



## СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ

УДК 656.7.025

DOI: 10.31799/2077-5687-2024-4-3-12

### ИССЛЕДОВАНИЕ НАУКОМЕТРИЧЕСКИХ ДАННЫХ В ОБЛАСТИ ПЕРЕВОЗОК ГРУЗОВ С ПОМОЩЬЮ БАС В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ НА БАЗЕ РИНЦ И SCOPUS

**А. И. Болотова**

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

*В статье анализируется публикационная активность в области перевозок грузов с помощью беспилотных авиационных систем в Арктической зоне на базе российского индекса научного цитирования и базы данных Scopus. Развитие российской Арктики входит в число стратегических приоритетов развития страны. Арктическая зона должна быть связана с другими регионами России с позиции экономики и логистики, поэтому для решения некоторых логистических задач целесообразно использование различного вида транспорта, в том числе БАС. В ходе исследования обозначен набор ключевых слов, проведен наукометрический анализ публикаций и выявлен набор наиболее значимых для исследуемого вопроса научных статей.*

*Ключевые слова: наукометрические данные, РИНЦ, публикационная активность, анализ публикаций, беспилотные авиационные системы, доставка грузов, доставка дронами, автономный полет, арктическая зона, Gazebo, планирование пути.*

**Для цитирования:**

*Болотова, А. И. Исследование наукометрических данных в области перевозок грузов с помощью БАС в арктической зоне на базе РИНЦ и SCOPUS / А. И. Болотова // Системный анализ и логистика. – 2024. – № 4(42). – с. 3-12. DOI: 10.31799/2077-5687-2024-4-3-12.*

### RESEARCH OF SCIENTOMETRIC DATA IN THE FIELD OF CARGO TRANSPORTATION USING UAS IN THE ARCTIC ZONE BASED ON THE RSCI AND THE SCOPUS DATABASE

**A. I. Bolotova**

St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

*The article analyzes the publication activity in the field of cargo transportation using unmanned aircraft systems in the Arctic zone based on the Russian science citation index and the Scopus database. The development of the Russian Arctic among the country's development priorities. The Arctic zone should be connected with other regions of Russia in terms of economics and logistics, therefore, it is advisable to use various types of transport, including UAS, to solve some logistical problems. In the course of the study, a set of keywords was identified, a scientometric analysis of publications was carried out and a set of the most significant scientific articles for the issue under study was identified.*

*Keywords: scientometric data, RSCI, publication activity, publication analysis, unmanned aircraft systems, cargo delivery, drone delivery, autonomous flight, Arctic zone, Gazebo, path planning.*

**For citation:**

*Bolotova, A. I. Research of scientometric data in the field of cargo transportation using UAS in the arctic zone based on the RSCI and the SCOPUS database / A. I. Bolotova // System analysis and logistics. – 2024. – № 4(42). – p. 3-12. DOI: 10.31799/2077-5687-2024-4-3-12.*

#### **Введение**

Использование беспилотных авиационных систем в Арктической зоне может стать эффективным способом доставки грузов. В условиях полного отсутствия и слаборазвитой инфраструктуры использование БАС может значительно сократить затраты на транспортировку и повысить эффективность и безопасность таких операций. С начала 21 века разработка и производство данного вида транспорта стала одной из наиболее прогрессирующих сфер мировой авиационной отрасли. Средства, направленные на создание новых, а также на усовершенствование существующих беспилотных авиационных систем, неуклонно растут.

Уже сейчас можно наблюдать первые шаги внедрения БАС в доставку в Арктике. В Ненецком автономном округе создадут первую в Арктике логистическую компанию,



использующую БАС. Как сообщает пресс-служба администрации региона, на Петербургском международном экономическом форуме в 2023 году подписано соглашение о развитии производства беспилотных авиационных систем на территории региона.

Целью статьи является анализ научных статей для определения дальнейшего вектора исследования вопроса. В ходе анализа ставятся задачи определения актуальности данной темы в Российском индексе научного цитирования (РИНЦ) и базы данных Scopus.

### **Исследование публикационной активности в РИНЦ**

РИНЦ — это национальная библиографическая база данных научных публикаций российских авторов. База данных РИНЦ размещена на сайте Научной электронной библиотеки. В ней хранится множество публикаций, начиная с 2005 года, которые представлены в виде статей, диссертаций, монографий и докладов с конференций.

Использование базы данных РИНЦ позволяет определить значимость, актуальность и степень изученности проблемы в научных статьях российских авторов, а также является эффективным средством для анализа их публикационной активности, определения ведущих организаций и журналов.

Поиск статей производился по следующему набору ключевых слов:

- беспилотные авиационные системы,
- доставка грузов,
- доставка дронами,
- автономный полет,
- арктическая зона,
- Gazebo,
- планирование пути.

Всего было найдено 26880 публикаций. Для выбора подходящих для исследования поставленного вопроса публикаций необходимо распределить статьи по тематикам, организациям и журналам, а также упорядочить число публикаций по годам. Распределение по тематическим рубрикам публикаций приведено в таблице 1.

Таблица 1 – Распределение публикаций по тематикам

Тематическая рубрика	Количество статей
Экономика. Экономические науки	9102
Транспорт	2662
Государство и право. Юридические науки	1295
Медицина и здравоохранение	1230
Геология	824
Машиностроение	818
Народное образование. Педагогика	807
Общие и комплексные проблемы технических и прикладных наук и отраслей народного хозяйства	707
Биология	660
Сельское и лесное хозяйство	656



По данным таблицы стоит отметить такие тематики как экономика и транспорт, которые являются наиболее распространенными среди полученных публикаций. Исследуемый вопрос также можно отнести к тематике транспорта.

Для исследования актуальности следует распределить публикации по годам. Для анализа были выбраны статьи, опубликованные с 2015 по 2023 год. Результаты анализа представлены на рисунке 1.

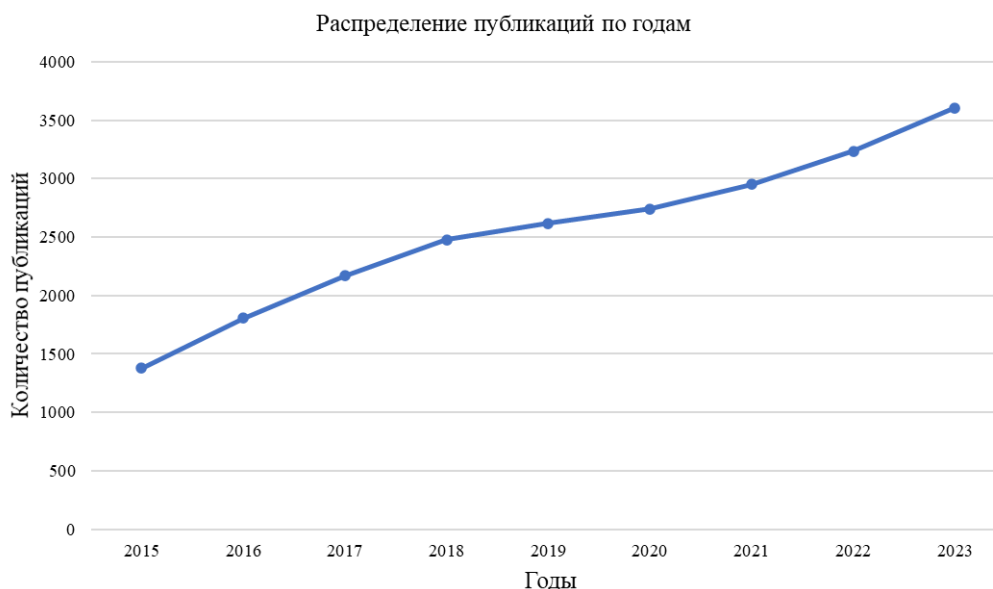


Рис. 1. Распределение публикаций по годам

Из рисунка 1 следует, что количество публикаций стабильно растет с каждым годом, что в свою очередь подтверждает актуальность исследуемого вопроса. Рост актуальности связан с повышающимся интересом в развитии экономики и инфраструктуры Арктической зоны Российской Федерации, а также с разработками новых БАС для использования их в гражданской сфере.

Распределение публикаций по журналам и организациям представлены соответственно в таблицах 2-3.

Таблица 2 – Распределение публикаций по журналам

Название журнала	Количество статей
Арктика: экология и экономика	182
Север и рынок: формирование экономического порядка	181
Экономика и предпринимательство	177
Арктика и Север	153
Транспортное дело России	103
Арктика 2035: актуальные вопросы, проблемы, решения	88
Фундаментальные исследования	79
Современные проблемы науки и	76
Мир транспорта	73
Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник	67



Таблица 3 – Распределение публикаций по организациям

Название организации	Количество статей
Кольский научный центр РАН	751
Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова	705
Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова	617
Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова	554
Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ	535
Российский университет транспорта (МИИТ)	444
Финансовый университет при Правительстве РФ	413
Санкт-Петербургский университет государственной противопожарной службы МЧС России им. Героя Российской Федерации генерала армии Е.Н. Зиничева	397
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого	367
Мурманский арктический университет	366

В ходе анализа публикаций были отобраны научные статьи, которые имеют наибольшую значимость для исследуемого вопроса, выборка представлена в таблице 4. Статьи ранжированы по количеству цитирований.



Таблица 4 – Список статей из РИНЦ

№	Название статьи	Авторы (с указанием индекса Хирша)	Количество цитирований
1	Анализ возможностей и практики использования беспилотных транспортных систем в региональных авиационных грузоперевозках [1]	Н. Д. Бублик (12), Д. В. Чувиллин (9), Г. А. Шафииков (3)	14
2	Потенциал развития логистики Арктической зоны РФ за счет применения дронов [2]	Н.В. Шаталова, (15) О.М. Михов (3), О. В. Бородина (5).	12
3	Беспилотные авиационные системы в грузоперевозках [3]	С. В. Матюха (9)	10
4	Эффективность использования беспилотных летательных аппаратов для обеспечения связанности территорий Российской Федерации [4]	В. В. Клочков (26), А. Е. Карпов (4), А. И. Тихонов (30)	7
5	Моделирование поведения летательного аппарата самолетного типа с автоматическим управлением в различных режимах полёта [5]	Д. Е. Гуцевич (6)	5
6	Реализация государственной транспортной политики в Арктической зоне РФ [6]	О. В. Белый (17), В. А. Шамахов (18), В. С. Кудряшов (29)	1
7	Сравнительный анализ методов маршрутизации беспилотных авиационных систем для доставки груза [7]	В. А. Манакова	0
8	Создание беспилотной воздушной транспортной системы для доставки грузов в северные и труднодоступные районы России [8]	И. О. Полешкина (9), Е. С. Рубцов, О. С. Шевелев	0
9	Беспилотные воздушные грузовые перевозки [9]	А. А. Сироткин (7), А. И. Коньчева (1)	0
10	Теоретическое устройство автоматизированной системы грузоперевозок на основе беспилотной авиационной системы [10]	И. Т. Салахутдинов	0



### Исследование статей из базы данных Scopus

Scopus — это база данных аннотаций и цитат, одна из крупнейших в мире платформ по анализу рецензируемой литературы: материалов конференций, научных изданий, книг. Scopus позволяет отслеживать цитируемость статей, определять индекс Хирша, находить новые тенденции в развитии науки и оценивать научную деятельность исследователей, организаций и стран в целом. Платформа собирает, обрабатывает и систематизирует эти данные для создания комплексного источника информации для научных исследований. Таким образом, Scopus является важным инструментом для получения сведений о научных исследованиях. Выборка статей представлена в таблице 5. Статьи ранжированы по количеству цитирований.

Таблица 5 – Список статей из Scopus

№	Название статьи	Авторы (с указанием индекса Хирша)	Количество цитирований
1	Extending QGroundControl for Automated Mission Planning of UAVs [11]	Ramirez-Atencia, C. (11), Camacho, D (33)	33
2	Autonomous Navigation System for a Delivery Drone [12]	Miranda, V.R.F (5) Rezende, A.M.C (7), Rocha, T.L (2)	26
3	Survey on Radio Frequency based Precise Localisation Technology for UAV in GPS-denied Environment [13]	Yang, E (27)	23
4	Constrained Path Planning for Unmanned Aerial Vehicle in 3D Terrain Using Modified Multi-Objective Particle Swarm Optimization [14]	Zhang, X (14)	7
5	Precision Landing for Low-Maintenance Remote Operations with UAVs [15]	Moreira, M (5), Azevedo, F (8), Ferreira, A (5)	4
6	Path Planning for Fixed-Wing Unmanned Aerial Vehicles: An Integrated Approach with Theta* and Clothoids [16]	Bassolillo, S.R (4), Raspaolo, G (1), Blasi, L (9)	1
7	Innovative Hybrid UAV Design, Development, and Manufacture for Forest Preservation and Acoustic Surveillance [17]	Badea, G.P. (2), Frigioescu, T.F. (6)	0



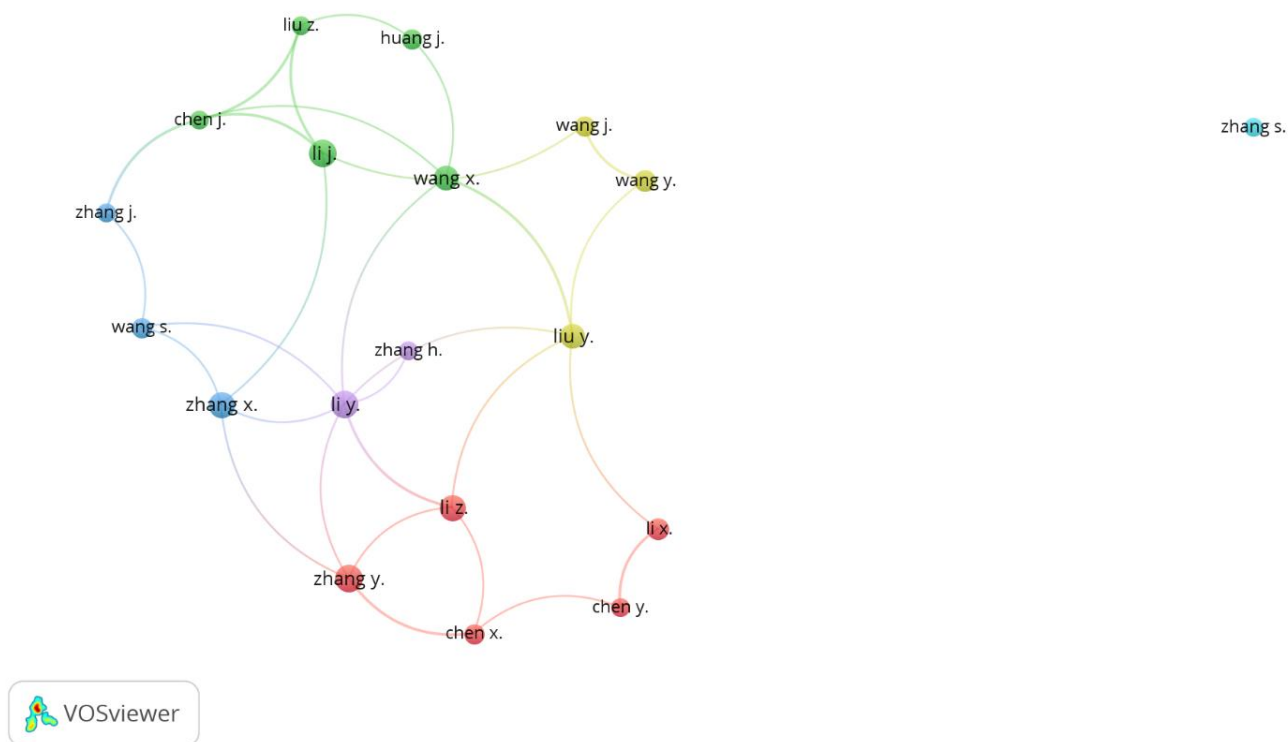


Рис. 3. Карта соавторства с помощью программы VOSviewer из базы данных Scopus

### Заключение

В статье представлено наукометрическое исследование в области перевозок грузов с помощью беспилотных авиационных систем в Арктической зоне с использованием Российского индекса научного цитирования и базы данных Scopus.

Согласно проведенному наукометрическому анализу, выявлено ежегодное увеличение количества научных публикаций, что иллюстрирует актуальность исследуемого вопроса. Была получена подборка публикаций, распределенная по организациям и журналам. Распределение по тематическим рубрикам показало, что полученные публикации относятся к тематикам экономики и транспорта.

В работе представлен список научных публикаций из баз данных РИНЦ и Scopus. Изучение опубликованных научных статей позволяет определить вектор дальнейших исследований в рамках подготовки магистерской диссертации.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бублик Н. Д. Анализ возможностей и практики использования беспилотных транспортных систем в региональных авиационных грузоперевозках / Н. Д. Бублик, Д. В. Чувиллин, Г. А. Шафиков // Вестник евразийской науки. – 2018. – Т. 10, № 2. – 11 с.
2. Шаталова Н. В. Потенциал развития логистики Арктической зоны РФ за счет применения дронов / Н. В. Шаталова, О. М. Михов, О. В. Бородина // Морские интеллектуальные технологии. – 2021. – № 2-1(52). – С. 137-144. – DOI 10.37220/МІТ.2021.52.2.020.
3. Матюха С. В. Беспилотные авиационные системы в грузоперевозках / С. В. Матюха // Транспортное дело России. – 2022. – № 1. – С. 141-143. – DOI 10.52375/20728689\_2022\_1\_141.
4. Клочкив В. В. Эффективность использования беспилотных летательных аппаратов



- для обеспечения связанности территорий Российской Федерации / В. В. Ключков, А. Е. Карпов, А. И. Тихонов // Вестник Академии знаний. – 2020. – № 37(2). – С. 144-149. – DOI 10.24411/2304-6139-2020-10155.
5. *Гуцевич Д. Е.* Моделирование поведения летательного аппарата самолетного типа с автоматическим управлением в различных режимах полёта / Д. Е. Гуцевич // Математическое моделирование, компьютерный и натурный эксперимент в естественных науках. – 2018. – № 1. – С. 12-23.
  6. *Белый О. В.* Реализация государственной транспортной политики в Арктической зоне РФ / О. В. Белый, В. А. Шамахов, В. С. Кудряшов // Транспорт Российской Федерации. – 2020. – № 3-4(88-89). – С. 3-7.
  7. *Манакова В. А.* Сравнительный анализ методов маршрутизации беспилотных авиационных систем для доставки груза / В. А. Манакова // Системный анализ и логистика. – 2023. – № 4(38). – С. 90-96. – DOI 10.31799/2077-5687-2023-4-90-96.
  8. *Рубцов Е. С.* Создание беспилотной воздушной транспортной системы для доставки грузов в северные и труднодоступные районы России / Е. С. Рубцов, И. О. Полешкина, О. С. Шевелев // XIV Всероссийская мультиконференция по проблемам управления МКПУ-2021 : Материалы XIV мультиконференции в 4 томах, Дивноморское, Геленджик, 27 сентября – 02 2021 года. Том 4. – Ростов-на-Дону - Таганрог: Южный федеральный университет, 2021. – С. 90-93.
  9. *Сироткин А. А.* Беспилотные воздушные грузовые перевозки / А. А. Сироткин, А. И. Кобычева // Актуальные проблемы и перспективы развития гражданской авиации: Сборник трудов XI Международной научно-практической конференции. Посвященной празднованию 100-летия конструкторского бюро «Туполев», 55-летия Иркутского филиала МГТУ ГА, 75-летия Иркутского авиационного технического колледжа, Иркутск, 13–14 октября 2022 года. Том 2. – Иркутск: Иркутский филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет гражданской авиации», 2022. – С. 211-215.
  10. *Салахутдинов И. Т.* Теоретическое устройство автоматизированной системы грузоперевозок на основе беспилотной авиационной системы / И. Т. Салахутдинов // Вопросы устойчивого развития общества. – 2020. – № 4-1. – С. 64-71. – DOI: 10.34755/IROK.2020.48.42.139.
  11. *Ramirez-Atencia C.* Extending QGroundControl for Automated Mission Planning of UAVs / C. Ramirez-Atencia, D. Camacho // Sensors. – 2018. – № 18(7). doi:10.3390/s18072339.
  12. *Miranda V. R. F.* Autonomous Navigation System for a Delivery Drone / V. R. F. Miranda, A. M. C. Rezende, T. L. Rocha, H. Azpúrua, L. C. A. Pimenta, G. M. Freitas // Journal of Control, Automation and Electrical Systems. – 2022. – № 33. – P. 141–155. doi:10.1007/s40313-021-00828
  13. *Yang B.* A Survey on Radio Frequency based Precise Localisation Technology for UAV in GPS-denied Environment / B. Yang, E. Yang // Journal of Intelligent & Robotic Systems. – 2021. – № 103. – 38 p. doi:10.1007/s10846-021-01500-4.
  14. *Xia S.* Constrained Path Planning for Unmanned Aerial Vehicle in 3D Terrain Using Modified Multi-Objective Particle Swarm Optimization / S. Xia, X. Zhang // Actuators. – 2021. – № 10(10). – 16 p. doi:10.3390/act10100255
  15. *Moreira M.* Precision Landing for Low-Maintenance Remote Operations with UAVs / M. Moreira, F. Azevedo, A. Ferreira, D. Pedro, J. Matos-Carvalho, Á. Ramos, R. Loureiro, L. Campos // Drones. – 2021. – № 5(4). – 33 p. doi:10.3390/drones5040103
  16. *Bassolillo S. R.* Path Planning for Fixed-Wing Unmanned Aerial Vehicles: An Integrated Approach with Theta\* and Clothoids / S. R. Bassolillo, G. Raspaolo, L. Blasi, E. D’Amato, I. Notaro // Drones. – 2024. – № 8(2). – 23 p. doi:10.3390/drones8020062.



17. *Badea G. P.* Innovative Hybrid UAV Design, Development, and Manufacture for Forest Preservation and Acoustic Surveillance / G. P. Badea, T. F. Frigioescu, M. Dombrovski, G. Cican, M. Dima, V. Anghel, D. E. Crunteanu // *Inventions*. – 2024. – № 9(2). – 25 p. doi:10.3390/inventions9020039

### **ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ**

**Болотова Александра Ильинична**

Студент

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения  
190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А

E-mail: alexandra.marish@gmail.com

### **INFORMATION ABOUT THE AUTHOR**

**Bolotova Alexandra Ilyinichna**

Student

Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation  
67, Bolshaya Morskaya str., Saint-Petersburg, 190000, Russia

E-mail: alexandra.marish@gmail.com



## ОБЗОР И АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ И ПОДХОДОВ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОД РОССИЙСКИЕ МОБИЛЬНЫЕ ОПЕРАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

**Е. Д. Мишина, Н. И. Синёв**

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

*В статье рассмотрены основные мобильные операционные системы и инструменты, необходимые для работы с ними.*

*Обозначены основные особенности операционных систем и подходы при разработке программного обеспечения для Аврора ОС, РОСА Мобайл, Ред ОС М, Astra Linux Mobile, kvadraOS, были выделены их преимущества и недостатки для оценки перспектив их развития.*

*Ключевые слова: мобильные операционные системы, программирование, Android, Аврора ОС, РОСА Мобайл, Ред ОС М, Astra Linux Mobile, kvadraOS.*

### **Для цитирования:**

*Мишина, Е. Д. Обзор и анализ существующих технологий и подходов при разработке программного обеспечения под российские мобильные операционные системы / Е. Д. Мишина, Н. И. Синёв // Системный анализ и логистика. – 2024. – № 4(42). – с. 13-20. DOI: 10.31799/2077-5687-2024-4-13-20.*

## REVIEW AND ANALYSIS OF EXISTING TECHNOLOGIES AND APPROACHES TO SOFTWARE DEVELOPMENT FOR RUSSIAN MOBILE OPERATING SYSTEMS

**E. D. Mishina, N. I. Sinyov**

St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

*The article considers the main mobile operating systems and the tools required to work with them.*

*The main features of operating systems and approaches in software development for Aurora OS, ROSA Mobile, Red OS M, Astra Linux Mobile, kvadraOS are outlined, their advantages and disadvantages were highlighted to assess the prospects of their development.*

*Keywords: mobile operating systems, programming, Android, Aurora OS, ROSA Mobile, Red OS M, Astra Linux Mobile, kvadraOS.*

### **For citation:**

*Mishina, E. D. Review and analysis of existing technologies and approaches to software development for Russian mobile operating systems / E. D. Mishina, N. I. Sinyov // System analysis and logistics. – 2024. – № 4(42). – p. 13-20. DOI: 10.31799/2077-5687-2024-4-13-20.*

### **Введение**

С 2022 года из-за сложной геополитической обстановки и санкционного давления крупнейшие зарубежные компании начали покидать российский рынок, что вызвало ряд проблем для пользователей, пользующихся телефонами на мобильных операционных системах (ОС) iOS от Apple и Android от Google. Российские пользователи столкнулись с ограниченным доступом к определенным приложениям и сервисам, а также с вопросами защиты данных. Существует вероятность того, что устройства на этих операционных системах могут быть заблокированы в будущем. Кроме того, с каждым годом увеличивается процент населения, пользующегося смартфонами. Эти факторы поспособствовали более интенсивному развитию российских мобильных операционных систем.

### **Анализ рынка мобильных операционных систем РФ**

На данный момент в реестр российского ПО включены следующие мобильные операционные системы общего назначения: Аврора, РОСА МОБАЙЛ, kvadraOS, РЕД ОС М, Astra Linux Common/Special Edition. Рассмотрим технологии и подходы при разработке программного обеспечения для каждого из них.



## ОС Аврора

ОС Аврора — это защищенная отечественная ОС, вокруг которой строится мобильная инфраструктура, устойчивая к санкционным рискам [1, 2].

Разработка российской мобильной операционной системы началась в 2016 году – уже тогда правительство задумывалось об импортозамещении. Операционная система, созданная компанией «Открытая мобильная платформа» на базе финской Sailfish OS, разработана на основе ядра Linux и включает проекты с открытым и закрытым исходным кодом.

Устройствами на операционной системе Аврора пользуются государственные служащие и крупные российские предприятия, что обусловлено ее соответствием всем требованиям регуляторов в области национальной безопасности и защиты информации. ОС Аврора регулярно проходит сертификацию в ФСБ и ФСТЭК, что подтверждает ее высокий уровень защищенности. Среди используемых средств безопасности можно выделить подпись пакетов и модулей ядра, валидацию и изоляцию приложений, контроль целостности, шифрование данных и другие технологии.

В экосистеме Авроры сейчас более 100 мобильных приложений, большая часть из которых — внутренние терминальные программы бизнеса. Однако есть и пользовательские приложения, например, клиент банка ВТБ или МойОфис.

Пользователи устройств на базе ОС Аврора могут загружать приложения из отечественного магазина RuStore. Однако не все приложения, представленные в магазине, совместимы с данной операционной системой.

Для разработчиков программного обеспечения на официальном сайте Авроры представлены Аврора SDK и API документация, а также UI Kit для разработки приложений с графическим интерфейсом.

Аврора SDK — это набор инструментов для создания, сборки, запуска и отладки приложений [1]. Поддерживаются операционные системы Linux, Windows и macOS. В состав Аврора SDK входят:

- Aurora IDE (IDE) — интегрированная среда разработки, основанная на Qt Creator, для написания приложений на языках C, C++ и QML для ОС Аврора с использованием компонентов Sailfish Silica. IDE предоставляет продвинутый редактор кода с интеграцией системы контроля версий, управления проектами и сборками;
- Aurora OS Emulator (эмулятор) — виртуальная машина, которая позволяет выполнять приложения в окружении ОС Аврора аналогично работе на физических мобильных устройствах;
- Aurora OS Build Engine (среда сборки) — окружение, которое обеспечивает среду для сборки приложений, не зависящую от домашней операционной системы.

Также разработчикам предоставляются руководства и примеры приложений для ОС Аврора с открытым исходным кодом.

Чтобы использовать всю мощь операционной системы и поддержку производителя по всем вопросам при разработке программного обеспечения, рекомендуется применять нативные инструменты.

В ОС Аврора основным инструментом для разработки приложений является фреймворк Qt версии 5.6, который предоставляет единообразные API для широкого спектра функций устройства. Важно отметить, что Qt не является самостоятельным языком программирования, а представляет собой фреймворк, написанный на языке C++. Хотя Qt является кроссплатформенным по своей природе, в контексте ОС Аврора он рассматривается как нативный инструмент. В основе фреймворка лежит сам Qt и технология Qt Meta Language (QML), использующая JavaScript (JS) для описания интерфейсов, что обеспечивает удобство и гибкость при создании пользовательских интерфейсов. Помимо основных модулей Qt, в Аврора ОС используются дополнительные модули, такие как Qt Maps, Qt Sensors и Qt Contacts.



Мобильные инженеры применяют кроссплатформенные фреймворки для создания приложений, которые выглядят и функционируют почти как нативные на различных платформах, используя единую кодовую базу. Главным преимуществом такого подхода является возможность повторного использования кода, что позволяет существенно экономить время и ускоряет процесс разработки, так как нет необходимости писать отдельный код для каждой операционной системы.

К кроссплатформенным технологиям, с которыми официально работает компания «Открытая мобильная платформа» для создания программного обеспечения, относятся Flutter от Google и Kotlin Multiplatform от JetBrains.

Flutter позволяет создавать приложения на разных платформах, используя язык программирования Dart для написания кода. Flutter использует свой движок рендеринга для создания пользовательского интерфейса в своей основе, позволяя разработчикам создавать приложения с нативным внешним видом на нескольких платформах.

В отличие от этого, Kotlin Multiplatform (КМП) сосредотачивается на общем коде на Kotlin для различных платформ. КМП не имеет собственного движка рендеринга, вместо этого фокусируется на общем коде, позволяя совместно использовать бизнес-логику на разных платформах, сохраняя возможность создания уникального пользовательского интерфейса для каждой из них.

Flutter SDK не содержит в своем основном пакете поддержку операционной системы Аврора и данная платформа не доступна в официальной сборке Flutter [3]. Однако для разработки программного обеспечения компания ОМП выпустила специальный набор инструментов на основе Flutter SDK, который включает в себя:

- Документация по установке и использованию.
- Платформено-зависимые (требующие реализации под конкретную платформу) плагины.
- Приложение «Flutter example packages».
- Приложение «Flutter ToDo» портированное на ОС Аврора.

Для обеспечения совместимости с ОС Аврора, компания ОМП разрабатывает специальные плагины. Примером их функционирования служит приложение «Flutter example packages». На данный момент доступно двенадцать платформено-зависимых плагинов для ОС Аврора. Кроме того, в рамках приложения также проводится проверка платформено-независимых пакетов на совместимость. Эти пакеты зависят от версии Flutter и Dart и могут иметь зависимости, которые могут конфликтовать между собой.

На базе операционной системы Аврора можно запустить приложение через компонент QML WebView, который поставляется вместе с ОС Аврора и основан на Kotlin Multiplatform JS. В настоящее время отсутствует нативная поддержка Kotlin Multiplatform для данной операционной системы [4]. Однако, если у разработчика уже имеется готовое приложение, написанное с использованием КМП, оно может быть портировано на ОС Аврора. Для портирования КМП-приложения на платформу ОС Аврора необходимо, собрать общий модуль КМП в виде NPM-пакета с помощью плагина Gradle, создать проект приложения на Qt/QML с использованием Аврора SDK, добавить QML-компонент на основе WebView, создать JavaScript-библиотеку Wrapper для работы с асинхронными функциями из QML без модификации общего модуля КМП, и разработать пользовательский интерфейс для ОС Аврора с использованием бизнес-логики Kotlin Multiplatform. Также возможно создание нового приложения с использованием Kotlin Multiplatform JS специально под ОС Аврора.

Веб-приложение под ОС Аврора - нативное приложение, которое использует компоненты WebView для открытия ссылок веб-порталов. Поэтому разрешение, запрашиваемое веб-приложением, точно такие же как у нативного приложения.

Работа через веб-приложение, а не через браузер, имеет следующие отличия. Пользователь взаимодействует только с предоставленным веб-сервисом, что позволяет



блокировать браузер, при этом веб-приложения продолжают функционировать. Также возможна интеграция с нативным кодом у веб-приложения. Однако, есть некоторые минусы:

- Ограниченные возможности использования нативных функций мобильного устройства.
- Прямая зависимость от работоспособности веб-сайта.
- Низкий уровень безопасности.

Фреймворк WebView обеспечивает простой и гибкий способ предоставления доступа к веб-страницам и веб-сайтам в приложение. Компонент WebView использует движок браузера ОС Аврора, созданный с помощью Mozilla gecko.

## **РОСА МОБАЙЛ**

РОСА Мобайл - российская мобильная операционная система, разработанная на основе ядра Linux [2].

Операционная система разработана на основе собственного репозитория Rosa 2021.1, входящего в десятку ведущих мировых Linux-репозиториях по количеству предоставляемых пакетов. Пользовательский интерфейс РОСА Мобайл разработан на базе открытой и бесплатной платформы KDE Plasma Mobile. Данная платформа использует мобильную редакцию рабочего стола Plasma 5, библиотеки KDE Frameworks 5, стек телефонии ModemManager и коммуникационный фреймворк Telepathy. Мобильные приложения используют компоненты из набора Plasma Mobile Gear, основанные на библиотеке Qt, компонентном наборе MauiKit и фреймворке Kirigami [5]. Это позволяет создавать универсальные интерфейсы для разных устройств.

Одной из ключевых особенностей архитектуры данной ОС является ее независимость от закрытых компонентов операционной системы Android, что обеспечивает высокий уровень безопасности использования мобильных устройств и открывает новые перспективы для разработки защищенных систем.

РОСА Мобайл базируется на единой платформе компании, охватывающей операционные системы для широкого спектра устройств, включая компьютеры. Это позволяет нативным приложениям стать универсальными, поскольку они используют единый бэкенд для всех устройств.

В РОСА Мобайл предусмотрен магазин приложений RosaStore для нативных приложений, созданных специально для этой операционной системы. Благодаря эмулятору платформа позволяет запускать и Android-приложения, но без сервисов Google.

Для стимулирования разработки приложений компания разработки операционной системы «НТЦ ИТ РОСА» планирует в 2024 году предложить разработчикам программного обеспечения набор инструментов для визуальной разработки UI Kit, который будет содержать все необходимые компоненты для создания приложений для РОСА Мобайл. Разработка приложений предполагается на языках C++ и Python в графическом окружении Qt с помощью Qt Creator – свободной IDE для разработки на C, C++, JavaScript и QML.

Также будут выпущены средства сборки и тестирования приложений. На данный момент разработчикам приложений уже переданы тестовые варианты устройств, но в скором времени будет предложен и программный эмулятор для отладки кода без установки его на устройство. Приложения для нового устройства можно перенести с настольной версии «РОСА Хром», адаптировав интерфейс под маленький экран и управление касанием.

## **РЕД ОС М**

Мобильная операционная система РЕД ОС М представляет собой многопользовательскую и многозадачную платформу, обеспечивающую унифицированную функциональную и универсальную доверенную среду для выполнения прикладного программного обеспечения [2, 6].



Среда разработки для мобильных приложений операционной системы РЕД ОС М функционирует на базе операционных систем, использующих ядро Linux. РЕД ОС М содержит в себе компонент режима рабочего стола настольной ОС (РЕД ОС).

Мобильный интерфейс представлен в виде Android Launcher, обеспечивающего доступ к мобильным приложениям через стандартный формат APK (Android Package Kit), который является стандартным форматом для Android и других операционных систем, основанных на Android [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**].

Дополняя мобильный интерфейс, настольная часть РЕД ОС М представлена средой рабочего стола Mate. Этот интерфейс создает привычную для пользователей настольных компьютеров среду и поддерживает установку и запуск настольных приложений в формате RPM. Таким образом, пользователи могут взаимодействовать с программами, которые привычны для настольных операционных систем.

Для получения доступа к среде разработки приложений необходимо зарегистрироваться в реестре партнёров-разработчиков мобильных приложений компании «Ред Софт».

### **Astra Linux Mobile**

Astra Linux Mobile — это не отдельная операционная система, а адаптированный для мобильных устройств дистрибутив Astra Linux Special Edition. Производитель ОС — ООО «РусБИТех-Астра».

Astra Linux Common Edition — универсальная ОС для повседневного использования, а Astra Linux Special Edition — сертифицированная ОС с инструментами обеспечения конфиденциальности данных.

ОС Astra Linux имеет единый графический интерфейс для всех устройств, подходящий для сенсорных экранов. Мобильный режим операционной системы отличается новым графическим интерфейсом, адаптированным для сенсорных экранов, пониженным энергопотреблением, интегрированными российскими средствами защиты информации и возможностью запускать не модифицированные приложения для Android в изолированной среде.

Экосистема Astra Linux включает более 300 совместимых программных продуктов и постоянно расширяется в рамках программы Ready For Astra Linux. Репозиторий содержит более 20.000 пакетов, а также имеется открытое API для сторонних разработчиков.

Для разработки программного обеспечения необходимо использовать персональный компьютер с установленной операционной системой Astra Linux Special Edition. Данная ОС предоставляет комплексный набор инструментов, необходимых для создания мобильных приложений, обеспечивая оптимальную среду для разработчиков. В число основных инструментов входят интегрированная среда разработки QtCreator, язык программирования C/C++ и инструменты рабочего стола Fly. Для оформления мобильного приложения в стиле Fly рекомендуется использовать библиотеку компонентов QML, доступную в пакете «fly-qml-components» [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**].

### **kvadraOS**

Разработчиком kvadraOS является компания Yadro, специализирующаяся на производстве вычислительной техники [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**]. Данная операционная система создана на основе бесплатного и открытого проекта Android Open Source Project (AOSP), но без Google-сервисов Google Mobile Service (GMS).

Представитель Yadro отметил, что в процессе разработки kvadraOS все компоненты AOSP были существенно модифицированы. Для разработки kvadraOS была использована открытая среда разработки Open Source SDK, однако в будущем Yadro планирует создать собственные инструменты разработки [10].

Yadro работает над двумя версиями своей мобильной операционной системы: Enterprise, предназначенной для корпоративных клиентов, и Indigo, нацеленной на частных



пользователей. Версия kvadraOS Enterprise предоставляет возможности для централизованного управления устройствами и включает специализированное ПО для бизнеса. В настоящее время ведутся тестирование и интеграция программного обеспечения совместно с их разработчиками.

kvadraOS совместима с широким кругом устройств и программ, в том числе, в нее интегрирован магазин приложений RuStore.

Соберем все данные о системах и представим в виде таблицы. Полученные результат представлен в

Таблица 1.

Таблица 1 – Сравнение особенностей российских мобильных ОС

ОС	Аврора ОС	РОСА Мобайл	ПЕД ОС М	Astra Linux Mobile	kvadraOS
Хар-ки					
Основано	Linux	Linux	AOSP	Linux	AOSP
Основной стек разработки	C++/Qt/QML	C/C++/Qt	Java, Kotlin	C/C++/Qt	Java, Kotlin, Qt
Основная среда разработки (IDE)	Qt Creator Aurora IDE (на основе Qt Creator)	Qt Creator	JetBrains IDE	Qt Creator	JetBrains IDE
Дополнительные технологии	Kotlin, Flutter, Rust, Go, Python	Kotlin	Частично Qt	Kotlin, Rust, Go, Python	-
Средства распространения приложений	Rpm пакет, Аврора Маркет, RuStore	Пакеты, Роса Маркет	Apk файлы, Rpm пакет, RuStore, HMS	Linux пакеты, самописные магазины	Apk файлы, RuStore
Требуемая ОС для разработки ПО	Linux, Windows, macOS	Linux, Windows, macOS	Linux, ПЕД ОС	Astra Linux Special Edition	Linux, Windows, macOS
Документация	Открытая	Закрытая	Открытая	Открытая	Закрытая
Сообщество разработчиков	Многочисленное	Немногочисленное	Немногочисленное	Немногочисленное	Немногочисленное
Модель распространения ОС	Только с устройством	Только с устройством, свободная установка	Только с устройством	Только с устройством, свободная установка	Только с устройством
Сегменты рынка	B2B, B2C	B2B	B2B	B2B, B2C	B2B, B2C

Среди данных мобильных операционных систем наиболее выделяющимися и широко используемыми на российском рынке на данный являются Аврора ОС и РОСА Мобайл.

Аврора ОС имеет долгую историю на рынке и заслужила доверие как со стороны государства, так и многих коммерческих организаций. В частности, в 2021 году для проведения переписи населения использовались планшеты на базе Аврора ОС, что подчеркивает её надежность и функциональность. Также РЖД перевел рабочие устройства проводников на эту ОС, что свидетельствует о высоком уровне доверия к продукту. Сообщество разработчиков Аврора ОС является одним из самых крупных и активных на рынке, что положительно влияет на ее развитие.

РОСА Мобайл, несмотря на своё недавнее появление на рынке, уже успела зарекомендовать себя как перспективный и значимый участник индустрии. Система обладает крупной экосистемой и обеспечивает удобное взаимодействие между различными устройствами. Это делает её привлекательной для широкого круга пользователей и разработчиков.

Остальные операционные системы так же представлены, но не имеют на данный момент



такого широкого распространения или не готовы к обычному потребительскому рынку.

Следует отметить, что разработка программного обеспечения для всех рассмотренных ОС очень схожа, а именно на каждой из ОС можно писать и отлаживать ПО с помощью C/C++ и фреймворка Qt, в том числе и для kvadraOS и РЕД ОС М, если использовать для неё специальную сборку для Qt для работы с Android. Однако, в рабочем графическом окружении kvadraOS, Аврора ОС и РОСА Мобайл есть специальная надстройка, которая автоматически предоставляет разработчику адаптированные графические элементы системы для приложений, что значительно упрощает разработку программного обеспечения.

Так же не маловажную роль играет то, что на Аврора ОС, РЕД ОС М и kvadraOS уже появился российский магазин приложений RuStore, который позволит использовать проверенные и одобренные приложения от российских и зарубежных разработчиков; санкционные приложения, которые по тем или иным причинам были удалены из официальных магазинов. В совокупности, это все только повысит привлекательность устройств для потребителя и поспособствует более широкому распространению техники, которая работает под управлением этих операционных систем.

### **Заключение**

В данной статье были рассмотрены основные мобильные российские операционные системы и инструмент, необходимые для работы с ними. Обозначены основные особенности этих ОС и подходы при разработке программного обеспечения для каждого из них.

В результате получилось, что под все операционные системы можно разрабатывать кросс-платформенное ПО на C/C++ с использованием фреймворка Qt, с той лишь разницей, что у Аврора ОС, РОСА Мобайл и kvadraOS в окружении ОС существует своя надстройка над визуальной графической составляющей, которая позволяет писать графическую часть программного обеспечения уже подготовленную для работы с ОС из среды разработки, что сказывается на упрощении разработки. В остальных же случаях – разработчику нужно будет дополнительно адаптировать работу интерфейса пользователя для работы в графическом окружении мобильной ОС.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. *Чувиллин К.* Проекты с открытым исходным кодом как основа передачи компетенций разработчикам приложений для ОС Аврора / К. Чувиллин // Объединённая конференция "СПО: от обучения до разработки": Сборник тезисов конференции, Переславль-Залесский, 19–22 мая 2022 года. – Москва: ООО "МАКС Пресс", 2022. – С. 158-161.
2. *Ковцур М. М.* Исследование современных отечественных мобильных операционных систем и приложений / М. М. Ковцур, Е. В. Коренюгин, М. В. Яссер // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании : Сборник научных статей XIII Международной научно-технической и научно-методической конференции в 4 т., Санкт-Петербург, 27–28 февраля 2024 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, 2024. – С. 445-449.
3. *Дейч В. С.* Инструменты для кроссплатформенной разработки мобильных приложений / В. С. Дейч // Академическая наука на службе обществу и государству : Сборник статей III Международного научно-исследовательского конкурса, Петрозаводск, 15 ноября 2023 года. – Петрозаводск: Международный центр научного партнерства "Новая Наука", 2023. – С. 86-94.
4. Хабр: Kotlin Multiplatform в ОС Аврора [Электронный ресурс]. – URL: <https://habr.com/ru/articles/753570/> (дата обращения: 09.06.2024).
5. РОСА Мобайл. Операционная система РОСА Мобайл на базе KDE Plasma Mobile [Электронный ресурс]. – URL: <https://opennet.ru/59467-rosa> (дата обращения:



- 09.06.2024).
6. РЕД СОФТ: Мобильная операционная система «РЕД ОС М» [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.red-soft.ru/ru/content/redos-m> (дата обращения: 09.06.2024).
  7. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023619335 Российская Федерация. Мобильная операционная система "РЕД ОС М": № 2023615336 : заявл. 21.03.2023 : опубл. 10.05.2023 / В. А. Комлев, Н. А. Самофатов, К. Е. Веселкин; заявитель Общество с ограниченной ответственностью "Ред Софт".
  8. *Воронин К. Д.* Возможности для разработки мобильных приложений под ос Astra Linux Special Edition / К. Д. Воронин // Вестник науки. – 2024. – Т. 3, № 4(73). – С. 390-395.
  9. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023668990 Российская Федерация. Мобильная операционная система "kvadraOS": № 2023667981: заявл. 31.08.2023: опубл. 06.09.2023; заявитель Общество с ограниченной ответственностью "КНС ГРУПП".
  10. Хабр: Yadro представила операционную систему kvadraOS [Электронный ресурс]. – URL: <https://habr.com/ru/news/814919/> (дата обращения: 09.06.2024).

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

#### **Мишина Елизавета Дмитриевна**

Бакалавр третьего года обучения

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А

E-mail: [liz.mishina20@yandex.ru](mailto:liz.mishina20@yandex.ru)

#### **Синёв Николай Иванович**

Старший преподаватель, младший научный сотрудник

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А

E-mail: [nikolay.sinyov@guap.ru](mailto:nikolay.sinyov@guap.ru)

### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

#### **Mishina Mariya Vladimirovna**

Student

Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

67, Bolshaya Morskaia str., Saint-Petersburg, 190000, Russia

E-mail: [liz.mishina20@yandex.ru](mailto:liz.mishina20@yandex.ru)

#### **Sinyov Nikolay Ivanovich**

Senior lecturer, Junior researcher

Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

67, Bolshaya Morskaia str., Saint-Petersburg, 190000, Russia

E-mail: [nikolay.sinyov@guap.ru](mailto:nikolay.sinyov@guap.ru)



## СИНТЕЗ ПУТЕВОГО УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА МЕТОДОМ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ

**М. Б. Алесов, Ф. А. Бондаренко**

АО «Раменское приборостроительное конструкторское бюро»

*Рассматривается задача синтеза путевого управления траекторным движением летательного аппарата (ЛА) при непосредственном наведении на целевую навигационную точку. Основным способом решения является предварительное задание эталонного описания разности текущего углового положения и функции требуемого направления в рамках метода обратной задачи динамики. Рассматриваются уравнения горизонтального движения ЛА в прямоугольной и полярной системах координат. Для учёта ограничения функции управления (угла крена) используется нелинейное звено «насыщения». В статье представлены численные примеры синтеза управления и моделирования движения ЛА, иллюстрирующие работоспособность описанных алгоритмов.*

*Ключевые слова: синтез траекторного управления летательными аппаратами, способ путевого управления движением, полярная система координат, метод обратной задачи динамики, ограничение функции управления.*

### **Для цитирования:**

*Алесов, М. Б. Синтез путевого управления движением летательного аппарата методом обратной задачи / М. Б. Алесов, Ф. А. Бондаренко // Системный анализ и логистика. – 2024. – № 4(42). – с. 21-34. DOI: 10.31799/2077-5687-2024-4-21-34.*

## SYNTHESIS OF AIRCRAFT PATHING MOVEMENT CONTROL WITH INVERSE PROBLEM METHOD

**M. B. Alesov, F. A. Bondarenko**

«Ramenskoye Instrument-Building Design Bureau» Corp

*The synthesis of aircraft pathing movement control with direct guidance to the target navigation point is considered. The basic solution method is to preset a reference description of the difference between the current angular position and the function of the required direction in the frame-work the inverse dynamics problem method. Equations of horizontal motion of an aircraft in rectangular and polar coordinate systems are considered. To account of the limitation of the control function (roll angle), a nonlinear "saturation" function is used. The article presents numerical examples of control synthesis and modeling of aircraft motion, illustrating the availability of the described algorithms.*

*Keywords: synthesis of trajectory control of aircraft, method of pathing control, polar coordinate system, inverse problem method, restriction of control function.*

### **For citation:**

*Alesov, M. B. Synthesis of aircraft pathing movement control with inverse problem method / M. B. Alesov, F. A. Bondarenko // System analysis and logistics. – 2024. – № 4(42). – p. 21-34. DOI: 10.31799/2077-5687-2024-4-21-34.*

### **Введение**

Путевой способ управления летательным аппаратом (ЛА), заключающийся в стабилизации направления на целевую навигационную точку (ЦТ), является одним из важных алгоритмических элементов пилотажно-навигационного обеспечения ЛА.

В зависимости от того, какой угол горизонтального углового положения ЛА (угол курса или путевой угол) указывается в качестве заданного направления, выделяют две стандартные воздушные операции. При использовании в качестве опорного направления угла курса операция носит название «Заданный курс на навигационную точку», или, кратко, «Курс на ...». При использовании путевого угла операцию называют «Заданный путевой угол на навигационную точку», или «Путевой угол на ...». Для кодирования процедур маневрирования согласно спецификации ARINC 424 "Navigation system data base» такие стандартные участки траектории ЛА имеют, соответственно, обозначения DF (Direct to Fix) и CF (Course to Fix).



При выполнении полётного задания в качестве целевой навигационной точки могут выступать: активный поворотный пункт маршрута (ППМ) или активная контрольная точка манёвра (КТМ).

Поскольку управляемыми параметрами являются угловые характеристики ЛА и направление задаётся на целевую навигационную точку, то представляется вполне обоснованным использовать полярную систему координат при описании модели горизонтального движения ЛА. Если, к тому же, целевая точка совпадает с положением VOR и/или DME маяка, то полярные координаты (радиальная дальность, полярный угол – азимут на ЛА) являются не только выходными комплексными, но и измеряемыми характеристиками текущего положения ЛА.

Данная работа посвящена решению задачи наведения ЛА, учитывающей значительные угловые отклонения ЛА от заданного направления и постоянное ветровое воздействие. При синтезе управления используется метод обратной задачи динамики с учетом ограничения на величину функции управления, при этом в качестве управляющего воздействия используется значение угла крена ЛА.

Вопросы синтеза управления динамическими системами методом обратной задачи без учета ограничений на управление изложены в работах Бойчука Л.М. [1], Крутько П.Д. [2], Фурунжиева Р.И. и др. [3]. Методы учета ограничений при синтезе управления динамическими системами рассмотрены в работах Колесникова А.А. [4], Павловского В.Е., Савицкого А.В. [5].

### 1. Задача путевого траекторного управления и модель движения ЛА

На рисунке 1 показана структурная схема системы регулирования путевого движения ЛА, включающая: объект управления (модель движения ЛА), задатчик угла (определяющий требуемые характеристики направления) и регулятор (реализующий закон путевого управления).

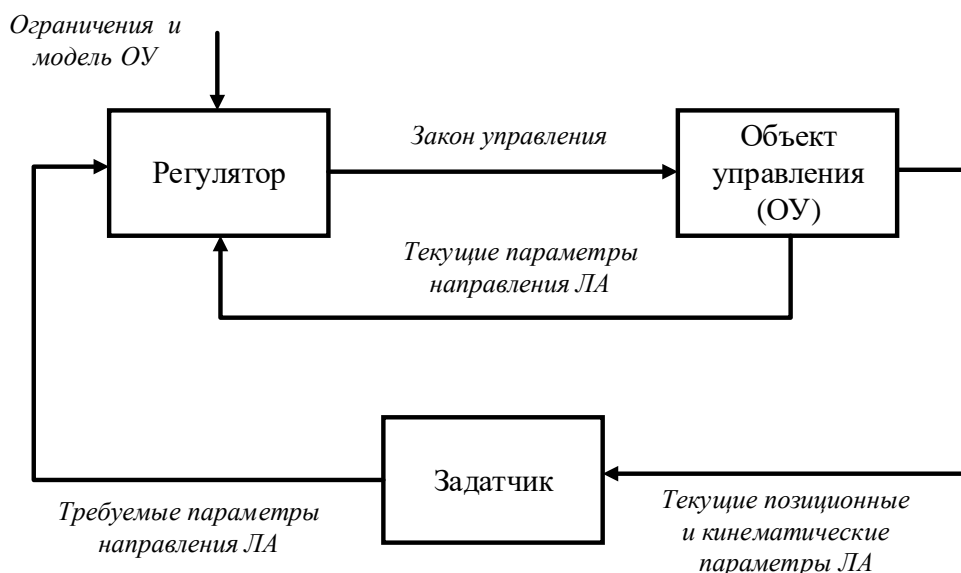


Рис. 1. Структурная схема системы регулирования путевого движения ЛА

При описании движения ЛА и задании характеристик направления используются следующие локальные (топоцентрические) системы координат.

Прямоугольная система координат (NUE) располагается в целевой точке с геодезическими координатами  $(\varphi_0, \lambda_0)$  и определённой высотой, ось X направлена по меридиану на север (N), ось Y направлена нормально к эллипсоиду вверх (Up), ось Z дополняет



систему до правой и направлена на восток ( $E$ ). Текущее горизонтальное положение ЛА в прямоугольной системе координат определяется горизонтальными координатами ( $X, Z$ ). Направление движения ЛА относительно воздуха задаётся углом курса  $\psi$ , а относительно земной поверхности – путевым углом  $P$ . Углы отсчитываются, как принято в авиации, от направления на север, с положительным значением по часовой стрелке.

Локальная полярная система координат располагается в целевой точке и образована осью увеличения горизонтальной дальности  $R$  (радиальным лучом) и осью увеличения полярного угла  $\zeta$  (положительное направление отсчёта угла – по часовой стрелке от направления на север). Текущее положение ЛА в полярной системе координат определяется координатами ( $R, \zeta$ ) – радиальной дальностью и полярным углом. Характеристиками направления являются: относительный полярный угол курса  $A$  и относительный полярный путевой угол ЛА  $\Lambda$ , отсчитываемые от текущего радиала с положительным направлением по часовой стрелке.

На рисунке 2 показаны используемые системы координат и характеристики направления в горизонтальной плоскости. Векторы воздушной, путевой скорости и скорости ветра обозначены соответственно как  $\vec{V}$ ,  $\vec{W}$ ,  $\vec{U}$ .

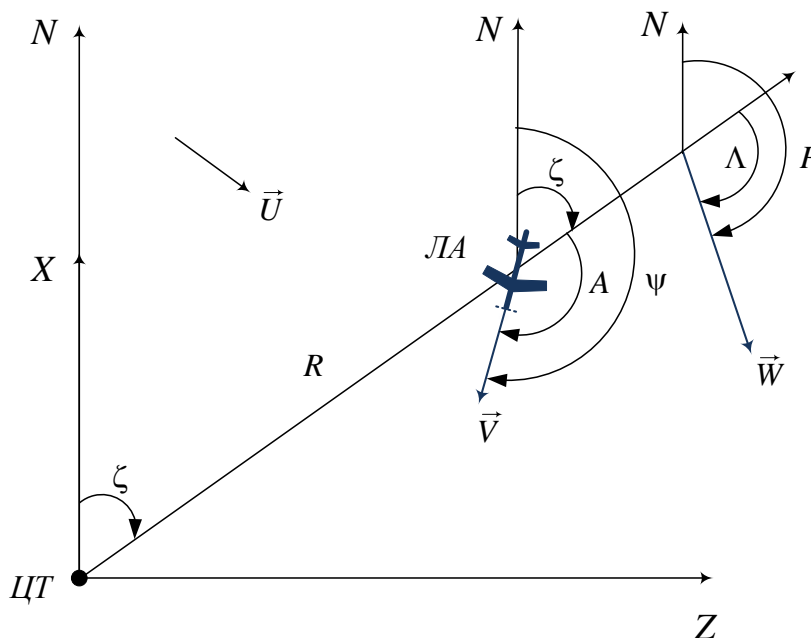


Рис. 2. Используемые системы координат и характеристики направления

Движение объекта управления (ЛА) при траекторном маневрировании в прямоугольной системе координат описывается тремя дифференциальными уравнениями относительно переменных состояния  $X, Z$  и  $\psi$  [6]:

$$\frac{dX}{dt} = V \cos \psi + U_x, \quad \frac{dZ}{dt} = V \sin \psi + U_z, \quad \frac{d\psi}{dt} = \frac{g}{V} \tan \gamma, \quad (1)$$

где  $X, Z$  – позиционные координаты «север - восток», м;  $t$  – время, с;  $\psi$  – угол курса, радианы;  $V$  – истинная воздушная скорость ЛА, м/с;  $U_x, U_z$  – соответствующие составляющие скорости ветра, м/с;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $\gamma$  – угол крена ЛА, радианы.

Для регулирования направления движения ЛА используется только третье уравнение



описания движения (1), первые два уравнения применяются при моделировании и расчёте текущих параметров движения.

Движение ЛА в полярных координатах относительно целевой точки описывается системой трёх дифференциальных уравнений с переменными состояния  $R$ ,  $\zeta$  и  $A$ :

$$\frac{dR}{dt} = V \cos A + U_R, \quad \frac{d\zeta}{dt} = \frac{V}{R} \sin A + \frac{U_\zeta}{R}, \quad \frac{dA}{dt} = \frac{g}{V} \operatorname{tg} \gamma - \frac{V}{R} \sin A - \frac{U_\zeta}{R}, \quad (2)$$

где  $R$  – горизонтальная (радиальная) дальность до ЛА от центра системы, м;  $\zeta$  – текущий полярный угол расположения ЛА, радианы;  $A$  – относительный угол курса ЛА, радианы;  $U_R$ ,  $U_\zeta$  – радиальная и тангенциальная составляющие скорости ветра соответственно, м/с.

Как и в случае прямоугольной системы (1) для регулирования направления движения ЛА используется только третье уравнение описания движения (2), первые два уравнения применяются при моделировании и расчёте текущих параметров движения.

Обычно вектор скорости ветра  $\vec{U}$  задаётся своей величиной (модулем)  $U$  и метеорологическим направлением ветра  $\psi_B$ . Компоненты скорости ветра для уравнений движения (1), (2) рассчитываются как

$$U_x = -U \cos \psi_B, \quad U_z = -U \sin \psi_B; \\ U_R = U_x \cos \zeta + U_z \sin \zeta, \quad U_\zeta = U_z \cos \zeta - U_x \sin \zeta.$$

На функцию управления (тангенс угла крена) накладывается постоянное ограничение по величине

$$|\sigma(t)| \leq \sigma_0, \quad (3)$$

где  $\sigma_0 = \operatorname{tg} \gamma_0$  – заданное максимальное значение функции управления;  $\gamma_0$  – максимально допустимое значение угла крена при манёвре, радианы.

Для непосредственного ограничения управления используется нелинейный элемент «насыщение» с симметричным ограничением  $\sigma_0 > 0$  вида

$$G_{\sigma_0}(\sigma) = \begin{cases} \sigma, & |\sigma| \leq \sigma_0, \\ \sigma_0 \operatorname{sign}(\sigma), & |\sigma| > \sigma_0, \end{cases} \quad (4)$$

или его гладкие аппроксимации

$$G_{\sigma_0}^{(1)}(\sigma) = \frac{2\sigma_0}{\pi} \operatorname{arctg}(b\sigma), \quad G_{\sigma_0}^{(2)}(\sigma) = \sigma_0 \operatorname{th}(b\sigma), \quad (5)$$

где  $b$  – параметр крутизны функции «насыщения».

Таким образом, задача заключается в синтезе управления объектом, движение которого описывается уравнениями (1) или (2), для перемещения из точки пространства состояния  $(X, Z, \psi)$  или  $(R, \zeta, A)$  в конечную точку со значениями переменных  $(X, Z) = (0, 0)$  или  $R = 0$ . При этом в качестве функции управления используется ограниченное значение угла крена (3), а разность требуемых  $y_0 \in \{\psi_0, P_0, A_0, \Lambda_0\}$  и текущих  $y \in \{\psi, P, A, \Lambda\}$  параметров направления должна удовлетворять выбранному дифференциальному уравнению  $E[y_0 - y(\sigma)] = 0$ .



## 2. Расчёт характеристик направления

Характеристиками направления ЛА, по которым в регуляторе (см. рисунок 1) рассчитывается управляющее воздействие, являются задаваемые и текущие углы курса, а также задаваемые и текущие путевые углы ЛА. В зависимости от используемой системы координат их значения отсчитываются от фиксированного направления на север (прямоугольная система) или от направления радиала (луча, проведённого из целевой точки, полярная система).

### 2.1) Задаваемые углы ЛА

Расчёт требуемого угла курса в задатчике (см. рисунок 1) выполняется по текущей позиции ЛА относительно целевой точки. Обычно бортовая навигационная система ЛА обеспечивает потребителей и, в частности, систему траекторного управления текущими геодезическими координатами ЛА на общеземном эллипсоиде. Метод расчёта прямоугольных координат ЛА в топоцентрической системе целевой точки по геодезическим координатам дан в ГОСТ 51794-2008 «Методы преобразования координат определяемых точек».

Значение заданного угла курса  $\psi_0$  изменяется в процессе движения ЛА и определяется в локальной прямоугольной системе координат целевой точки как

$$\psi_0 = \operatorname{arctg} \frac{-Z}{-X}. \quad (6)$$

Здесь функция арктангенса имеет область значений во всём диапазоне изменения угла курса  $(-\pi, \pi]$  и учитывает знаки числителя и знаменателя входного аргумента.

При значительном расстоянии от ЛА до целевой точки величина требуемого курса определяется из решения обратной геодезической задачи по формуле сферической тригонометрии

$$\psi_0 = \operatorname{arctg} \frac{\cos \varphi_0 \sin(\lambda_0 - \lambda)}{\cos \varphi \sin \varphi_0 - \sin \varphi \cos \varphi_0 \cos(\lambda_0 - \lambda)}, \quad (7)$$

где  $(\varphi_0, \lambda_0)$  – геодезические координаты целевой точки, радианы;  $(\varphi, \lambda)$  – текущие геодезические координаты ЛА, радианы.

При повышенных требованиях к точности допустимо рассчитывать заданное направление курса на сфероиде по формулам Каврайского В.В., Гаусса К.Ф., Бесселя Ф.В., Vincenty Т. [7].

Поскольку заданный угол курса непрерывно пересчитывается, то следует учитывать его скорость, продифференцировав уравнение (6). В результате получим

$$\frac{d\psi_0}{dt} = W_Z \frac{X}{R^2} - W_X \frac{Z}{R^2}, \quad (8)$$

где  $W_Z, W_X$  – составляющие путевой скорости в прямоугольной системе координат, м/с;  
 $R = \sqrt{X^2 + Z^2}$  – горизонтальная дальность от ЛА до целевой точки, м.

При движении на целевую точку с заданным путевым углом значение требуемого путевого угла совпадает с расчётным значением курса, т.е.  $P_0 = \psi_0$ , и, кроме того, угловые скорости также принимаются равными  $\frac{dP_0}{d\tau} = \frac{d\psi_0}{dt}$ .

При описании движения в полярных координатах требуемое значение относительного полярного угла  $A_0$  постоянно и равно  $\pi$ . При этом, чтобы не применять методы «развёртывания фазы», представляется обоснованным полагать, что относительный угол



курса  $A$  изменяется в пределах  $[0, 2\pi)$ . Точно также, значение заданного относительного путевого угла  $\Lambda_0$  полагают равным  $\pi$ .

## 2.2) Текущие углы ЛА

При формировании сигнала управления направлением ЛА в регуляторе используются текущие комплексные значения угла курса  $\psi$  и путевого угла  $P$ , непосредственно предоставляемые бортовым пилотажно-навигационным комплексом ЛА.

При использовании уравнения движения в полярной системе координат значение текущего относительного угла курса рассчитывается как

$$A = \psi - \operatorname{arctg} \frac{Z}{X}. \quad (9)$$

Полярный путевой угол при наличии текущих прямоугольных координат ЛА вычисляется по формуле как

$$\Lambda = P - \operatorname{arctg} \frac{Z}{X}. \quad (10)$$

Полярный путевой угол при использовании полярных характеристик рассчитывается как

$$\Lambda = \operatorname{arctg} \frac{V \sin A + U_{\zeta}}{V \cos A + U_R}. \quad (11)$$

## 3. Синтез функции управления

В соответствии с методом обратной задачи динамики управление выбирается исходя из требования минимизации эталонного уравнения разности требуемого и текущего состояний системы, при этом функционал качества управления записывается как [8]

$$J(\sigma) = \frac{1}{2} \{E_n[y_0 - y(\sigma)]\}_{|\sigma| \leq \sigma_0}^2 \rightarrow \min, \quad (12)$$

где  $y_0(t)$  – функция требуемого состояния объекта управления (угол курса, путевой угол);  $y(t; \sigma)$  – функция текущего состояния объекта управления, зависящая от управления;  $E_n(\Delta y)$  – дифференциальное эталонное выражение  $n$ -го порядка вида

$$E_n(\Delta y) = \frac{d^n \Delta y}{dt^n} + \sum_{j=0}^{n-1} a_j \frac{d^j \Delta y}{dt^j}; \quad (13)$$

$\Delta y(t) = y_0(t) - y(t; \sigma)$  – функция разности переменных состояния;  $a_j$  – коэффициенты линейного дифференциального выражения ( $j = 0, \dots, n-1$ ).

В рассматриваемой задаче ограничимся эталонными выражениями первого порядка ( $n = 1$ ), тогда дифференциальное выражение имеет вид

$$E_1(\Delta y) = \frac{d\Delta y}{dt} + \frac{1}{T} \Delta y, \quad (14)$$

где  $T$  – постоянная времени, с.

Выбор значения постоянной времени  $T$  определяется соображениями допустимой временной задержки используемого апериодического звена первого порядка и частотой среза



$\sim \frac{1}{T}$  фильтра низких частот для входной информации.

Эталонное уравнение первого порядка (14) для углового движения относительно угла курса записывается как

$$\frac{d(\psi_0 - \psi)}{dt} + \frac{1}{T}(\psi_0 - \psi) = 0, \quad (15)$$

где  $\psi_0$  – заданное значение угла курса, определяемое по формуле (6), (7);  $\psi$  – текущее значение угла курса ЛА.

Выражение критерия (12) с учётом (1) запишется в виде

$$J(\sigma) = \frac{1}{2} \left[ \frac{d\psi_0}{dt} - \frac{g}{V} \sigma + \frac{1}{T} (\psi_0 - \psi) \right]_{|\sigma| \leq \sigma_0}^2 \rightarrow \min, \quad (16)$$

причём функция управления  $\sigma$  входит в выражение аргумента квадратичной функции линейно. В этом случае минимальное значение критерия (16) с учётом ограничения (3) достигается при следующем законе управления

$$\sigma(t) = G_{\sigma_0} \left( \frac{V}{g} \frac{d\psi_0}{dt} + \frac{V}{Tg} (\psi_0 - \psi) \right). \quad (17)$$

Использование скорости угла курса  $\frac{d\psi_0}{dt}$  имеет смысл экстраполяции требуемого значения угла курса и определяется по формуле (8). Последнее слагаемое выражения функции управления (17) реализует закон пропорционального управления.

Аналогичным образом запишется закон управления для путевого угла  $P$

$$\sigma(t) = G_{\sigma_0} \left( \frac{V}{g} \frac{dP_0}{dt} + \frac{V}{Tg} (P_0 - P) \right), \quad (18)$$

где  $P$  – текущий путевой угол ЛА;  $P_0$  – заданный путевой угол ЛА, рассчитываемый по формуле (6), (7).

Для относительного угла курса выражение эталонного уравнения (14) запишется как

$$\frac{d(A_0 - A)}{dt} + \frac{1}{T}(A_0 - A) = 0, \quad (19)$$

где  $A$  – текущий относительный угол курса ЛА, рассчитываемый по формуле (9);  $A_0$  – заданный относительный угол курса ЛА, равный  $\pi$ .

Выражение критерия (12) с учётом (2) запишется в виде

$$J(\sigma) = \frac{1}{2} \left[ \frac{dA_0}{dt} - \frac{g}{V} \sigma + \frac{V}{R} \sin A + \frac{U_\zeta}{R} + \frac{1}{T} (A_0 - A) \right]_{|\sigma| \leq \sigma_0}^2 \rightarrow \min. \quad (20)$$

Отсюда закон управления для относительного полярного курса определяется как



$$\sigma(t) = G_{\sigma_0} \left( \frac{V^2}{g R} \sin A + \frac{V}{g R} U_{\zeta} + \frac{V}{T g} (A_0 - A) \right). \quad (21)$$

Величина скорости  $\frac{dA_0}{dt} = 0$ , поскольку заданное значение  $A_0$  фиксировано. Первые два слагаемых выражения функции управления (21) задают скорость изменения базового направления отсчёта относительного угла курса, последнее слагаемое реализует закон пропорционального управления.

Аналогичным образом запишется закон управления для относительного полярного путевого угла

$$\sigma(t) = G_{\sigma_0} \left( \frac{V^2}{g R} \sin A + \frac{V}{g R} U_{\zeta} + \frac{V}{T g} (\Lambda_0 - \Lambda) \right), \quad (22)$$

где  $\Lambda$  – текущий относительный полярный путевой угол ЛА, рассчитываемый по формулам (10), (11);  $\Lambda_0$  – заданный относительный полярный путевой угол, равный  $\pi$ .

Для улучшения переходного процесса рекомендуется уменьшать постоянную времени затухания в условиях значительного отклонения текущего угла от заданного значения, используя вместо эталонного уравнения (15) аналог нелинейного уравнения Дж. Льюиса с корректируемым дифференциальным членом [5]

$$T [1 - G_m (\mu |\psi_0 - \psi| R)] \frac{d(\psi_0 - \psi)}{dt} + (\psi_0 - \psi) = 0, \quad (23)$$

где  $\mu$  – коэффициент уменьшения затухания ( $\mu \geq 0$ );  $m$  – относительная величина наименьшего значения постоянной времени ( $0 < m < 1$ ).

В этом случае функция управления, например, для угла курса (17) запишется как

$$\sigma(t) = G_{\sigma_0} \left( \frac{V}{T [1 - G_m (\mu |\psi_0 - \psi| R)] g} (\psi_0 - \psi) + \frac{V}{g} \frac{d\psi_0}{dt} \right). \quad (24)$$

Аналогичным образом запишутся законы управления для относительного угла курса  $A$  и путевых углов  $P, \Lambda$ .

#### 4 Примеры синтеза управления и моделирования движения ЛА

Рассмотрим примеры расчёта путевого управления при следующих параметрах движения: воздушная скорость ЛА  $V = 200$  км/час = 55,56 м/с; северная и восточная составляющие скорости ветра  $U_x = -10$  м/с,  $U_z = 10$  м/с.

Точка начала процесса наведения имеет прямоугольные координаты относительно целевой точки  $X(0) = 1000$  м,  $Z(0) = 1000$  м. Начальный угол курса равен  $\psi(0) = \frac{\pi}{8}$ .

Полярные координаты начальной точки равны  $R(0) = 1414$  м,  $\zeta(0) = \frac{\pi}{4}$ , а начальный

относительный полярный угол курса  $A(0) = -\frac{\pi}{8}$ .

Максимально допустимое значение угла крена  $\gamma_0$  принято  $40^\circ$ , что соответствует максимальному значению управления  $\sigma_0 = \text{tg } \gamma_0 = 0,84$ . В качестве параметра эталонного



выражения (14) принято значение постоянной времени  $T = 3$  с.

Рассматривается моделирование численным методом Рунге-Кутты траекторного движения ЛА по формулам (1) в прямоугольной системе координат при действии управления, соответствующего режимам «Заданный курс на...», «Заданный путевой угол на...» и определяемого формулами (17), (18).

На рисунке 3 показаны траектории движения ЛА в плоскости прямоугольных координат  $(Z, X)$  для двух режимов наведения на ЦТ. Движение начинается из одной начальной точки (НТ) с начальными координатами и завершается в целевой точке с нулевыми координатами.

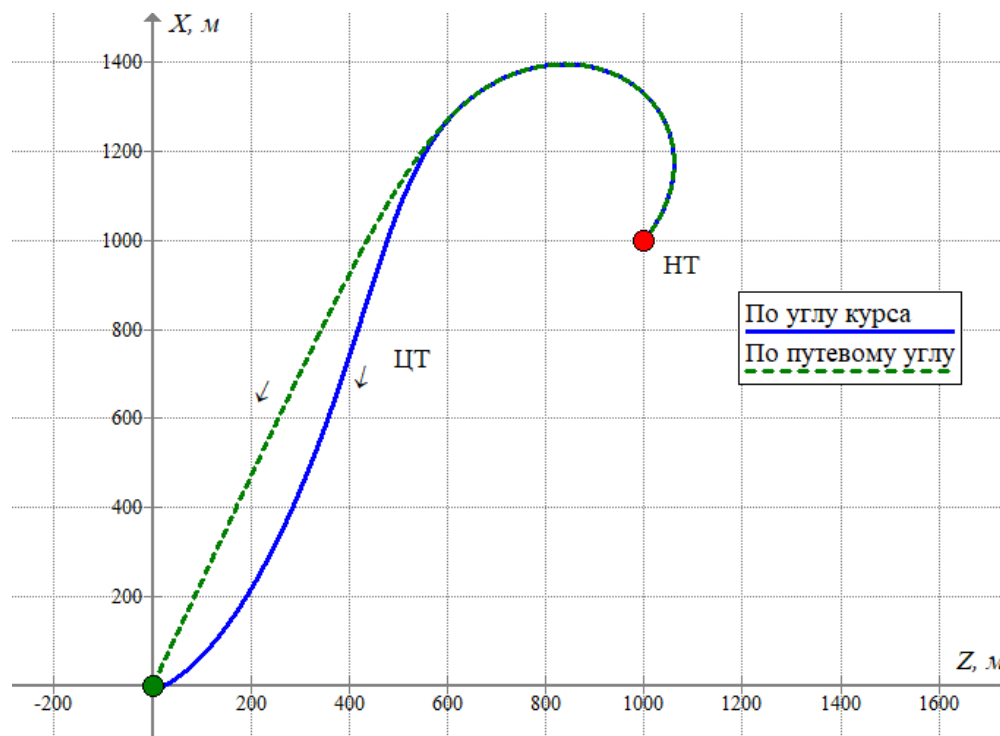


Рис. 3. Траектории наведения в прямоугольных координатах  $(Z, X)$

Переходные процессы фазовых переменных модели движения: координат  $X(t)$ ,  $Z(t)$  и угла курса  $\psi(t)$ , при выполнении наведения показаны на рисунках 4, 5 соответственно.

Длительность процесса при наведении по курсу составила 42 с, при наведении по путевому углу – 41,5 с. При этом траектории включают первоначальный участок разворота (до 17 с) и завершающий участок стабилизации курса на ЦТ. При этом в режиме заданного путевого угла значение курса на завершающем участке почти постоянно и управление не требуется. В режиме заданного курса непрерывно осуществляется компенсация влияния ветра с помощью соответствующего управления.

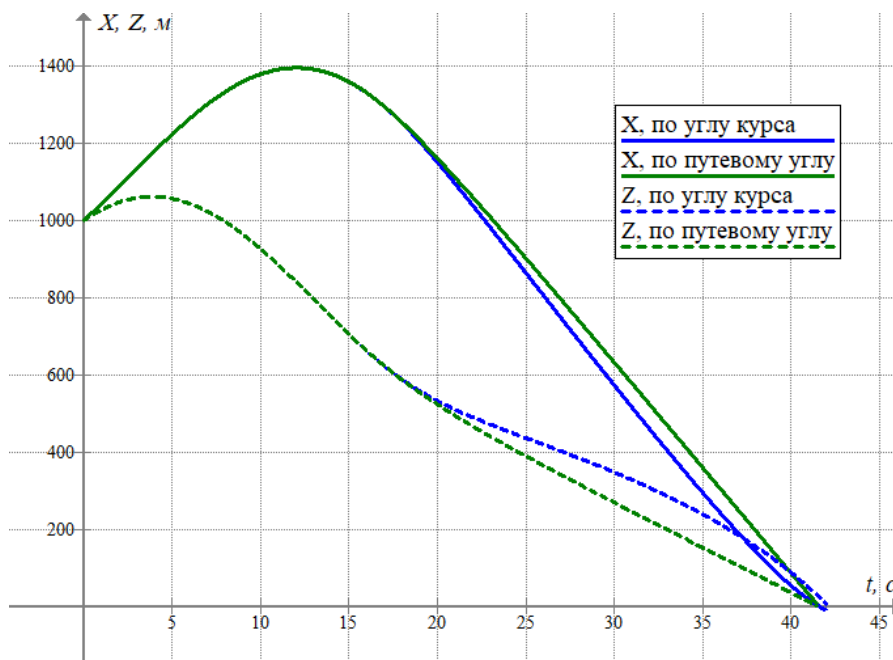


Рис. 4. Переходные процессы координат  $X(t)$ ,  $Z(t)$

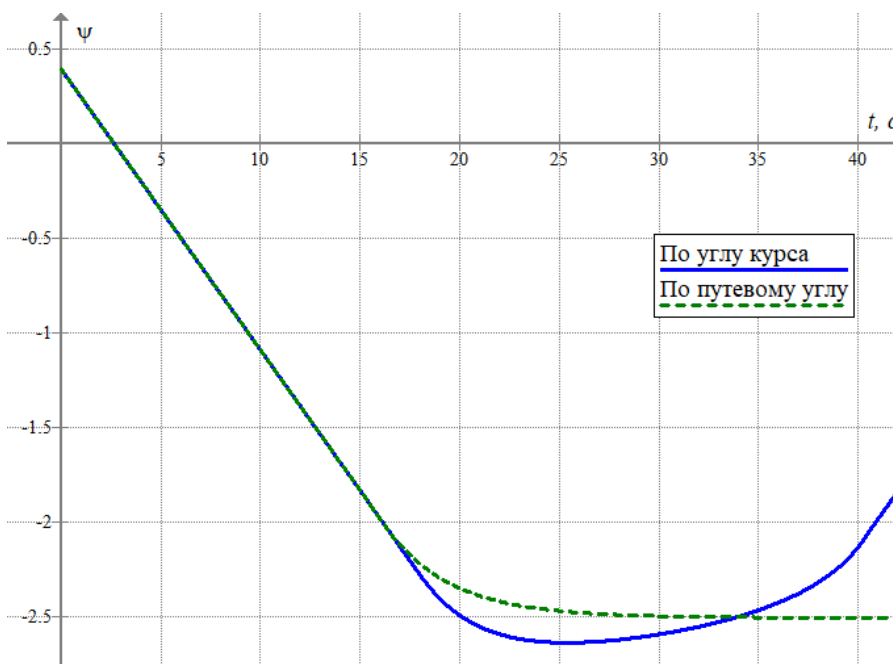


Рис. 5. Переходные процессы угла курса  $\psi(t)$

На рисунке 6 представлены функции управления  $\sigma(t)$ , реализуемые в процессе наведения ЛА. На первоначальном участке разворота значение функции управления достигает максимального по модулю значения, а на завершающем – стремится к нулю (при заданном путевом угле) и даже меняет знак на противоположный (при заданном курсе).

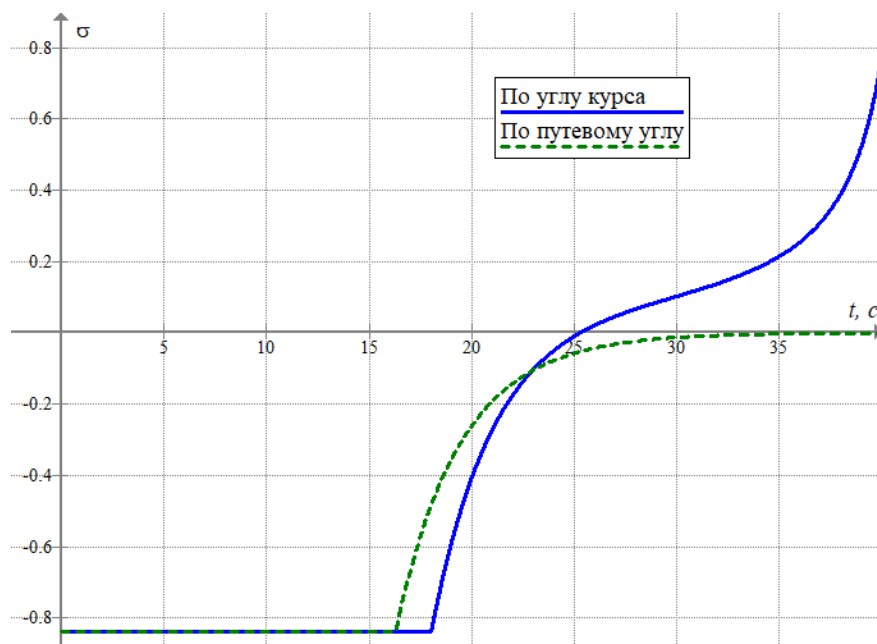


Рис. 6. Изменение функции управления  $\sigma(t)$

Рассматривается моделирование траекторного движения ЛА в полярной системе координат по формулам (2) при действии управления, определяемого формулами (21), (22).

На рисунке 7 показаны фазовые траектории движения ЛА в плоскости полярных координат  $(R, \zeta)$  от начальной точки до ЦТ с различными углами подхода, соответствующими двум режимам наведения.

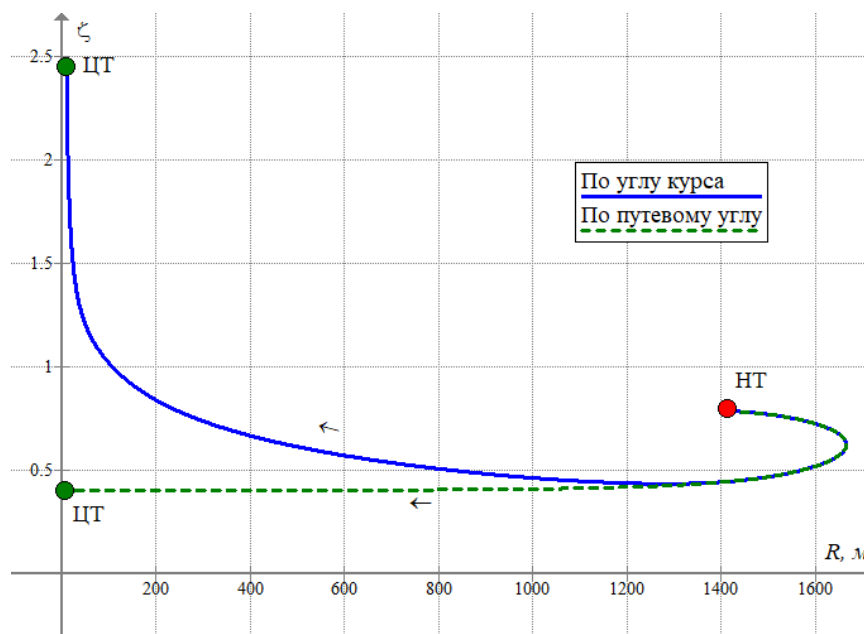


Рис. 7. Траектории наведения в полярных координатах  $(R, \zeta)$

Переходные процессы фазовых переменных модели движения: координат  $R(t)$ ,  $\zeta(t)$  и относительного угла курса  $A(t)$  в процессе наведения показаны на рисунках 8, 9, 10 соответственно.

Функции изменения радиальной дальности  $R(t)$  для двух способов управления



практически совпадают и на рисунке 8 показана общая зависимость.

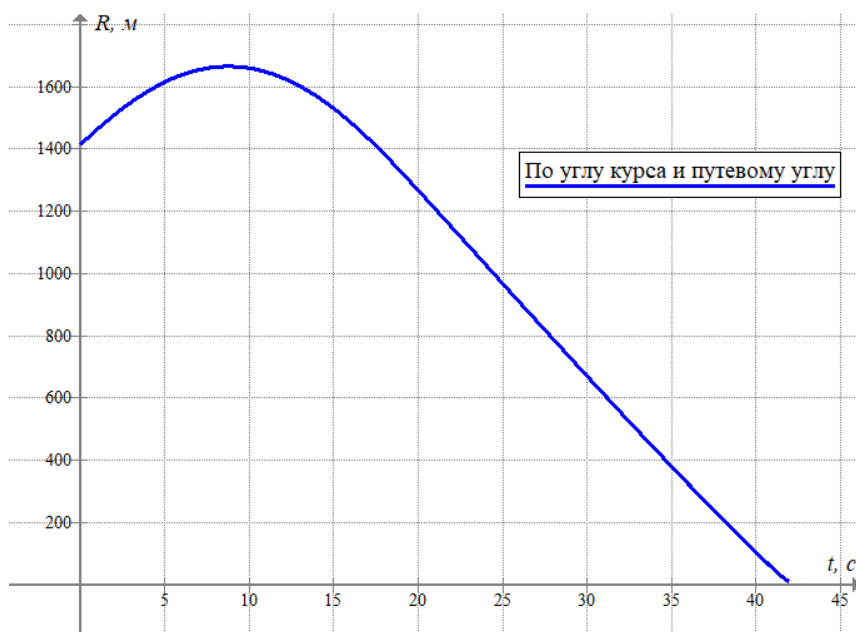


Рис. 8. Переходные процессы радиальной дальности  $R(t)$

Функция полярного угла  $\zeta(t)$  резко изменяется при подходе к целевой точке в случае управления по углу курса.

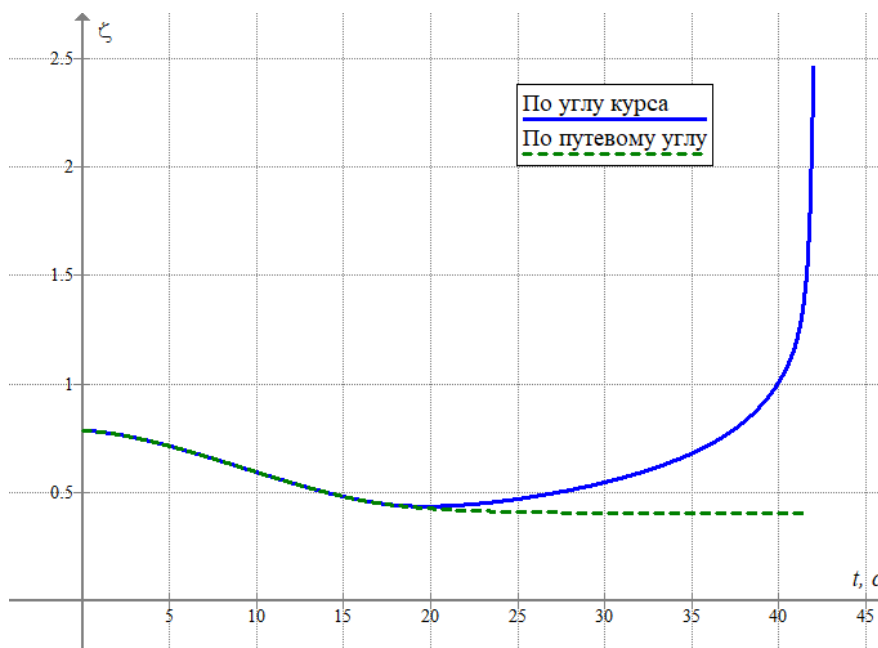


Рис. 9. Переходные процессы полярного угла  $\zeta(t)$

Функции относительного угла курса  $A(t)$  почти постоянны на завершающем участке наведения, но отличаются на величину угла сноса.

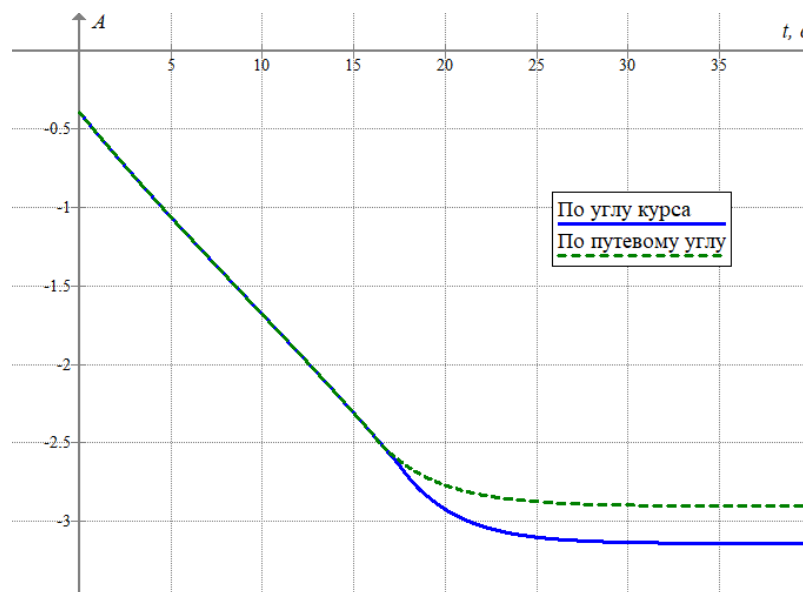


Рис. 10. Переходные процессы относительного курса ЛА  $A(t)$

Полученные функции изменения полярных координат  $(R, \zeta)$  могут быть пересчитаны в прямоугольные координаты  $(X, Z)$  по формулам

$$X = R \cos \zeta, \quad Z = R \sin \zeta, \quad (25)$$

а относительный угол курса  $A$  – в угол курса  $\psi$  по формуле (9). При этом результирующие траектории практически совпадают с графиками, показанными ранее на рисунках 3, 4, 5. Кроме того, функции управления  $\sigma(t)$ , рассчитанные в прямоугольных координатах и показанные на рисунке 6, совпадают с функциями, получаемыми по модели движения в полярных координатах.

Таким образом, синтез путевого управления можно выполнять как в прямоугольных, так и в полярных координатах, в зависимости от состава комплексных пилотажно-навигационных характеристик, получаемых от бортовой аппаратуры ЛА.

### Заключение

В работе рассмотрен синтез путевого управления при наведении летательного аппарата на неподвижную навигационную точку, основанный на методе обратной задачи динамики в разностной форме первого порядка. Полученные формулы для расчёта управления по углу крена являются достаточно экономичными с точки зрения требуемых вычислительных ресурсов и содержат входные навигационно-пилотажные характеристики, предоставляемые большинством комплектов бортовой аппаратуры ЛА.

Расчётные формулы управления идентичны при описании траекторного движения в прямоугольных и в полярных координатах, но при использовании радионавигационных систем ближней навигации постановка задачи в полярных координатах имеет «естественную» трактовку.

Представленная методика имеет перспективы дальнейшего развития, в частности, при включении переменной управления в модель описания объекта, учёте инерционности управления и при использовании обратной связи по управлению [9].

Предложенные алгоритмы практически могут быть применены в составе многометодных бортовых комплексов пилотажно-навигационного обеспечения и траекторного управления летательными аппаратами, а также при автоматизации штурманской подготовки полётов.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бойчук Л. М.* Метод структурного синтеза нелинейных систем автоматического управления. / Л. М. Бойчук – М.: Энергия, 1971. – 112 с.
2. *Крутько П. Д.* Обратные задачи динамики в теории автоматического управления. / П. Д. Крутько – М.: Машиностроение, 2004. – 576 с.
3. *Гурский Н. Н.* Синтез регуляторов для управления движением мехатронных систем / Н. Н. Гурский, Ю. И. Слабко, Р. И. Фурунжиев, А. Л. Хомич // Информатика. – 2008. – № 4. – С. 34-40.
4. *Колесников А. А.* Синергетические методы управления сложными системами: Теория системного синтеза / А. А. Колесников – М.: Едиториал УРСС, 2019. – 240 с.
5. *Павловский В. Е.* Исследование обратной задачи для вычисления управляющих воздействий для квадрокоптера / В. Е. Павловский, А. В. Савицкий // Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша. – 2017. – № 17. – 20 с.
6. *Козарук В. В.* Навигационные эргатические комплексы самолетов / В. В. Козарук, Я. Ю. Ребо – М.: Машиностроение, 1986. – 288 с.
7. *Бойко Е. Г.* Высшая геодезия. Часть II. Сфероидическая геодезия. / Е. Г. Бойко – М.: Картогеоцентр-Геодезиздат, 2003. – 144 с.
8. *Ким Д. П.* Теория автоматического управления / Д. П. Ким – М.: Юрайт, 2015. – 276 с.
9. *Алесов М. Б.* Синтез управления траекторным движением летательного аппарата методом обратной задачи / М. Б. Алесов, Г. К. Гладков // Аспирант и соискатель. – 2021. – №2. – С. 68-76.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

### **Алесов Михаил Борисович**

Ведущий инженер, канд. техн. наук, доцент  
АО «Раменское приборостроительное конструкторское бюро»  
195009, Россия, Санкт-Петербург, ул. Михайлова, д. 21  
E-mail: mbalesov@spb.rpkb.ru

### **Бондаренко Филипп Антонович**

Инженер  
АО «Раменское приборостроительное конструкторское бюро»  
195009, Россия, Санкт-Петербург, ул. Михайлова, д. 21  
E-mail: fabondarenko@spb.rpkb.ru

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

### **Alesov Mikhail Borisovich**

Lead engineer, PhD. Tech. Sciences, associate Professor  
Ramenskoye Instrument-Building Design Bureau Corp  
21, Mikhailova str., Saint-Petersburg, 195009, Russia  
E-mail: mbalesov@spb.rpkb.ru

### **Bondarenko Filipp Antonovich**

Engineer  
Ramenskoye Instrument-Building Design Bureau Corp  
21, Mikhailova str., Saint-Petersburg, 195009, Russia  
E-mail: fabondarenko@spb.rpkb.ru



## ИССЛЕДОВАНИЕ НАУКОМЕТРИЧЕСКИХ ДАННЫХ В ОБЛАСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СИТУАЦИЙ НА ВОДЕ НА ОСНОВЕ ПУБЛИКАЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ В РОССИЙСКОМ ИНДЕКСЕ НАУЧНОГО ЦИТИРОВАНИЯ И SCOPUS

**С. Н. Пушкарь**

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

*В предложенной статье рассматривается и анализируется публикационная активность в области прогнозирования транспортных ситуаций на воде на базе российского индекса научного цитирования и базе Scopus. Прогнозирование водных транспортных ситуаций - перспективное направление, необходимое для обеспечения безопасности, улучшения функционирования передвижения судов и оптимизации графиков движения водного транспорта. В ходе исследования были обозначены ключевые слова и выявлены наиболее значимые научные статьи, имеющие наибольшее количество ссылок и цитирований. В ходе работы был проведен наукометрический анализ публикаций и указаны авторы и названия статей наиболее значимых для дальнейших исследований в данной теме.*

*Ключевые слова: наукометрические данные, РИНЦ, Scopus, публикационная активность, анализ публикаций, интеллектуальные системы, прогнозирование, транспорт, транспортная ситуация, каналы и реки, моделирование транспортных потоков, гидрологические условия, анализ данных и машинное обучение в прогнозировании транспортных ситуаций.*

### **Для цитирования:**

*Пушкарь, С. Н. Исследование наукометрических данных в области прогнозирования транспортных ситуаций на воде на основе публикационной активности в российском индексе научного цитирования и SCOPUS / С. Н. Пушкарь // Системный анализ и логистика. – 2024. – № 4(42). – с. 35-48. DOI: 10.31799/2077-5687-2024-4-35-48.*

## STUDY OF SCIENTOMETRIC DATA IN THE FIELD OF FORECASTING TRANSPORTATION SITUATIONS ON WATER BASED ON PUBLICATION ACTIVITY IN THE RUSSIAN SCIENTIFIC CITATION INDEX AND SCOPUS

**S.N. Pushkar**

Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

*The proposed article considers and analyzes the publication activity in the field of forecasting of water transport situations on the basis of the Russian Science Citation Index and Scopus database. Forecasting of water transport situations is a promising area necessary to ensure safety, improve the functioning of vessel movement and optimize water transport schedules. In the course of the study, keywords were identified and the most significant scientific articles with the largest number of references and citations were identified. In the course of the work a scientometric analysis of publications was carried out and the authors and titles of the most significant articles for further research in this topic were indicated.*

*Keywords: scientometric data, RSCI, Scopus, publication activity, publication analysis, intelligent systems, forecasting, transportation, transport situation, channels and rivers, modeling of transportation flows, hydrological conditions, data analysis and machine learning in forecasting transportation situations.*

### **For citation:**

*Pushkar, S. N. Study of scientometric data in the field of forecasting transportation situations on water based on publication activity in the russian scientific citation index and SCOPUS / S. N. Pushkar // System analysis and logistics. – 2024. – № 4(42). – p. 35-48. DOI: 10.31799/2077-5687-2024-4-35-48.*

### **Введение**

Постоянно растущее количество судов и маршрутов создает множество проблем в управлении водными перевозками. Кроме того, растущая сложность водных систем – с разнообразными типами судов, множеством маршрутов, непредсказуемыми условиями окружающей среды и многогранной нормативно-правовой базой - требует использования передовых инструментов и технологий для управления и прогнозирования водных перевозок.



Тема прогнозирования транспортных ситуаций на воде является актуальной и важной с точки зрения обеспечения безопасности, эффективности передвижения судов, оптимизации графиков и маршрутов водного транспорта.

Использование современных технологий, таких как искусственный интеллект, машинное обучение и анализ данных системы, позволят создать инновационные методы прогнозирования транспортных ситуаций с высокой точностью, обеспечивая безопасность движения судов, снижение экологических рисков и повышение эффективности транспортной инфраструктуры.

Целью данной статьи является изучение значимости в области прогнозирования транспортных ситуаций на воде и выявление ее актуальности в Российском индексе научного цитирования (РИНЦ) и в зарубежной базе Scopus.

Базы данных РИНЦ и Scopus позволяют в полной мере оценить значимость и степень изученности направления российских и международных научных исследований и дать представление о дальнейшем развитии области.

### **Практическое исследование публикационной активности в РИНЦ**

**Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)** – национальная библиографическая база данных научного цитирования, аккумулирующая более 12 миллионов публикаций российских ученых, Она также предоставляет сведения о цитировании этих публикаций в российских журналах и позволяет оценить публикационную активность авторов и организаций [1].

На основе ключевых слов была составлена подборка публикаций в РИНЦ. Анализ производился на основе работ опубликованных в период с 2001 года по 2024 год в базах данных и ELibrary.com. Результаты анализа представлены на рисунках 1-7. На рисунке 8 представлен график зависимости числа публикаций от года.

Общие показатели:	
Общее число публикаций	35461
Число статей в журналах	35461
Число статей в журналах, входящих в Web of Science или Scopus	2384
Число статей в журналах, входящих в ядро РИНЦ	4759
Число статей в журналах, входящих в RSCI	3725
Средневзвешенный импакт-фактор журналов, в которых были опубликованы статьи	0,309
Число авторов	53581
Среднее число публикаций в расчете на одного автора	0,66
Суммарное число цитирований публикаций	100337
Среднее число цитирований в расчете на одну статью	2,83
Число статей, процитированных хотя бы один раз	18258
Число самоцитирований (из статей этой же подборки)	11541
Индекс Хирша	74

Рис. 1. Общие показатели анализа публикаций РИНЦ

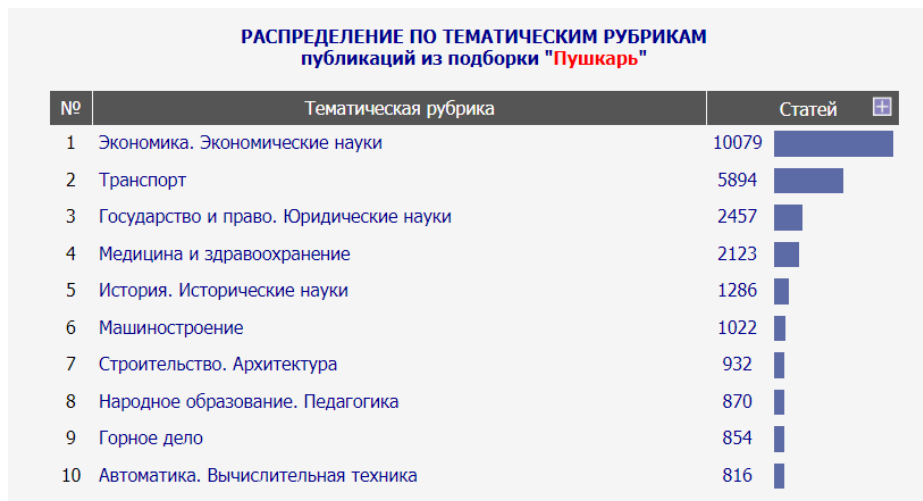


Рис. 2. Распределение публикаций из подборки по тематике



Рис. 3. Распределение публикаций из подборки по ключевым словам

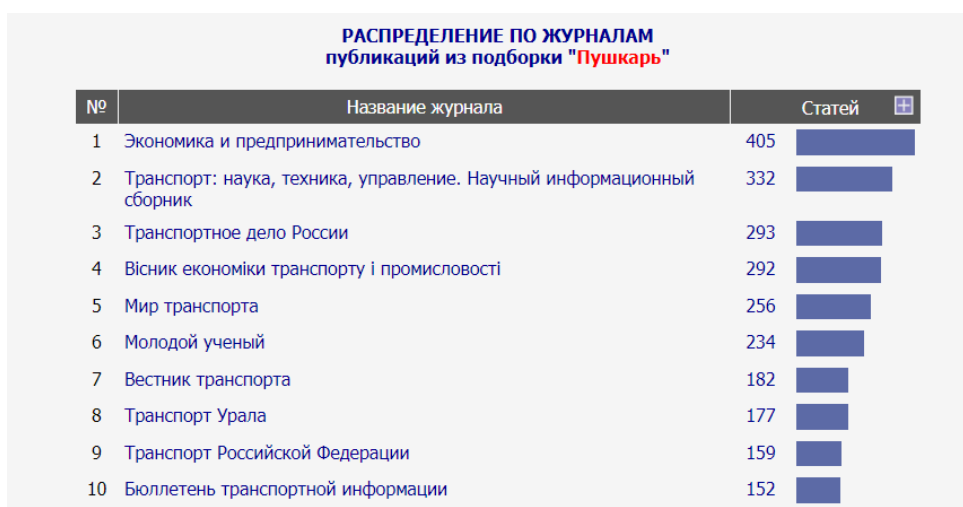


Рис. 4. Распределение публикаций из подборки по журналам



Рис. 5. Распределение публикаций из подборки по организациям



Рис. 6. Распределение публикаций из подборки по авторам



Рис. 7. Распределение публикаций из подборки по годам



Рис. 8. График статистики публикаций с 2001 по 2024 г. в РИНЦ

На основе графика статистики публикаций с 2001 по 2024 г. в РИНЦ (рис. 8) можно сделать следующие выводы. Стремительный рост числа публикаций приходится на период 2010-2013 годов, что могло быть связано с развитием новых технологий в сфере водного транспорта, а также с укреплением экономической ситуации в России. В период с 2015 по 2023 год количество публикаций ежегодно оставалось примерно на одном уровне, что свидетельствует о стабильной актуальности выбранной темы. В текущем 2024 году число



публикаций на момент проведения анализа составлял 222 публикации, однако, на основе данных по предшествующим годам можно утверждать, что количество научных работ в исследуемой области вырастет до отметки в 2500-2600 публикаций.



Рис. 9. Наукометрический анализ на основе элементов теории множеств

При анализе данных был составлен наукометрический анализ на основе элементов теории множеств (рис. 9). Анализ показал, что тема Проектирование водных транспортных ситуаций включает в себя такие аспекты как Экономика, Транспорт, Технологии, Приборостроение, Машиностроение и др. Больше количество пересечений с областями имеет аспект Экономика, а наиболее весомыми областями при исследовании становятся Транспорт и Технологии. Наименьшей областью является Нормативно-правовая база, поскольку количество документов, регламентирующих внедрение технологий проектирования водных транспортных ситуаций, на сегодняшний день слишком мало.

Таблица 1 – Пример выбранных статей для наукометрического анализа из базы данных РИНЦ

№	Библиографические данные статей	Авторы с указанием индекса Хирша в скобках	Краткое описание статьи
1	Прокофьев, В. А. О совместимости морского транспорта с интеллектуальными транспортными системами / В. А. Прокофьев // Системный анализ и логистика. – 2013. – № 9. – С. 8– 9. [2]	В. А. Прокофьев (4)	Рассматривается степень интеллектуализации на разных видах транспорта и направления развития.



Продолжение таблицы 1

№	Библиографические данные статей	Авторы с указанием индекса Хирша в скобках	Краткое описание статьи
2	<p>Домке, Э. Р. Описание транспортного потока с помощью рядов / Э. Р. Домке, О. В. Сорокина // Вестник Московского автомобильно–дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2011. – № 3(26). – С. 17– 22. [3]</p>	<p>Э. Р. Домке(12), О. В. Сорокина</p>	<p>В статье разработана математическая модель для борьбы с транспортными заторами, основанная на описании транспортного потока с помощью знакопеременных рядов.</p> $\bar{t}_{\Delta p} = \frac{\sum_1^n (t_{\Delta p} N_j)}{\sum_1^n N_j},$ $d_{ik} = \left( \sum_{j=1}^N (x_{ij} - x_{kj})^2 \right)^{\frac{1}{2}},$ $V_i = \sum_i \sum_j \left( x_{ij} - \bar{x}_{jk} \right)^2,$
3	<p>Малыгин, И. Г. Интеллектуальные технологии на водном транспорте / И. Г. Малыгин, В. И. Комашинский, М. А. Асаул // Морские интеллектуальные технологии. – 2017. – № 2– 2(36). – С. 55– 65. [4]</p>	<p>И. Г. Малыгин (22), В. И. Комашинский (21), М. А. Асаул (24)</p>	<p>В статье рассмотрены основные черты новой компьютерной технологии в сфере водного транспорта. Показан комплекс перемен, затрагивающих транспортную индустрию (судостроение), транспортные средства (автономные и роботизированные суда), портовое хозяйство и водные магистрали. Отмечается, что ключевой технологической платформой являются информационно-управляющие системы водного транспорта, интегрированные с технологиями искусственного интеллекта. Интеллектуализация водного транспорта позволит оптимизировать потребление топлива и энергетических ресурсов, более эффективно использовать суда для перевозки пассажиров и грузов, более точно прогнозировать погодные условия и осуществлять эффективную погодную маршрутизацию.</p>



Продолжение таблицы 1

№	Библиографические данные статей	Авторы с указанием индекса Хирша в скобках	Краткое описание статьи
4	Майоров, Н. Н. Тенденции развития маршрутов пассажирских перевозок на внутреннем водном транспорте в Санкт-Петербурге / Н. Н. Майоров, Е. П. Яковлева // Системный анализ и логистика. – 2019. – № 3(21). – С. 54-64.[5]	Н. Н. Майоров (11), Е. П. Яковлева	В статье представлено описание современного состояния сферы пассажирских перевозок на внутреннем водном транспорте в городе Санкт-Петербурге. В работе представлены современные границы внутреннего водного пространства, с помощью блок-схем выполнено представление различных вариантов пересадок с использованием водного транспорта при пассажирских перевозках – рисунок 10.

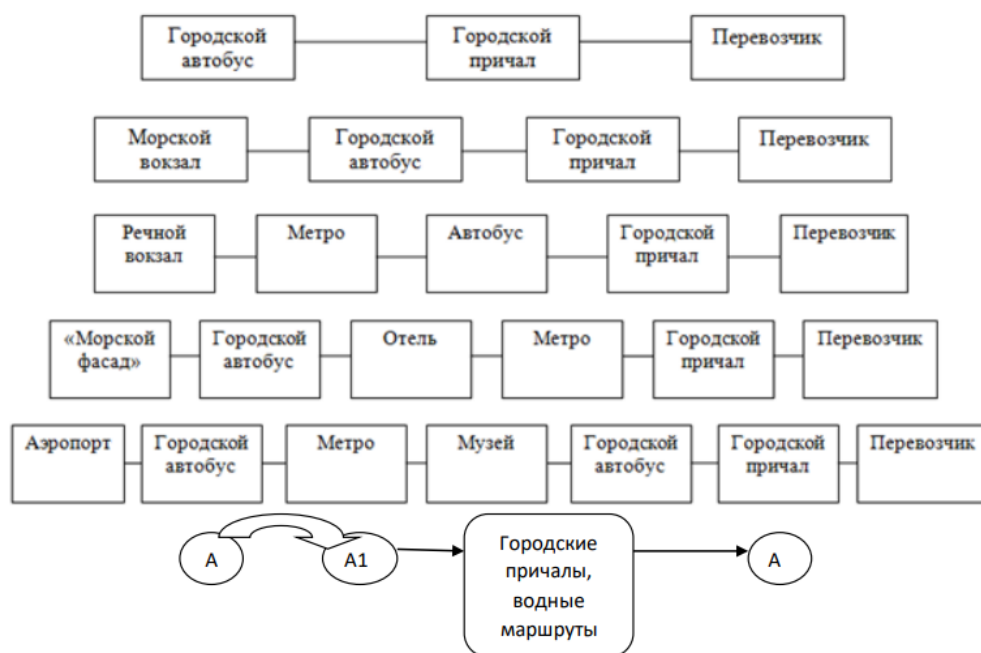


Рис. 10. Схема-представление различных вариантов пересадок с использованием водного транспорта при пассажирских перевозках

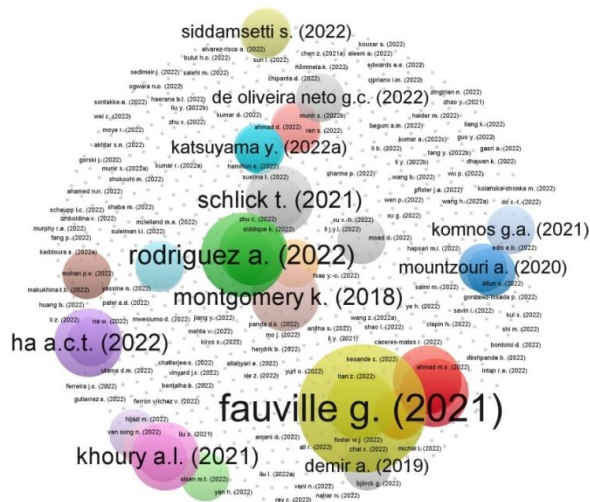
**Индекс Хирша (*h-index*)** – наукометрический показатель, предложенный в 2015 году физиком из Калифорнийского университета в Сан-Диего Х. Хиршем.

Критерий основан на учёте числа публикаций исследователя (подразделения, организации) и числа их цитирования. Например, учёный имеет индекс Хирша равный  $h$ , если  $h$  из его  $N$  статей цитируются как минимум  $h$  раз каждая, в то время как оставшиеся  $(N-h)$  статей цитируются менее, чем  $h$  раз каждая.

Индекс Хирша рассчитывается автоматически, исходя из числа всех публикаций учёного (подразделения, организации), индексируемых в наукометрических базах данных (Scopus, WoS, РИНЦ). Соответственно, его значение может быть разным в зависимости от выбранной базы.



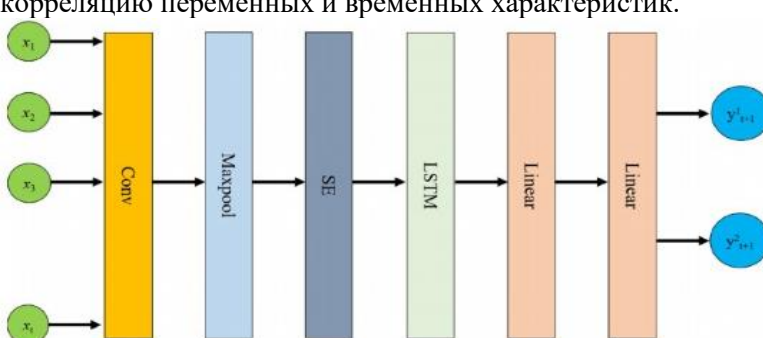




VOSviewer

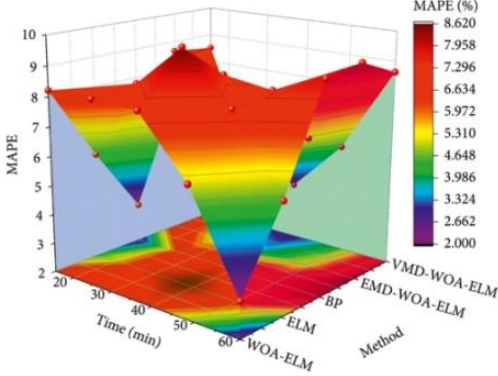
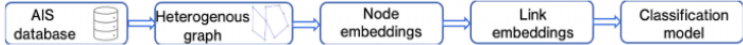
Рис. 14. Анализ цитирования с помощью программы VOSviewer из базы данных Scopus.

Таблица 2 – Пример выбранных статей для наукометрического анализа из базы данных Scopus

№	Библиографические данные статей	Авторы с указанием индекса Хирша в скобках	Краткое описание статьи
1	Wang, Xinyu & Xiao, Yingjie. (2023). A Deep Learning Model for Ship Trajectory Prediction Using Automatic Identification System (AIS) Data. Information. 14. 212. 10.3390/info14040212 . [7]	Wang, Xinyu (4)	<p>В этом исследовании предлагается модель прогнозирования траектории корабля на основе глубокого обучения (а именно, CNN-LSTM-SE), учитывающий потенциальную корреляцию переменных и временных характеристик.</p>  <p>Figure 4. The overall structure of the prediction model.</p> $ARMSE = \frac{1}{2} \left[ \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (lg_i - l_i)^2} + \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{lt}_i - lt_i)^2} \right]$ $AMAPE = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n \left( \left  \frac{\hat{lg}_i - lg_i}{lg_i} \right  + \left  \frac{\hat{lt}_i - lt_i}{lt_i} \right  \right) \times 100\%$ $AED = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sqrt{(lg_i - l_i)^2 + (lt_i - lt_i)^2}$ $AGD = \frac{2R}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \arcsin \left[ \sqrt{\sin^2 \left( \frac{\Delta \beta_i}{2} \right) + \cos(\beta_i) \cos(\beta_i) \sin^2 \left( \frac{\Delta \alpha_i}{2} \right)} \right]$ $FD = \max \left( d \left\{ (lg_i, \hat{lt}_i), (lg_i, lt_i) \right\} \right)$



Продолжение таблицы 2

№	Библиографические данные статей	Авторы с указанием индекса Хирша в скобках	Краткое описание статьи
2	<p>Yongjun Chen, Ming Huang, Kaixuan Song, Tengfei Wang, "Prediction of Ship Traffic Flow and Congestion Based on Extreme Learning Machine with Whale Optimization Algorithm and Fuzzy c-Means Clustering", Journal of Advanced Transportation, vol. 2023, Article ID 7175863, 12 pages, 2023. <a href="https://doi.org/10.1155/2023/7175863">https://doi.org/10.1155/2023/7175863</a>. [8]</p>	<p>Yongjun Chen (4)</p>	<p>Точное прогнозирование краткосрочных заторов в движении судов важно для безопасности водного движения и интеллектуального судоходства. Предлагается метод прогнозирования транспортного потока судов путем применения алгоритма оптимизации "кита" к машине экстремального обучения. Метод учитывает внешнюю экологическую неопределенность и сложность плавания судов в водах с интенсивным движением.</p> 
3	<p>Gouareb, Racha &amp; Can, Francois &amp; Ferdowsi, Sohrab &amp; Teodoro, Douglas. (2022). Vessel Destination Prediction Using a Graph-Based Machine Learning Model. 10.1007/978-3-030-97240-0_7. [9]</p>	<p>Racha Gouareb (4)</p>	<p>Для поддержки принятия решений в морской отрасли в этой статье предлагается алгоритм прогнозирования пункта назначения судна, основанный на моделях гетерогенного графа и машинного обучения. Спроектирована задача как задача классификации нескольких классов, где порт назначения — это категория, которую нужно спрогнозировать с учетом информации о судне и отправке. Затем используется модель прогнозирования ссылок на взвешенном гетерогенном графе, чтобы предсказать пункт назначения судна.</p>  <p>Fig. 2. Overview of the proposed graph-based voyage destination prediction model.</p>
4	<p>Balosin, Ionel &amp; Midan, Angelo &amp; Olei, Adrian. (2023). Intelligent Transport Systems Used in Inland Waterway Transport and Their Contribution to Pollution Prevention. 10.2991/978-94-6463-152-4_27. [10]</p>	<p>Adrian Bebe Olei (4)</p>	<p>В документе представлены интеллектуальные транспортные системы, используемые во внутреннем водном судоходстве на румынском секторе Дуная, общая информация об их организации и работе на национальном, региональном и местном уровне, а также связь с другими функциональными системами на европейском уровне - текущая ситуация в 2022 году. Интеллектуальные системы внутреннего водного транспорта являются неотъемлемой частью платформы речных информационных служб (RIS).</p>



Выбранные статьи из базы данных Scopus, представленные в таблице 2, содержат описание моделей, методов и методик исследования проблемы. Данные статьи можно отнести к классу оригинальных статей, а предложенные в них методы могут быть использованы в качестве основы для дальнейшей разработки новой системы прогнозирования.

### **Заключение**

В ходе выполнения исследований был проведен наукометрический анализ в РИНЦ и Scopus на основе выбранной темы.

Согласно наукометрическому анализу на основе элементов теории множеств можно сделать вывод, что тема прогнозирования транспортных ситуаций на воде находится на стыке таких областей как: Транспорт, Экономика, Технологии (включая анализ данных, искусственный интеллект и машинное обучение), Нормативно-правовая база, Экология, История, Приборостроение и машиностроение.

Анализ базы данных Scopus отражает совпадение ключевых слов, соавторство и информацию о цитировании. В работе был представлен список публикаций РИНЦ и Scopus, имеющих наибольшую значимость в дальнейших исследованиях по теме. Также стоит отметить, что ежегодно количество публикаций, связанных с темой прогнозирования транспортных ситуаций на воде, увеличивается как в российских исследованиях, так и в международных.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Научная электронная библиотека: Российский индекс научного цитирования [Электронный ресурс]. – URL: [https://elibrary.ru/elibrary\\_about.asp](https://elibrary.ru/elibrary_about.asp) (дата обращения: 12.03.2024).
2. Прокофьев В. А. О совместимости морского транспорта с интеллектуальными транспортными системами / В. А. Прокофьев // Системный анализ и логистика. – 2013. – № 9. – С. 8–9.
3. Домке Э. Р. Описание транспортного потока с помощью рядов / Э. Р. Домке, О. В. Сорокина // Вестник Московского автомобильно–дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2011. – № 3(26). – С. 17–22.
4. Малыгин И. Г. Интеллектуальные технологии на водном транспорте / И. Г. Малыгин, В. И. Комашинский, М. А. Асаул // Морские интеллектуальные технологии. – 2017. – № 2–2(36). – С. 55–65.
5. Майоров Н. Н. Тенденции развития маршрутов пассажирских перевозок на внутреннем водном транспорте в Санкт-Петербурге / Н. Н. Майоров, Е. П. Яковлева // Системный анализ и логистика. – 2019. – № 3(21). – С. 54–64.
6. База данных Scopus [Электронный ресурс]. – URL: <https://ru.service.elsevier.com> (дата обращения: 23.04.2024)
7. Xinyu W. A Deep Learning Model for Ship Trajectory Prediction Using Automatic Identification System (AIS) Data / W. Xinyu, X. Yingjie // Information. 2023 – № 14(4):212. – 16 p. DOI: 10.3390/info14040212.
8. Chen Y. Prediction of Ship Traffic Flow and Congestion Based on Extreme Learning Machine with Whale Optimization Algorithm and Fuzzy c-Means Clustering / Y. Chen, H. Ming, S. Kaixuan, W. Tengfei // Journal of Advanced Transportation – 2023. – 12 p. DOI: 10.1155/7175863.
9. Gouareb R. Vessel Destination Prediction Using a Graph-Based Machine Learning Model / R. Gouareb, C. Francois, S. Ferdowsi, D. Teodoro // Network Science – 2022. P. 80 – 93 DOI: 10.1007/978-3-030-97240-0\_7.



10. *Ionel B. Intelligent Transport Systems Used in Inland Waterway Transport and Their Contribution to Pollution Prevention / B. Ionel, A. Midan, A. Olei // Proceedings of the International Conference on Mechanical Engineering – 2023. – P. 235 – 247 DOI: 10.2991/978-94-6463-152-4\_27.*

### **ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ**

**Пушкарь Софья Николаевна**

Студент

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения  
190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А

E-mail: [sofiapn25@gmail.com](mailto:sofiapn25@gmail.com)

### **INFORMATION ABOUT THE AUTHOR**

**Pushkar Sofia Nikolayevna**

Student

Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation  
67, Bolshaya Morskaia str., Saint-Petersburg, 190000, Russia

E-mail: [sofiapn25@gmail.com](mailto:sofiapn25@gmail.com)



## ЛОГИСТИКА

УДК 656.021

DOI: 10.31799/2077-5687-2024-4-49-56

### АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ В ПРИМОРСКОМ РАЙОНЕ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

**И. В. Трофимова**

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

*Статья посвящена анализу проблем безопасности дорожного движения в Приморском районе Санкт-Петербурга.*

*В данной статье рассматривается общая аварийность Санкт-Петербурга за последнее десятилетие. Выявлены основные причины проблем возникновения аварийности. Также была проанализирована аварийность в Приморском районе Санкт-Петербурга за последний год, причины ее возникновения, на основе которых разработаны предложения по повышению безопасности дорожного движения в данном районе.*

*Результаты исследования могут быть использованы для построения имитационной модели с целью выявления наиболее эффективных предложений по повышению безопасности дорожного движения в Приморском районе Санкт-Петербурга.*

*Ключевые слова: ДТП, аварийность, транспортный поток, транспортное средство, транспортно-дорожная сеть, перекресток.*

**Для цитирования:**

*Трофимова, И. В. Анализ проблем безопасности дорожного движения в Приморском районе Санкт-Петербурга / И. В. Трофимова // Системный анализ и логистика. – 2024. – № 4(42). – с. 49-56. DOI: 10.31799/2077-5687-2024-4-49-56.*

### ANALYSIS OF ROAD SAFETY PROBLEMS IN THE PRIMORSKY DISTRICT OF ST. PETERSBURG

**I. V. Trofimova**

St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

*The article is devoted to the analysis of road safety problems in the Primorsky district of St. Petersburg.*

*This article examines the general accident rate of St. Petersburg over the past decade. The main causes of the accidents occurrence's problems have been identified. The accident rate in the Primorsky district of St. Petersburg over the past year was also analyzed, the causes of its occurrence, on the basis of which proposals were developed to improve road safety in this area.*

*The study results can be used to build a simulation model in order to identify the most effective proposals for improving road safety in the Primorsky district of St. Petersburg.*

*Keywords: traffic accident, accident rate, traffic flow, vehicle, transport and road network, intersection.*

**For citation:**

*Trofimova, I. V. Analysis of road safety problems in the Primorsky district of St. Petersburg / I. V. Trofimova // System analysis and logistics. – 2024. – № 4(42). – p. 49-56. DOI: 10.31799/2077-5687-2024-4-49-56.*

### Введение

Согласно статистическим показателям, в России общее количество ДТП, а также количество погибших и пострадавших в ДТП значительно снизились за период 2014 – 2024 гг. Данная тенденция сохраняется на протяжении целого десятилетия [1]. С данными о количестве ДТП в Российской Федерации за период 2014-2024 гг. можно ознакомиться в таблице 1.



Таблица 1 – Количество ДТП, погибших и пострадавших в России в 2014-2024 годах

Год	Количество ДТП	Количество погибших, чел.	Количество пострадавших, чел.
2014	199 720	26 963	251 785
2015	184 000	23 114	231 197
2016	173 700	20 308	221 140
2017	169 432	19 088	215 374
2018	168 099	18 214	214 853
2019	164 358	16 981	210 877
2020	137 662	15 788	175 170
2021	133 331	14 874	167 856
2022	126 705	14 172	159 635
2023	132 466	14 504	166 500
2024	8 091	945	10 739

Тем не менее эти показатели не являются достаточными для прекращения поиска по улучшению показателей аварийности на дорогах России. Также, стоит отметить, что снижения показателей общего уровня аварийности на дорогах в период 2020-2022 гг. во многом связано с ограничениями, введенными по COVID-19, самоизоляцией граждан и переводом многих компаний на удаленную работу, что в целом поспособствовало снижению загруженности на дорогах. И как можно увидеть из статистики, приведенной выше в 2023 году, эти показатели начали снова немного возрастать.

На не стремительный спад показателей аварийности могут влиять самые различные факторы. По мнению некоторых исследователей к ним можно отнести:

- недостаточную степень развития дорожно-транспортных сетей и их техническое состояние;
- структуру и объем транспортных потоков, на которые не рассчитана дорожно-транспортная сеть;
- техническое состояние парка транспортных средств;
- устаревшие технологии, используемые в дорожно-транспортной системе. Очевидно, что с быстрым ростом городов дорожно-транспортная система также требует усовершенствования технологий;
- квалификацию и дисциплину водителей;
- морально-этические нормы участников дорожного движения. Кроме того, даже в учебных учреждениях периодически должны проводиться профилактические беседы на тему правил безопасности дорожного движения;
- законодательную базу и систему исполнения законов и правил;
- взаимодействие транспортных средств различного назначения и ведомственной принадлежности (городской, грузовой, личный, аварийный, специальный автотранспорт и т.д.);
- свойства технических, организационных и информационных систем [2, 102].

Для поддержания технического состояния транспортно-дорожных сетей с целью обеспечения БДД необходимо:

- регулярно обновлять дорожную разметку для лучшей видимости водителям;
- производить установку дорожных знаков, на требующих того участках;
- оснащать дорожные знаки светоотражающей пленкой;
- устанавливать пешеходные ограждения вдоль дороги, а особенно, в местах большого скопления людей;
- качественно обслуживать состояние дорог в зимнее время года.



## Аварийность в Санкт-Петербурге

Согласно статистике за первое полугодие 2023 года Санкт-Петербург продолжает держать позиции, располагаясь в середине рейтинга по аварийности регионов на дорогах России. Данные представленные за первое полугодие можно в среднем удвоить и получить примерную статистику за весь период 2023 года. За первое полугодие в Санкт-Петербурге насчитывается 90,3 ДТП с пострадавшими на 100 000 автомобилей. При этом, как и последние несколько лет первое и последнее места сохраняют Республика Тыва – 315,6 ДТП и Чеченская Республика – 13,8 ДТП [3]. Количество ДТП и погибших в Санкт-Петербурге за период 2014-2023 гг. представлено на диаграмме, рис. 1.

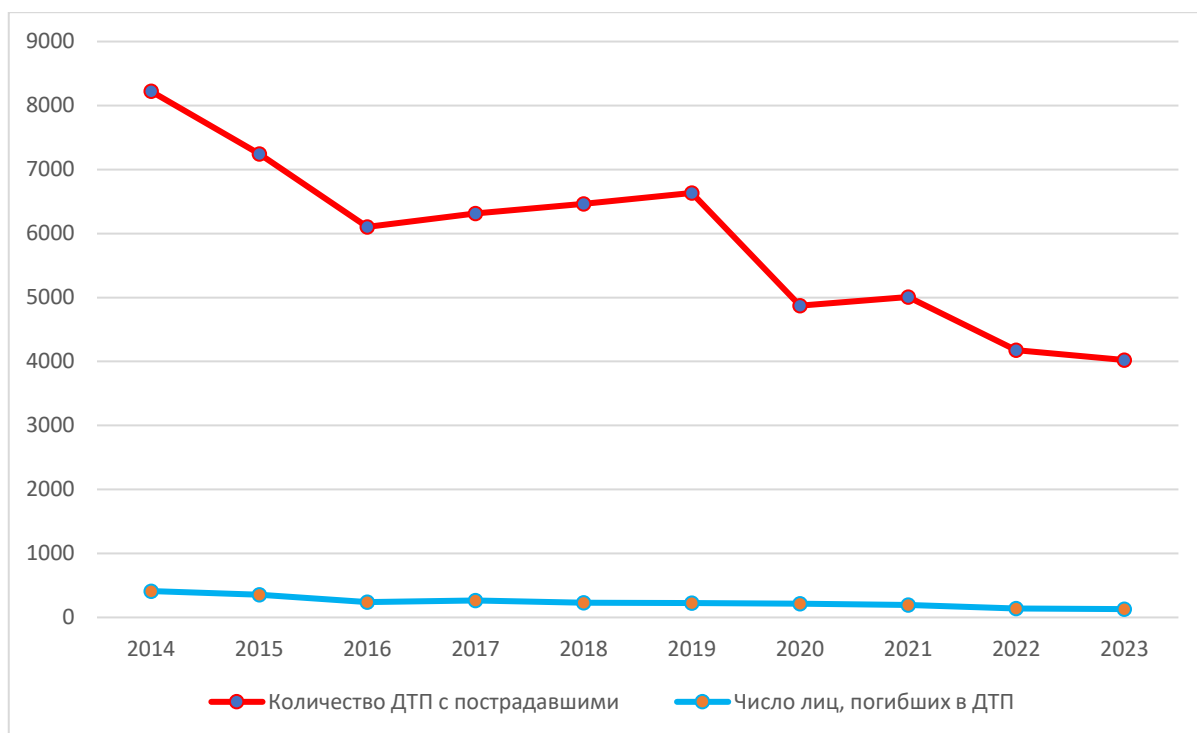


Рис. 1. Количество ДТП и погибших в Санкт-Петербурге в 2014-2023 годах

С 2014 по 2016 год наблюдалось стремительное снижение количества ДТП с пострадавшими, а с 2016 год по 2019 год оно снова начало увеличиваться. Такая нестабильность подтверждает необходимость решение данной проблемы. Снижение в 2020 году также можно обосновать ограничениями в связи с COVID-19, так как в 2021 году уровень аварийности снова начал подниматься. Параллельно с этим на протяжении всего периода 2014-2023гг. количество лиц, погибших в ДТП, было стабильным.

Санкт-Петербург входит в число самых густонаселенных городов Европы, где ежедневно сотни тысяч людей перемещаются по городской дорожно-транспортной системе. Отсюда следует, что она нуждается в постоянной модернизации и контроле. При этом, исходя из приведенной выше статистики, большое число ДТП происходит в следствие перегруженности транспортной системы. Также в комплексной схеме организации дорожного движения Санкт-Петербурга на период до 2033 года выделяются основные проблемы, которые необходимо решить:

- автомобильные дороги федерального и регионального значения, работающие в режиме перегрузки;
- большое количество мест концентрации дорожно-транспортных происшествий (аварийно-опасных участков);
- высокий уровень смертности в результате дорожно-транспортных происшествий [4].



Очевидно, с приходом зимнего периода ситуация на дорогах становится опаснее, особенно по мостовым сооружениям автомобильных дорог, когда температура окружающего воздуха опускается ниже ноля градусов по Цельсию в связи с образованием гололеда на покрытии пролетных строений мостов [5]. Это особенно характерно для ДД Санкт-Петербурга, где в транспортной системе существует множество мостов, проходящих через водные преграды. Из-за их покрытия, состоящего из цемента и бетона, они особо активно покрываются наледью. Поэтому для избежание ДТП участникам ДД необходимо быть особенно внимательными и следовать предписанным правилам.

### Аварийность в Приморском районе Санкт-Петербурга

Касательно дорожной ситуации в Приморском районе Санкт-Петербурга, стоит отметить повышение роста количества мелких ДТП при смене погодных условий, которые приводят к транспортным заторам, нарушающим эффективную работу дорожно-транспортной системы в целом. Кроме того, за период январь-февраль 2024 года в Приморском районе зарегистрировано уже 16 аварий [6]. При этом за 2023 год было зарегистрировано ДТП в количестве 26, что свидетельствует о резком росте уровня аварийности в районе. Наглядно показатели ДД в Приморском районе Санкт-Петербурга за 2023 год представлены на рисунке 2 [6].

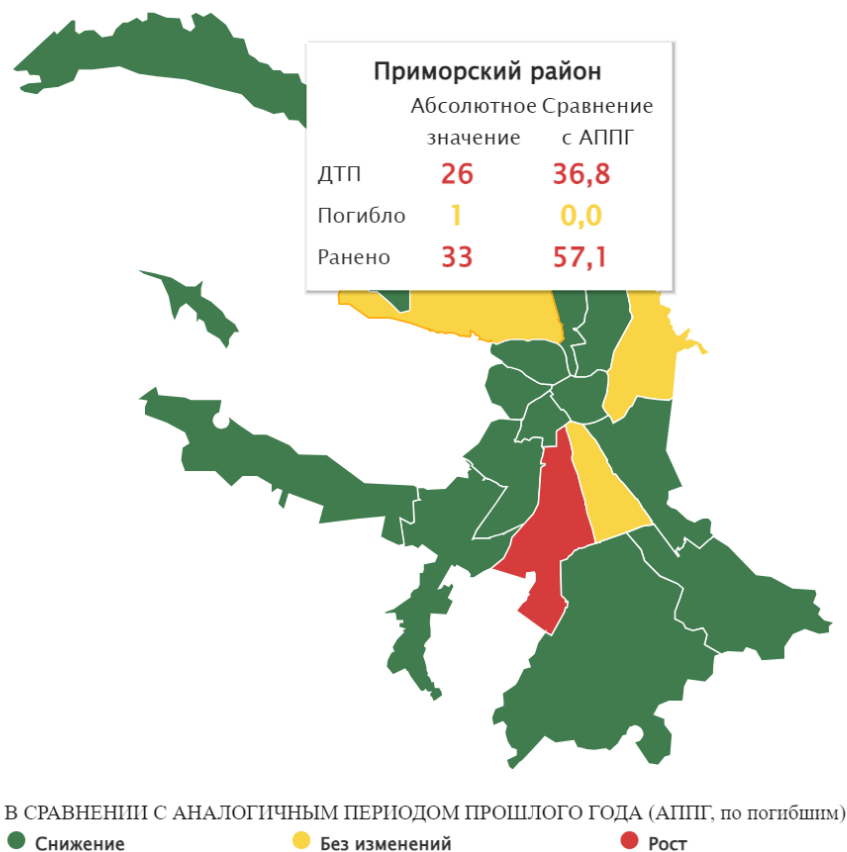


Рис. 2. Сведения о показателях дорожного движения в Приморском районе Санкт-Петербурга за 2023 год

По данным ГИБДД ситуация с аварийностью в Приморском районе остается без изменений по сравнению с предыдущим годом, что дает основание полагать о необходимости мер по повышению безопасности дорожного движения и снижению аварийности на особо опасных участках в выбранном районе. Кроме того, выбор района также обуславливается тем, что Приморский район – активно развивающийся и густонаселенный район,



располагающий большим количеством муниципальных учреждений, в том числе речь идет об учреждениях, требующих особого внимания к безопасности: школах, детских садах, больницах.

Активное застраивание Приморского района новыми ЖК ведет к общему числу роста проживающего там количества людей, соответственно, увеличивается и количество как личного, так и общественного транспорта, что введет к увеличению интенсивности на дороге. Все эти факторы повышают риск аварийности в районе и общей загруженности транспортной развязки в точках пересечения потоков.

Зачастую проблема конфликтных точек появляется не только из-за растущего числа населения и транспортных средств в районе, но и из-за недостаточной развитости транспортной инфраструктуры в местах построения новых ЖК.

Об этом может свидетельствовать уровень аварийности Приморского района за 2023 год, представленный в таблице 2 [7].

Таблица 2 – Показатели аварийности Приморского района за 2023 г.

<b>ПРИМОРСКИЙ РАЙОН</b>	Количество
Всего ДТП	12939
ДТП с пострадавшими	329
Всего ранено/ в т.ч. детей	357/41
Всего погибло/ в т.ч. детей	8/0
ДТП по вине водителей	213
ДТП по вине пешеходов	61

В связи с тем, что Санкт-Петербург является городом миллионником, то загруженность на дорогах является весьма логичным следствием, в том числе и в Приморском районе. Места концентрации загруженности на некоторых участках района представлены на рисунке 3.

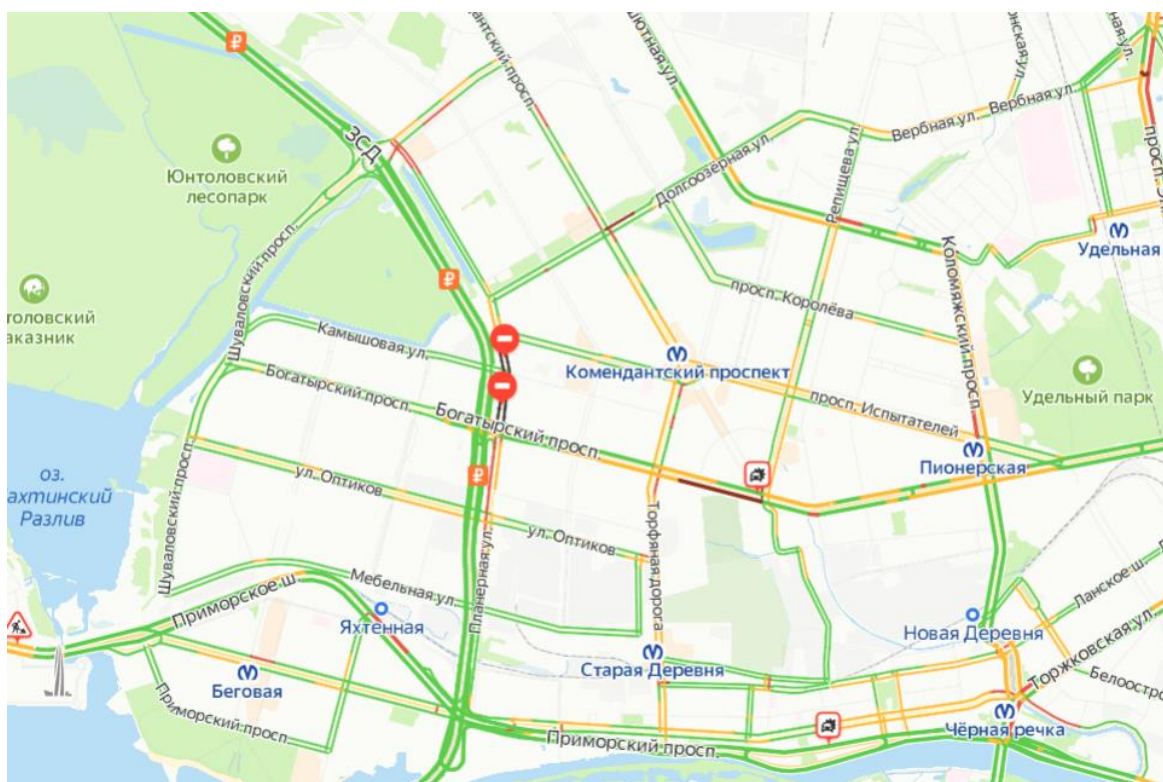


Рис. 3. Некоторые места концентрации пробок Приморского района



Приморский район считает одним из спальных районов Санкт-Петербурга, поэтому самый пик загруженности приходится на утреннее и вечернее время, когда люди едут на работу и обратно. Зачастую именно перекрестки являются проблемными местами из-за пересечения дорог, где порой регулирования светофорами бывает недостаточным.

Среди одних из самых аварийных перекрестков можно отметить перекресток: проспект Испытателей и Коломяжского у станции метро Пионерская. На рисунке 4 также можно увидеть загруженность этого участка.

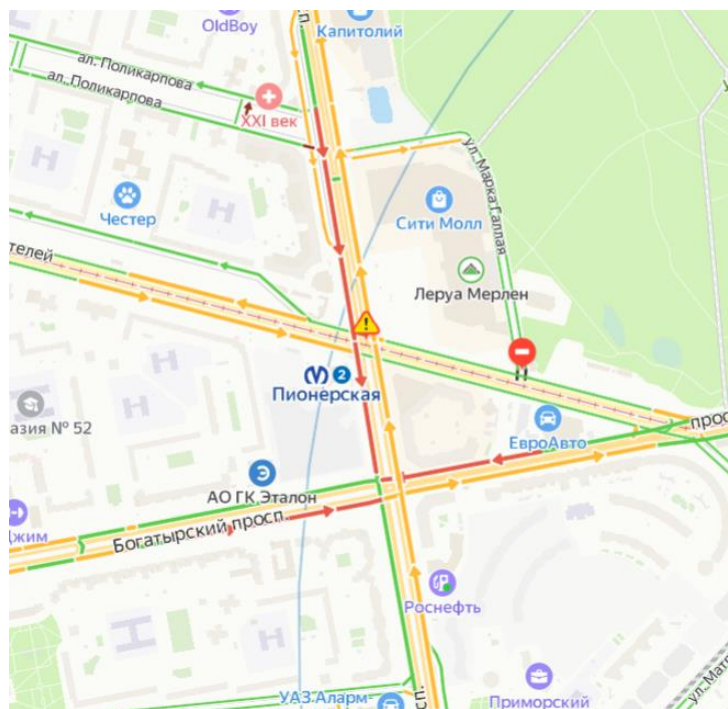


Рис. 4. Перекресток высокой загруженности и аварийности: проспекта Испытателей и Коломяжского

### **Разработка предложений по повышению безопасности дорожного движения в Приморском районе Санкт-Петербурга**

В рамках нашего исследования и разработки предложений по повышению безопасности выбирается одно из мест концентрации ДТП и высокой загруженности в Приморском районе.

С целью снижения аварийности на данном критическом полигоне улично-дорожной сети можно предложить следующий комплекс мероприятий:

1. Поддержание эксплуатационной надежности дорог, особенно при смене сезонов. Данное предложение релевантно по причине того, что дороги являются не мало важной частью транспортной системы. Чем выше их качество, тем меньше издержек будет возникать в связи с поломками транспортных средств из ненадлежащего качества дорожного покрытия, особенно учитывая активную тенденцию к увеличению интенсивности движения, а, соответственно, к более активной изношенности дорожного покрытия. Кроме того, данной предложение отвечает национальному проекту «Безопасные качественные дороги», целью которого является увеличение протяженности отремонтированных дорог, соответствующих международным стандартам качества, сроки реализации проекта с 2018 по 2030 гг [8, 11].

2. Регулирование скоростного режима на отдельных участках транспортного полигона необходимо для контроля водителей, которые превышают допустимую скорость движения на определенных участках дорог, особенно в районах больниц и образовательных учреждений [9, 6]. Как уже ранее упоминалось, по статистике, в одном только Приморском



районе Санкт-Петербурга в 2023 году насчитывается до 12939 случаев ДТП, в том числе с летальными исходами [7].

3. Оптимизация светофорного регулирования на особо конфликтных точках. Несмотря на то, что район уже оснащен светофорами, важно поддерживать их работу в оптимальном режиме, следить за тем, чтобы устаревшие светофорные объекты заменялись и при необходимости реконструировались, а также некоторые светофоры необходимо оснастить дополнительными секциями [10, 129].

4. Введение АСУДД, предназначенная для обеспечения эффективного управления транспортными потоками на автомобильной дороге, на транспортных развязках, а также процессами содержания и ремонта автомобильной дороги [11, 31].

5. Переоборудование перекрестков в т-образные или круговые при возможности. По результатам исследований «переустройство X-образного перекрестка переводит грязный режим движения транспортного потока (с 32 конфликтными точками) в более чистый, плавный режим непрерывного кругового движения. Поскольку такое движение достаточно редко вызывает остановку транспортного средства (при условии приоритета кругового движения), пропускная способность перекрестков повышается» [12].

6. Ограничения на определенные маневры ТС, установка дорожных знаков и дорожная разметка заявлены в требованиях в КСОДД (Комплексной схеме организации дорожного движения), однако требуют постоянного технического обслуживания и обновления для надежной эксплуатации.

Какой из них окажется наиболее эффективным подтвердится в ходе дальнейшего построения имитационной модели и результатов расчетов типовых ситуаций с возникновением ДТП с учетом внедрения разработанных предложений.

### **Заключение**

В данной статье было рассмотрено общее состояние дорожно-транспортной системы в России и уровень ее аварийности, а также возможные причины роста количества ДТП. Было выявлено, что общая тенденция стремится к уменьшению общего числа ДТП, однако в последние несколько лет стремительного спада не фиксируется.

Было установлено, что Санкт-Петербург находится примерно в середине рейтинга общей аварийности России. Также были рассмотрены основные проблемы и причины аварийности и загруженности Санкт-Петербурга, к которым относят в первую очередь неготовность транспортной инфраструктуры к смене сезонов, а также нарушения правил ДД ее участниками. А также приведена статистика аварийности за 2023 год.

Была описана транспортная ситуация в Приморском районе, которую нельзя считать удовлетворительной. Рассмотрены причины сложившейся ситуации на дорогах Приморского района Санкт-Петербурга, а также приведена статистика ДТП, согласно которой дорожно-транспортная система в этом районе требует регулирования. Рассмотрены наиболее загруженные и аварийные участки и выбран участок для дальнейшего предложения по улучшению его безопасности.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. МВД РФ: Тенденция к снижению основных показателей аварийности на дорогах в России сохраняется [Электронный ресурс]. – URL: <https://мвд.рф/news/item/13141808> (дата обращения: 09.03.2024).
2. *Агре Н. В.* Безопасность и культура дорожного движения [Электронный ресурс] // Мониторинг. 2015. №1 (125). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/bezopasnost-i-kultura-dorozhnogo-dvizheniya> (дата обращения: 06.03.2024).
3. Риа Рейтинг: Рейтинг регионов РФ по аварийности на дорогах за I полугодие 2023 года [Электронный ресурс]. – URL: <https://riarating.ru/infografika/>



- 20230814/630247009.html (дата обращения: 17.03.2007).
4. Комитет по развитию транспортной инфраструктуры Санкт-Петербурга: Комплексная схема организации дорожного движения Санкт-Петербурга на период до 2033 года [Электронный ресурс]. – URL: <https://krti.gov.spb.ru/dorozhnyj-kompleks/kompleksnaya-shema-organizacii-dorozhnogo-dvizheniya-sankt-peterburga/> (дата обращения 07.03.2024).
  5. УМВД России по Приморскому району г. Санкт-Петербурга. – URL: <https://приморск.78.мвд.рф/document/22912775> (дата обращения 13.03.2024).
  6. ГАИ: Показатели состояния безопасности дорожного движения [Электронный ресурс]. – URL: <http://stat.gibdd.ru/> (дата обращения 07.03.2024).
  7. Муниципальный округ ЮНТОЛОВО: Аварийность в Приморском районе за 2023 г. [Электронный ресурс]. – URL: <http://untolovo.org/?p=15268> (дата обращения 07.03.2024).
  8. Воробьев В. С. Концепция повышения эффективности содержания и реконструкции инженерных сооружений автомобильных дорог / В. С. Воробьев, О. А. Бендер, Е. А. Карелина, К. В. Каталымова // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. – 2018. – № 2(45). – С. 11-18.
  9. Патент № 2737957 С1 Российская Федерация, МПК В60К 31/00. Способ контроля и регулирования скоростного режима транспортного средства: № 2020104733: заявл. 03.02.2020; опубл. 07.12.2020 / А. Г. Белков.
  10. Джабиева К. Т. Оптимизация светофорного регулирования на городских перекрестках / К. Т. Джабиева // Труды молодых ученых Владикавказского научного центра РАН. – 2014. – Т. 14, № 1. – С. 128-132.
  11. Тумашев А. И. Автоматизированная система управления дорожным движением (АСУДД) [Электронный ресурс] // Инновационная наука. 2022. №11-1. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/avtomatizirovannaya-sistema-upravleniya-dorozhnym-dvizheniem-asudd> (дата обращения: 14.03.2024).
  12. RBC: Принципы работы развязки с круговым движением и преимущества по сравнению с Х-образным перекрестком [Электронный ресурс]. – URL: <https://companies.rbc.ru/id/1022900525834-ooo-avtodorozhnyj-konsalting/> (дата обращения 07.03.2024).

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

### **Трофимова Ирина Владимировна**

Магистр кафедры системного анализа и логистики  
Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения  
190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А  
E-mail: tr0fim0wa1@yandex.ru

## INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

### **Trofimova Irina Vladimirovna**

Graduate student of the Department of Systems Analysis and Logistics  
Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation  
67, Bolshaya Morskaya str., Saint-Petersburg, 190000, Russia  
E-mail: tr0fim0wa1@yandex.ru



## ОБЗОР ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИИ И ПРОГРАММНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОТОКОВ В ГОРОДСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМАХ

**Д. Д. Варкентин**

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

*Работа посвящена перспективам развития общественного пассажирского транспорта, анализу возможностей улучшения работы городского пассажирского транспорта путём получения информации при помощи обработки больших объемов данных с помощью информационных технологий и современного программного обеспечения.*

*В данной статье рассматриваются методы улучшения работы общественного транспорта с использованием современных технологий и учетом потребностей пассажиров. Подчеркивается важность применения информационных технологий и анализа больших объемов данных для улучшения планирования и эксплуатации общественного транспорта.*

*Ключевые слова: общественный транспорт, большие объемы данные, источники данных, информационные технологии, система пассажирского транспорта, спрос, опросы, транспортные потоки.*

**Для цитирования:**

*Варкентин, Д. Д. Обзор информационных технологий и программных систем для исследования потоков в городских транспортных системах / Д. Д. Варкентин // Системный анализ и логистика. – 2024. – № 4(42). – с. 57-64. DOI: 10.31799/2077-5687-2024-4-57-64.*

## OVERVIEW OF INFORMATION TECHNOLOGY AND SOFTWARE SYSTEMS FOR THE STUDY OF FLOWS IN URBAN TRANSPORT SYSTEMS

**D. D. Varkentin**

St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

*The work is devoted to the prospects for the development of public passenger transport, the analysis of opportunities to improve the operation of urban passenger transport by obtaining information using big data processing using information technology and modern software.*

*This article discusses methods to improve the operation of public transport using modern technologies and taking into account the needs of passengers. The importance of using information technology and big data analysis to improve the planning and operation of public transport is emphasized.*

*Keywords: transport, big data, data sources, information technology, passenger transport system, demand, surveys, traffic flows.*

**For citation:**

*Varkentin, D. D. Overview of information technology and software systems for the study of flows in urban transport systems / D. D. Varkentin // System analysis and logistics. – 2024. – № 4(42). – p. 57-64. DOI: 10.31799/2077-5687-2024-4-57-64.*

### **Введение**

В связи с постоянным ростом населения мегаполисов и расширением их территорий возникает необходимость интенсивного развития дорожной инфраструктуры, а также модернизации общественного транспорта с целью повышения комфорта, доступности и обеспеченности городского населения в перевозках.

Основной задачей в процессе развития и функционирования транспортной системы города является достижение соответствия между отдельными ее подсистемами с учетом удовлетворения потребностей населения и всех отраслей хозяйства в первую очередь соответствия между параметрами магистральной сети и транспортной нагрузки. Многообразие задач по обслуживанию производства и населения крупных городов делает транспортную проблему междисциплинарной, требующей участия в ее решении специалистов разного профиля: транспортников, социологов, экономистов и др.

Городской пассажирский транспорт имеет не только экономическое, но и большое социальное значение, т.к. влияет на жизнедеятельность общества и окружающую среду. С



работой транспорта тесно связаны темпы экономического развития страны, рост благосостояния и жизненного уровня населения, повышение культуры общества, улучшение его здоровья и укрепление социального оптимизма. Исходя из этого, проблема развития системы городского пассажирского транспорта представлена двумя задачами – изучение спроса на транспортные услуги со стороны производства и населения, а также организация необходимых предложений. Для их решения используются различные методы – анализ спроса, как задача концептуальная, решается методами общественных наук (разделы социологии), разработка предложений – методами естественных наук (математическое моделирование) [1]. Анкетное обследование передвижений к местам работы (учебы) выполняют, как правило, одновременно с переписью населения и проводят по месту жительства [2].

В последнее время важным аспектом также стало внедрение новых технологий для улучшения эффективности функционирования транспортной инфраструктуры, таких как электронные билетные системы, мониторинг движения транспорта, системы подсчета пассажиров и др. Применение новых технологий, улучшает работу и упрощает процессы использования пассажирского транспорта, а также открывает новые возможности для анализа данных с целью дальнейшего улучшения работы пассажирского транспорта.

### **Методики исследования городского пассажирского транспорта с применением информационных технологий.**

Планирование и эксплуатация общественного транспорта уже включает в себя множество источников данных. Продолжающаяся оцифровка общественного транспорта делает доступными новые источники данных и значительно увеличивает объем доступных данных в последние годы и десятилетия. Эти источники данных, в свою очередь, генерируют большой объем данных в самых разных форматах и скоростях. Тем не менее, многие проблемы при планировании общественного транспорта в настоящее время возникают из-за отсутствия последовательной информации, и транспортные компании в настоящее время не могут использовать весь потенциал своих данных. Применение методов науки о данных к огромному объему данных в общественном транспорте может стать ключом, необходимым для заполнения информационного пробела и обеспечения основы для дальнейшего расширения общественного транспорта [3].

Для формирования данных могут использоваться, следующие современные информационные источники, такие как:

- автоматизированные системы контроля оплаты проезда;
- автоматизированные системы подсчета пассажиров;
- автоматизированные системы определения местоположения транспортных средств;
- датчики состояния автомобиля;
- мобильный телефон пользователя.

В последнее время во всём мире увеличивается количество работ, связанных с применением источниками больших объемов данных и информационных источников на общественном транспорте.

В статье "Исследование потенциала методов обработки и анализа данных для устойчивого общественного транспорта" говорится о возможном применении информационных источников данных на транспорте, для возможности их дальнейшего анализа в целях улучшения работы транспортной системы. Также в ней говорилось о разработке панели, предназначенной для визуализации и обработки данных, взятых из информационных источников на транспорте, для графического анализа спроса на перевозки.

В статье "Анализ взаимодействия между характеристиками зон влияния автобусных остановок и снижением пассажиропотока во время локдаунов COVID-19" с помощью анализа данных пассажиропотока за 2017-2019, было рассчитано отклонение спроса на пассажирский



транспорт в различных зонах влияния в период пандемии. В данной работе отклонение было связано с землепользованием в различных участках города, для того чтобы улучшить работу транспорта в период пандемии, была разработана новая методология ГИС, позволяющая определять эти характеристики по большому объему данных с высокой пространственной детализацией и точно соотносить их с отдельными автобусными остановками. После обработки данных было разработано несколько моделей множественной линейной регрессии для определения переменных, связанных с различными видами деятельности и изменениями мобильности во время локдауна, которые могут объяснить изменение спроса из-за пандемии COVID-19. Для каждой автобусной остановки определялось общее количество жителей в зоне влияния путем создания 300-метровой буферной зоны вокруг каждой остановки, количество жителей было определено в соответствии с переписью населения. Каждому зданию был присвоен средний доход на одного жителя, учитывая общий доход каждого здания в пределах буферной зоны. Таким образом, анализ учитывал различные характеристики дохода участков переписи вокруг каждой остановки. Также нежилые здания были поделены по видам землепользования, им был присвоен коэффициент в соответствии с их влиянием на транспортный спрос.

Различные виды землепользования были выбраны на основе их связи с видами деятельности, которые были ограничены в различные рассматриваемые периоды, и их статистической значимости в более суровый период изоляции. Наконец, были выбраны семь видов землепользования: образовательные учреждения, магазины второстепенной важности, супермаркеты, офисы, больницы и предприятия гостиничного бизнеса [4].

По данным анализа можно сделать вывод, о том, где транспорт будет наиболее востребован в период локдаунов. По итогу наиболее устойчивый спрос оказался в районах с высокой плотностью населения и низким уровнем дохода. Вместе с тем, положительно влияло на спрос наличие в районах магазинов первой необходимости и больниц.

Также при помощи источников данных и применения информационных технологий на общественном транспорте в статье "Развитие системы помощи пассажирам для повышения привлекательности местного общественного транспорта", был представлен ряд концепций, которые могут сделать пользование транспортом более удобным за счёт применения новых технологий. Представленные в статье системы помощи направлены на повышение привлекательности общественного транспорта за счет снижения барьеров для использования, тем самым способствуя устойчивому поведению путешественников.

Выявлены три основных барьера: переполненные транспортные средства, пропущенные стыковки и неудобства при транспортировке сумок и багажа. Для решения этих проблем были разработаны следующие вспомогательные системы: информационная система, информирующая пассажиров об уровне заполненности транспортных средств, мониторинг стыковочных рейсов [5].

Была разработана вспомогательная система, при которой в случае, если транспортное средство прибывает с опозданием на контролируемую пересадку, а задержка выезда другого транспортного средства возможна без недопустимых негативных эксплуатационных последствий, водитель получает приказ подождать от ответственного информационно-планировочного центра через бортовой компьютер. Пассажиры получают обновленную информацию о запрошенной пересадке через дисплей в транспортном средстве или мобильное приложение, также сами могут запрашивать пересадки через мобильные приложения и бортовые компьютеры.

Кроме того, был проведен опрос среди жителей, о том, что в данных системах помощи они считают более важным. Была затронута тема дальнейшего развития общественного транспорта. Например: на что пассажиры с наибольшей вероятностью согласятся в обмен на низкую заполняемость: более длительное ожидание следующей стыковки, более длительную продолжительность поездки или большее количество пересадок.

В статье «Уровень удовлетворенности студентов университетов различными видами



транспорта» рассматривалась удовлетворенность жителей греческого города Салоники общественным транспортом. Был проведен онлайн опрос о работе разных видов транспорта в зоне города.

Первый раздел вопросника включал следующие шесть вопросов: а) пол, б) возраст, с) семейное положение, d) ежемесячный доход, e) уровень образования и f) муниципалитет по месту жительства. Вопросы от а до e позволяли пользователям выбирать свой ответ из списка (возможных ответов), в то время как для вопроса f пользователи могли свободно отвечать по своему усмотрению. Второй раздел вопросника включал восемнадцать вопросников [6]. В которых были вопросы о частоте использования различных видов транспорта и уровне удовлетворенности от их использования.

Для определения уровня удовлетворенности от использования общественного транспорта были использованы вопросы и показатели:

- Доступность была сопоставлена с ценой билета на общественный транспорт.
- Безопасность сопоставлялась с воспринимаемым уровнем безопасности при использовании общественного транспорта.
- Легкость получения сопоставлялась с легкостью посадки и высадки из общественного транспорта.
- Частота была сопоставлена с частотой движения общественного транспорта.
- Надежность сопоставлена соответствию согласованности движения, которую описывали администраторы и операторы общественного транспорта [6].

Основные вопросы включали четыре ответа на шкалу согласия, которую использует алгоритм:

- a) полностью согласен (10 баллов),
- b) в некоторой степени согласен (6,6 баллов),
- c) в некоторой степени не согласен (3,3 балла),
- d) категорически не согласен (0 баллов).

По итогу опросов, ходьба и частные автомобили были оценены позитивно по большинству показателей, в то время как общественный транспорт был оценен более негативно. Похоже, что частные автомобили считались очень удобными, особенно пассажирами, также они обеспечивали высокий уровень автономии. С другой стороны, их основным недостатком, как его выявили водители, стало негативное влияние пробок на дорогах. Общественный транспорт получил низкие оценки по большинству показателей удовлетворенности: частоте движения маршрутов, процессу посадки-высадки и безопасности, что указывает на то, что качество предоставляемых услуг является недостаточным. Таким образом, при помощи онлайн опроса была получена информация о том, что следует улучшить в работе общественного транспорта и что является важным для потенциальных пассажиров.

В статье «Влияние изменения климата на устойчивость городского транспорта к сложным экстремальным явлениям» был произведен прогноз устойчивости объектов транспортной системы к экстремальным явлениям. При помощи глубокого обучения нейронной сети, был создан прогноз на основе данных, собранных с прошлых событий связанных с экстремальными явлениями, связанными как с человеческими, так и природными факторами.

Модель прогнозирования на основе глубокого обучения совместной сверточной нейронной сети графов и технологии географической информационной системы (ГИС) также может быть использована для создания пространственно-временного динамического моделирования устойчивости транспорта, которое может быть тесно интегрировано со встроенной ГИС-технологией [7].

Информация, описывающая работу прогнозной модели строящийся с использованием машинного обучения, была изложена в практикуме: «Введение в технологии моделирования



транспортных процессов». Модель ищет в прошлом ситуацию похожую на текущую, и в качестве прогноза выдаёт, как события развивались дальше. Прогноз, основанный на предыстории, сравнивается с последующим развитием событий [8].

Также машинное обучение может применяться для таких целей как: распознавание дорожных знаков, обнаружение пешеходов, предупреждение о столкновении, адаптивный круиз-контроль и помощь при удержании полосы движения. Машинное обучение лежит в основе разработки беспилотных автомобилей, позволяя им воспринимать окружающую среду, принимать решения и безопасно перемещаться, также технологии машинного обучения применяются для множества прогнозных моделей.

Благодаря развитию информационных технологий, появилось множество программ позволяющих реализовать моделирование транспортных процессов и вести динамическую обработку больших данных. Кроме того, возможно упрощение анализа этих данных и вывод их в виде динамических графиков и динамических процессов с использованием агентов, которые моделируют поведение реального объекта.

Агентное моделирование – это ряд взаимодействий существующих активных объектов, которые отражают объекты и отношения в реальном мире, упрощают понимание и управления совокупностью сложных социальных и бизнес-процессов [9]. Большинство имеющихся исследований, посвященных моделированию работы объектов транспортной инфраструктуры, нацелены на анализ построенной имитационной модели и оптимизацию параметров её работы [10].

Примером современной программы для моделирования является Vissim. С помощью Vissim можно создавать 3D-модели дорожной сети и транспортных потоков, включая различные виды транспорта, такие как автомобили, автобусы, грузовики, трамваи и т.д. В программе можно задавать параметры скорости движения, времени сигналов светофоров. Она хорошо подходит для проверки влияния изменений в дорожной инфраструктуре на качество транспортного потока.

В ходе моделирования в программе Vissim участка дорожной сети Красносельского шоссе, на примере модели, воссозданной по данным потоков в пиковое время, удалось вычислить проблемные места на участке. В результате проведения экспериментов в программе удалось улучшить транспортную ситуацию, по средствам добавления дополнительных светофоров на выездах из торгового центра. При работе светофоров режиме координированного регулирования движения, со светофором расположенном на пересечение с Колобановской улицей, удалось добиться значительных улучшений движения на пересечении шоссе с улицей. Анализ результатов моделирования, таких как интенсивность движения и длина очереди, полученных с помощью детекторов транспорта в программе, подтвердил значительное улучшение дорожной ситуации на данном участке. Схема модели представлена на рисунке 1.

На диаграмме, изображенной на рисунке 2, произведено сравнение результатов, показывающее значительные улучшения показателей транспортного потока, уменьшение максимальной и средней длин очереди на участке Красносельского шоссе. За счёт уменьшения конфликтных зон на выездах из торгового центра, удалось значительно сократить количество остановок транспортных средств, также по итогу возросло число проехавших машин.

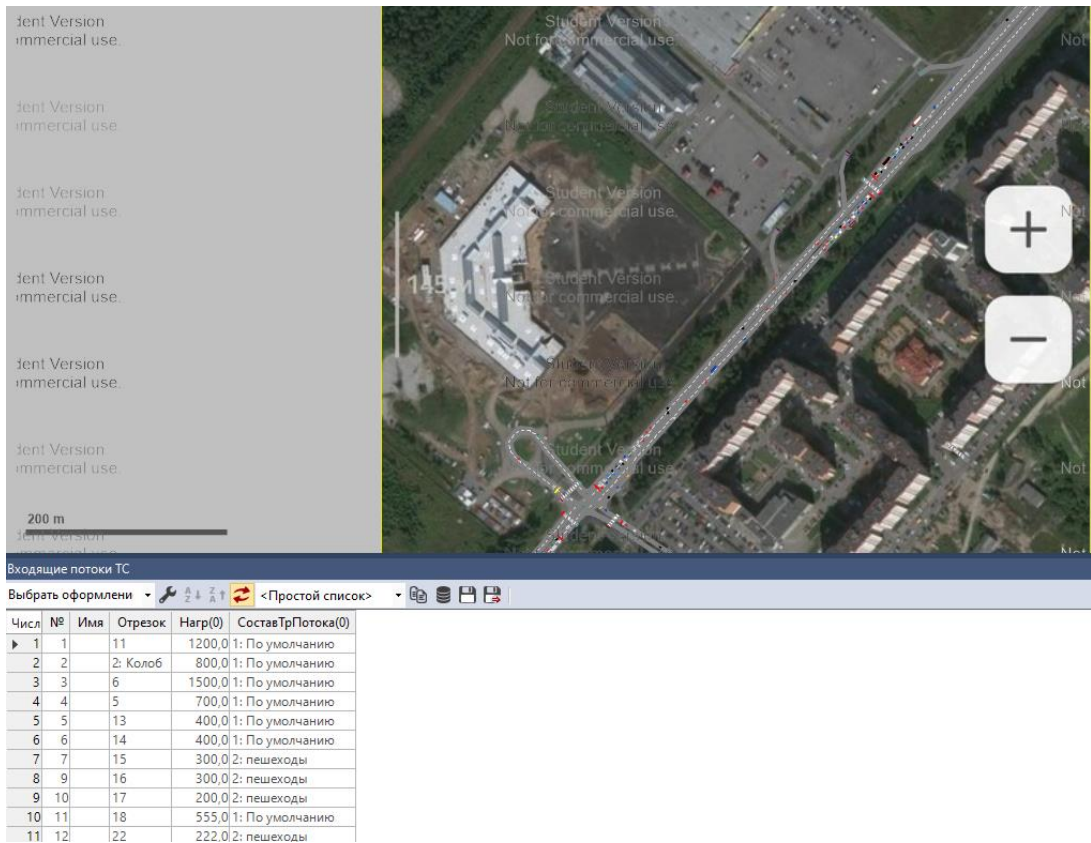


Рис. 1. Схема модели в Vissim

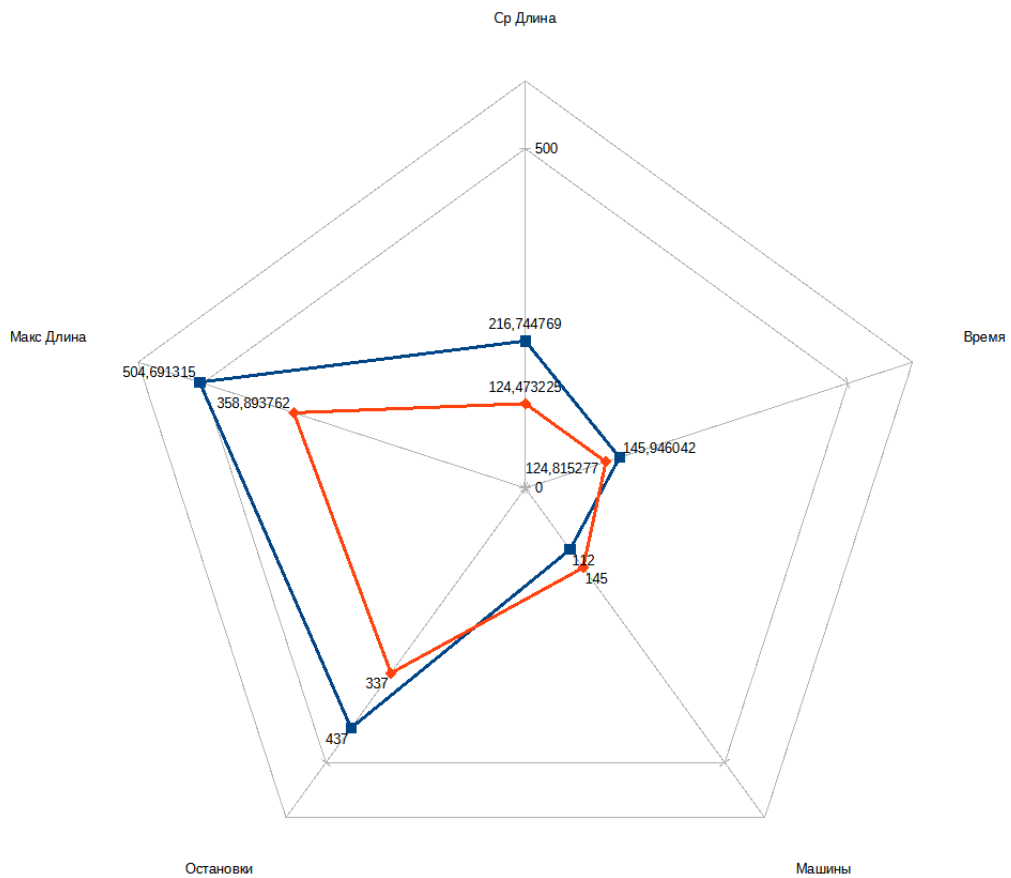


Рис. 2. Диаграмма изменений характеристик транспортного потока



По итогам экспериментов в Vissim на 39% уменьшилась длина очереди по Красносельскому шоссе, на 22% увеличилось количество проехавших машин и на 15% уменьшилось время в пути. Кроме улучшения дорожного движения, установка светофорного регулирования на выезде из ТЦ снизит аварийность на данном участке, за счёт того, что выезжающие на шоссе с ТЦ водители не будут мешать основному движению.

Таким образом, можно сказать, что в последних исследованиях в области общественного транспорта набирают популярность информационные технологии: они открывают возможности для моделирования транспортных процессов, упрощают прогнозирование дальнейшего развития транспортной системы, упрощают сбор больших данных о транспорте и опыте его использования со стороны пассажиров, помогают упростить процессы, связанные с использованием общественного транспорта.

### **Заключение**

В целом, последние исследования показывают, что информационные технологии становятся все более распространенными в сфере транспорта, поскольку они обеспечивают возможность сбора и анализа большого объема данных. Это позволяет определить направление развития отрасли и принять меры по улучшению общественного транспорта. Очевидно, что большинство исследований направлены не только на прогнозирование спроса, но и на увеличение популярности пассажирского транспорта.

Новые технологии позволяют не только выявить проблемные места в системе общественного транспорта, но и исследовать причины низкого спроса на общественный транспорт и предпочтения в пользу автомобильных поездок, благодаря использованию онлайн-опросов и других методов массовой оценки. Это открывает возможности для разработки более эффективных стратегий развития общественного транспорта и улучшения его доступности и качества обслуживания.

Исследования с применением методов обработки больших объемов данных, получаемых при помощи информационных систем, набирает популярность. Появляются новые программные инструменты способные собирать и рассчитывать большие объемы данных. Также получило развитие разработка само обучаемых программ, которые способны решать задачи в зависимости от ситуации.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. *Сафронов Э. А.* Транспортные системы городов и регионов. / Э. А. Сафронов. – Издательство Ассоциации строительных вузов 2005. – 276 с.
2. *Лобанов Е. М.* Транспортная планировка городов. / Е. М. Лобанов. – М.: Транспорт, 1990. – 238с.
3. *Keller C.* Investigating the Potential of Data Science Methods for Sustainable Public Transport. / C. Keller, F. Glück, C. F. Gerlach, T. Schlegel // Sustainability. – 2022. – № 14, 4211. – 26 p.
4. *Montero-Lamas Y.* Analysis of the Relationship between the Characteristics of the Areas of Influence of Bus Stops and the Decrease in Ridership during COVID-19 Lockdowns. / Y. Montero-Lamas, A. Orro, M. Novales, F.-A. Varela-García // Sustainability. – 2022. – № 14, 4248. – 19 p.
5. *Faulhaber A. K.* Development of a Passenger Assistance System to Increase the Attractiveness of Local Public Transport. / A. K. Faulhaber, J. Hegenberg, S. E. Kahnt, F. Lambrecht, D. Leonhäuser, S. Saake, F. Wehr, L. Schmidt, C. Sommer // Sustainability. – 2022. – № 14, 4151. – 17 p.
6. *Bouhouras E.* Level of Satisfaction among University Students Using Various Transport Modes. / E. Bouhouras, S. Basbas, G. Mintsis, C. Taxiltaris, M. Miltiadou, A. Nikiforiadis, M. N. Konstantinidou, E. Mavropoulou // Sustainability. – 2022. – № 14, 4001. – 14 p.



7. *Ji T.* The Impact of Climate Change on Urban Transportation Resilience to Compound Extreme Events. / T. Ji, Y. Yao, Y. Dou, S. Deng, S. Yu, Y. Zhu, H. Liao // Sustainability. – 2022. – № 14, 3880. – 16 p.
8. *Андронов С. А.* Введение в технологии моделирования транспортных процессов: практикум / С. А. Андронов. – Издательство ГУАП, 2021. – 109 с.
9. *Майоров Н. Н.* Имитационное моделирование сложных транспортных систем: учебно-методическое пособие / Н. Н. Майоров, В. Е. Таратун – Издательство ГУАП, 2019. – 75 с.
10. *Волкова Е. М, Колесова В. М.* Построение городской транспортной системы на базе интеллектуальных технологий [Электронный ресурс] // Азиатско-Тихоокеанский регион: Экономика электронный научный журнал 2021. N 1. – URL: [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_45590352\\_58873727.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_45590352_58873727.pdf) (дата обращения: 30.05.2024).

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

**Варкентин Данил Дмитриевич**

Аспирант кафедры системного анализа и логистики  
Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения  
190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А  
E-mail: danil98wark@gmail.com

### INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

**Varkentin Danil Dmitrievich**

Postgraduate student of the Department of System Analysis and Logistics  
Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation  
67, Bolshaya Morskaya str., Saint-Petersburg, 190000, Russia  
E-mail: danil98wark@gmail.com