L – денежная оценка последствий неблагоприятного исхода, руб.

Совокупные затраты на применение БАС в одном цикле использования предлагается рассчитывать:

$$C_{UAS} = C_{prep} + C_{flt} + C_{com} + C_{pers} + C_{mnt} \quad (6)$$

где C_{prep} – затраты на подготовку комплекса к вылету, руб., C_{flt} – затраты на выполнение полета, руб., C_{com} – затраты на связь, передачу и обработку данных, руб., C_{pers} – затраты на персонал, руб., C_{mnt} – затраты на техническое обслуживание и сопутствующие операции, руб.

Для практического расчета модель требует следующие входные данные:

- t_{mov} – это сокращение времени движения, ч;
- q_f – сокращение расхода топлива, т. или кг;
- l – это сокращение длины маршрута, км. или морские мили;
- t_{del} – сокращение задержки, ч.;
- t_{esc} – это сокращение времени ледокольной проводки, ч.;
- p_b и p_u – вероятности неблагоприятного исхода;
- L – стоимость последствий неблагоприятного исхода, руб.;
- $c_t, c_f, c_l, c_{del}, c_{esc}$ – «стоимостные» коэффициенты;
- $C_{prep}, C_{flt}, C_{com}, C_{pers}, C_{mnt}$ – составляющие затрат на БАС, в рублях.

Дополнительные **выходные показатели** нужны для интерпретации результата и сравнения сценариев.

Результаты моделирования

Для иллюстрации модели рассмотрим условный участок СМП длиной 240 км, для которого сравниваются два варианта информационного обеспечения:

1. «базовый» без применения БАС;
2. «**расширенный**» с применением БАС в составе автоматизированного контура поддержки решений.

Предполагается, что в обоих случаях судно должно пройти один и тот же участок, однако различается вероятность выбора рационального режима движения и, как следствие, распределение времени прохождения, задержек и потребности в ледокольной проводке. Для сценария с БАС принимается, что за счет уточнения ледовой обстановки и более обоснованного выбора маршрута вероятность неблагоприятного исхода уменьшается, а вероятность благоприятного прохода возрастает.

Исходные данные приняты следующими. Стоимость одного часа движения судна составляет 180000 руб./ч, стоимость одного часа задержки - 220000 руб./ч, стоимость одного часа ледокольной проводки - 150000 руб./ч. Затраты на один цикл применения БАС составляют 780000 руб. Вероятности и временные параметры по сценариям приведены неявно в расчетной схеме ниже.

Ожидаемые затраты в базовом сценарии определяются как:

$$C_{base} = \sum_{i=1}^3 p_i (c_t t_i + c_{del} d_i + c_{esc} e_i) \quad (8)$$

где p_i – вероятность i -го исхода, t_i – время движения, ч., d_i – задержка, ч., e_i – время ледокольной проводки, ч.

Для базового сценария примем: благоприятный исход – $p_1 = 0,45$, $t_1 = 18$, $d_1 = 0$, $e_1 = 4$, замедленный проход – $p_2 = 0,35$, $t_2 = 21$, $d_2 = 2$, $e_2 = 5$, неблагоприятный исход: $p_3 = 0,20$, $t_3 = 26$, $d_3 = 6$, $e_3 = 8$.

Тогда

$$C_{base} = 1728000 + 1739500 + 1440000 = 4907500 \text{ руб}$$

Для сценария с применением БАС принимаются следующие параметры: благоприятный исход: $p'_1 = 0,60$, $t'_1 = 17$, $d'_1 = 0$, $e'_1 = 4$; замедленный проход: $p'_2 = 0,30$, $t'_2 = 19$, $d'_2 = 1$, $e'_2 = 4,5$; неблагоприятный исход: $p'_3 = 0,10$, $t'_3 = 23$, $d'_3 = 3$, $e'_3 = 6$.

Ожидаемые затраты по рейсу в сценарии с БАС без учета стоимости самой беспилотной системы составят:

$$C_{uas}^* = 4060500 \text{ руб}$$

С учетом затрат на один цикл применения БАС полные ожидаемые затраты составят:

$$C_{uas} = 4060500 + 780000 = 4840500 \text{ руб.}$$

Итоговый экономический эффект равен:

$$E = 4907500 - 4840500 = 66500 \text{ руб.}$$

Коэффициент экономической отдачи составит:

$$K_{eff} = \frac{4907500 - 4060500}{780000} = 1,09$$

В рассматриваемом сценарии применение БАС обеспечивает положительный, но ограниченный по величине экономический эффект. Результат показывает, что экономическая целесообразность такого решения в наибольшей степени зависит от стоимости цикла применения БАС и от того, насколько существенно снижается вероятность неблагоприятного варианта прохождения ледового участка.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанный подход позволяет оценивать экономическую целесообразность применения БАС как источника данных для автоматизированной поддержки решений при выборе маршрута морского судна и параметров ледокольной проводки на Северном морском пути. Демонстрационный расчет показал, что положительный экономический эффект в наибольшей степени определяется снижением вероятности неблагоприятного сценария прохождения ледового участка, сокращением потерь времени и величиной затрат на цикл применения БАС.

Список источников

1. Постановление Правительства Российской Федерации от 20 марта 2026 г. № 300 «Об установлении экспериментального правового режима в сфере цифровых и технологических инноваций и утверждении Программы экспериментального правового режима в сфере цифровых и технологических инноваций по эксплуатации беспилотных авиационных систем в районах акватории Северного морского пути и на прилегающих сухопутных территориях Арктической зоны Российской Федерации». - Текст: электронный. - URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/413884982/> (дата обращения: 13.04.2026).
2. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 1 августа 2022 г. № 2115-р «Об утверждении плана развития Северного морского пути на период до 2035 года». - Текст: электронный. - URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/405010751/> (дата обращения: 13.04.2026).
3. Авдеева Э. А. Влияние особенностей ледовых условий на экономические показатели судоходства по акватории Северного морского пути на примере деятельности международной нефтегазовой компании // Управленческий учет. 2022. № 7-3. DOI: 10.25806/uu7-32022507-513. - Текст: электронный. - URL: <https://www.uprav-uchet.ru/index.php/journal/article/view/2356> (дата обращения: 13.04.2026).
4. Бибииков М. Ю., Никитин В. А., Смирнов В. В. Дронная разведка оперативно-ледовой обстановки при движении по Северному морскому пути // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2023. № 5-1(80). С. 43-49. DOI: 10.24412/2500-1000-2023-5-1-43-49. - Текст: электронный. - URL: <https://sciup.org/170199303> (дата обращения: 13.04.2026).
5. Cariou P., Cheaitou A., Faury O., Hamdan S. The feasibility of Arctic container shipping: the economic and environmental impacts of ice thickness // Maritime Economics & Logistics. 2021. Vol. 23. P. 615-631. DOI: 10.1057/s41278-019-00145-3. - URL: <https://link.springer.com/article/10.1057/s41278-019-00145-3> (дата обращения: 13.04.2026).
6. Eguíluz V. M., Fernández-Gracia J., Irigoien X. et al. A quantitative assessment of Arctic shipping in 2010-2014 // Scientific Reports. 2016. Vol. 6. Art. 30682. - Текст: электронный. - URL: <https://www.nature.com/articles/srep30682> (дата обращения: 13.04.2026).
7. Faury O., Cariou P., Cheaitou A., Hamdan S., Fabbri G. Economic and environmental impacts of Arctic shipping: A probabilistic approach // Transportation Research Part D: Transport and Environment. 2020. Vol. 89. Art. 102606. DOI: 10.1016/j.trd.2020.102606. - URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1361920920307926> (дата обращения: 13.04.2026).
8. Müller M., Knol-Kauffman M., Jeuring J. et al. Arctic shipping trends during hazardous weather and sea-ice conditions and the Polar Code's effectiveness // npj Ocean Sustainability. 2023. Vol. 2. Art. 12. DOI: 10.1038/s44183-023-00021-x. - URL: <https://www.nature.com/articles/s44183-023-00021-x> (дата обращения: 13.04.2026).
9. Sibul G., Schütz P., Fagerholt K. Arctic route planning under ice uncertainty: A risk-averse stochastic shortest path problem // Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review. 2025. Vol. 205. P. 1-14. DOI: 10.1016/j.tre.2025.104507. - URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1366554525005356> (дата обращения: 13.04.2026).
10. Zhao H., Hu H. Study on Economic Evaluation of the Northern Sea Route: Taking the Voyage of Yong Sheng as an Example // Transportation Research Record. 2016. Vol. 2549, No. 1. P. 78-85. DOI: 10.3141/2549-09. - URL: <https://journals.sagepub.com/doi/10.3141/2549-09> (дата обращения: 13.04.2026).

Сведения об авторах

Соколов Олег Аркадьевич, кандидат технических наук, доцент, заведующий

кафедрой №13 «Системы Автоматизированного Управления», Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации имени Главного маршала авиации А. А. Новикова, Санкт-Петербург, Россия

Новикова Мария Андреевна, студент 2 курса, Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации имени Главного маршала авиации А. А. Новикова, Санкт-Петербург, Россия.

Information about the authors

Oleg Arkadyevich Sokolov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of Department No. 13 'Automated Control Systems', Saint Petersburg State University of Civil Aviation named after Chief Marshal of Aviation A. A. Novikov, Saint Petersburg, Russia

Novikova Maria Andreevna, 2nd year student, Saint Petersburg State University of Civil Aviation named after Chief Marshal of Aviation A. A. Novikov, Saint Petersburg, Russia.