

DOI: 10.12731/2227-930X-2023-13-1-212-228

УДК 625.85



## АНАЛИЗ ФИЗИЧЕСКИХ КАЧЕСТВ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ОБРАЗЦОВ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИХ СОБСТВЕННЫХ РЕЗОНАНСНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

*А.А. Горбачев, А.А. Воробьев,  
О.Д. Покровская, Я.В. Кукушкина*

***Состояние вопроса.** В настоящей статье представлен анализ физических качеств асфальтобетонных образцов дорожного покрытия и их собственных резонансных характеристик, влияющих на надежность и долговечность дорожного полотна. Актуальность и практическое значение рассматриваемого в статье вопроса определяется тем, что анализ спектрального резонанса асфальтобетона может дать ответ на вопрос о причине возникновения причины разрушения дороги и помочь принять решение о ремонте или замене дорожного полотна.*

***Материалы и/или методы исследования.** Использованы методы эксперимента, системного анализа, сопоставления. В качестве материала были взяты асфальтобетонные образцы дорожных покрытий с различными наполнителями, которые широко используются для дорожного покрытия. В качестве аппаратуры исследования использовался приемник резонансных частот и фотоаппарат.*

***Результаты.** В работе представлен анализ физических свойств различных асфальтобетонных составов дорожного покрытия и их собственных резонансных характеристик может быть применен для экспресс-диагностирования состояния дорожного полотна с целью принятия решения о его ремонте или замене.*

***Заключение.** В статье выполнено определение основных элементов асфальтной смеси и проведена оценка качества асфальт-*

ной смеси на этапе изготовления и определения основных физических показателей.

**Ключевые слова:** дорожное покрытие; спектр резонанса; резонансные составляющие; спектральные составляющие

**Для цитирования.** Горбачев А.А., Воробьев А.А., Покровская О.Д., Кукушкина Я.В. Анализ физических качеств асфальтобетонных образцов дорожного покрытия и определение их собственных резонансных характеристик // International Journal of Advanced Studies. 2023. Т. 13, № 1. С. 212-228. DOI: 10.12731/2227-930X-2023-13-1-212-228

## ANALYSIS OF THE PHYSICAL QUALITIES OF ASPHALT CONCRETE PAVEMENT SAMPLES AND DETERMINATION OF THEIR OWN RESONANT CHARACTERISTICS

**A.A. Gorbachev, A.A. Vorobyov,  
O.D. Pokrovskaya, Ya.V. Kukushkina**

**Background.** This article presents an analysis of the physical qualities of asphalt concrete pavement samples and their own resonant characteristics affecting the reliability and durability of the roadway. The relevance and practical significance of the issue considered in the article is determined by the fact that the analysis of the spectral resonance of asphalt concrete can answer the question of the cause of the destruction of the road and help to make a decision on the repair or replacement of the roadway.

**Materials and/or methods.** Methods of experiment, system analysis, comparison were used. Asphalt concrete samples of road surfaces with various fillers, which are widely used for paving, were taken as the material. A resonant frequency receiver and a camera were used as the research equipment.

**Results.** *The paper presents an analysis of the physical properties of various asphalt concrete pavement compositions and their own resonant characteristics can be used for express diagnostics of the condition of the roadway in order to make a decision on its repair or replacement.*

**Conclusion.** *The article defines the main elements of the asphalt mixture and evaluates the quality of the asphalt mixture at the manufacturing stage and determines the main physical indicators.*

**Keywords:** *road surface; resonance spectrum; resonance components; spectral components*

**For citation.** *Gorbachev A.A., Vorobyov A.A., Pokrovskaya O.D., Kukushkina Ya.V. Analysis of the Physical Qualities of Asphalt Concrete Pavement Samples and Determination of Their Own Resonant Characteristics // International Journal of Advanced Studies, 2023, vol. 13, no. 1, pp. 212-228. DOI: 10.12731/2227-930X-2023-13-1-212-228*

Развитие автомобильных путей сообщения, усиления их роли в развитии автомобильного движения, играет большую роль в развитии экономики страны. В частности, при совершенствовании транспортно-логистической инфраструктуры транспортных коридоров [1-3], при управлении цепями поставок [4-7], финансово-экономического обоснования решений [8-10] и управления транспортной системой страны в целом [11-14].

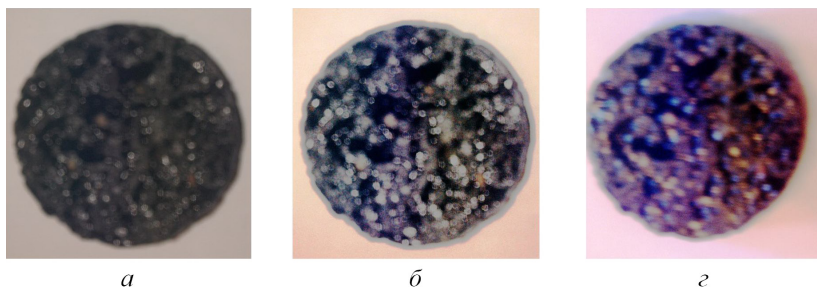
Совершенствование дорожного полотна предполагает создание принципиально новых образцов дорожного покрытия, способных увеличить надежность, долговечность, устойчивость и экологическую безопасность автомобильных дорог. Немаловажным фактором улучшения свойств автомобильной дороги является и снижение уровня шума от дорожного полотна. Особое внимание в этом случае уделяется снижению шума в местах стыков (мосты, эстакады, путепроводы и т.д.) и на пересечениях с железнодорожными путями.

Автомобильное полотно в ходе эксплуатации подвержено разрушению ввиду движения по нему различных транспортных

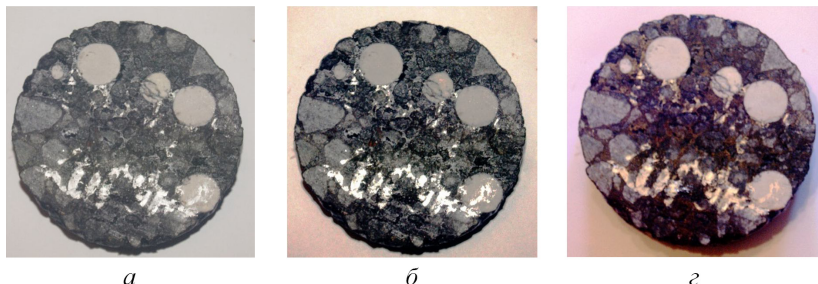
средств, влияния климатических факторов и подвижности грунта. Наиболее частые разрушения – это трещины в полотне и выбоины, которые приводят к снижению безопасности движения и нарушению экологической безопасности. Поэтому основным требованием к дорожному полотну является: надежность, долговечность и устойчивость материала автомобильного полотна. Выбор полотна, которое должно отвечать основным требованиям, это определение из каких элементов и связующего материала оно состоит. Определение основных элементов асфальтной смеси и оценка качества асфальтной смеси необходимо контролировать на этапе изготовления и определения основных физических показателей [15, 16].

В качестве материала были взяты асфальтобетонные образцы дорожных покрытий с различными наполнителями, которые широко используются для дорожного покрытия. В качестве аппаратуры исследования использовался приемник резонансных частот, позволяющих зафиксировать спектр асфальтобетонной смеси, а также фотоаппарат, регистрирующий цветное отражение при различных освещениях.

На рис. 1-3 изображены три образца с различными накопителями: габбро, гранит крупный и гранит мелкий. Структура отражения световых потоков позволяет более подробно рассмотреть структуру образцов, увидеть их наполнение и распределение по поверхности.



**Рис. 1.** Образец дорожного покрытия (габбро с резиновым покрытием) при различных видах отражения света  
а – отражение в исходном виде освещения, б – отражение в желтом световом потоке, г – отражение в световом потоке, близком к солнечному



*а* *б* *в*  
**Рис. 2.** Образец дорожного покрытия (гранит крупный)  
при различных видах отражения света



*а* *б* *в*  
**Рис. 3.** Образец дорожного покрытия (гранит мелкий)  
при различных видах отражения света

На Фото 1 изображен спектр резонанса каждого образца. Каждый образец характеризуется своими спектральными составляющими.

Если образец с накопителем габбро характеризуется отсутствием низкочастотных составляющих от 0 Гц до 45 Гц, то у гранитных составляющих (крупной и мелкой фракций) низкочастотные составляющие присутствуют и могут использоваться на дорожных покрытиях, где вероятность выбоин и разрыва полотна наиболее вероятна.

На рис. 4 и 5 показаны образцы с различными наполнителями: габбро и корунд, керн и габбро. Отражательная способность светового потока существенно не отличается. Также, практически не отличаются и резонансные составляющие (Фото 2).

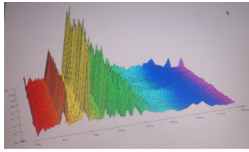


рис. 1

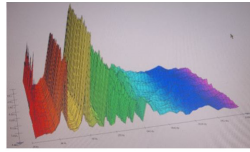


рис. 2

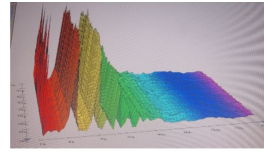
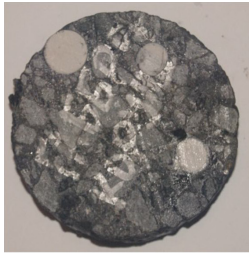
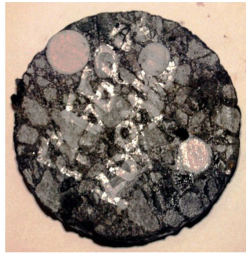


рис. 3

**Фото 1.** Спектры собственной резонансной частоты образцов дорожного полотна, представленных на соответствующих рисунках



а



б



в

**Рис. 4.** Образец дорожного покрытия (габбро, корунд) при различных видах отражения света



а



б



в

**Рис. 5.** Образец дорожного покрытия (керна, габбро) при различных видах отражения света

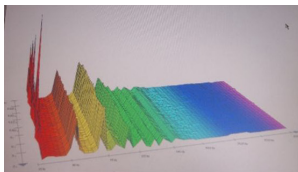


рис. 4

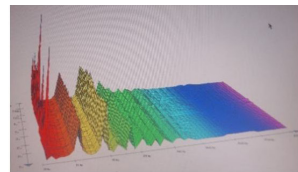
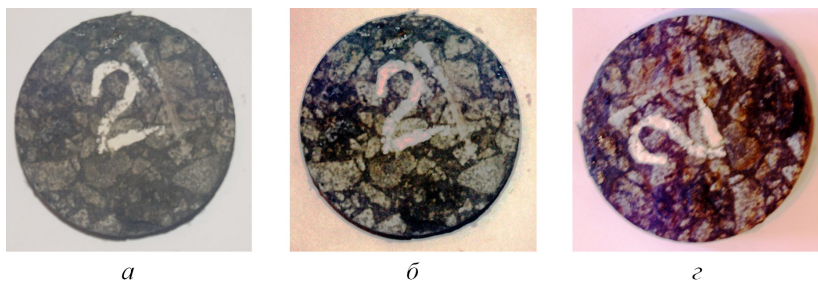


рис. 5

**Фото 2.** Спектры собственной резонансной частоты образцов, представленных на соответствующих рисунках

На рис. 6 и 7 изображены два образца с одинаковыми наполнителями, но отличающиеся по объемам наполнения и срокам использования в дорожном полотне. Цветовая гамма отличается по яркости отражения. Так же образцы отличаются по спектральным составляющим их амплитудных составляющих. Образец, который год проработал на полотне дорожного покрытия имеет низкие амплитуды спектральных составляющих (Фото 3). Следовательно, спектральные составляющие начинают стареть и уменьшают свои механические свойства, что может привести к рассыпанию полотна и образованию выбоин на дороге [17-19].



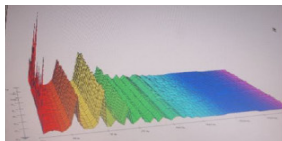
**Рис. 6.** Образец дорожного покрытия (кern, габбро) при различных видах отражения света



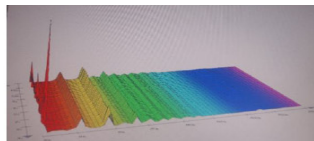
**Рис. 7.** Образец дорожного покрытия (кern, габбро) через год в дорожном полотне при различных видах отражения света

На рис. 8-10 изображены образцы с частично измененными наполнителями: габбро-корунд, габбро-базальт, габбро с покры-

тием 0244. Отражение светового потока образцов на рис. 8 и 10 имеет схожие по цветовой гамме отражения (Фото 4).



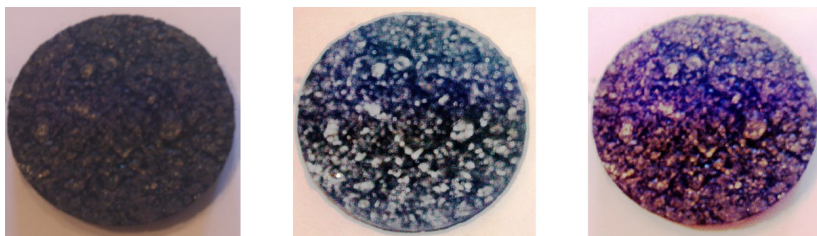
*рис. 6*



*рис. 7*

**Фото 3.** Спектры собственной резонансной частоты образцов, представленных на соответствующих рисунках

Образец габбро-базальт имеет другую световую отражательную структуру. Спектральный резонанс образцов на рис. 8 и 10 имеет схожую спектральную картинку. Образец на рис. 9 имеет спектральный образ отличный от предыдущих образцов. Здесь преобладают более низкочастотные составляющие и в области низкочастотных составляющих присутствует колебательный процесс диапазона очень низких частот, который охватывает единицы Гц.



**Рис. 8.** Образец дорожного покрытия (габбро, корунд) при различных видах отражения света



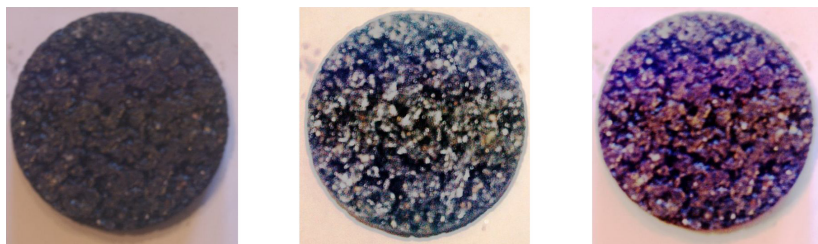
*а*

*б*

*в*

**Рис. 9.** Образец дорожного покрытия (габбро, базальт) при различных видах отражения света



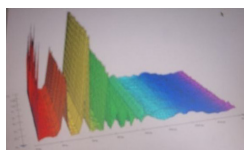


*а*

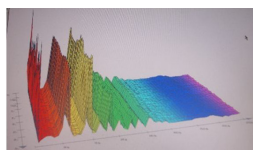
*б*

*г*

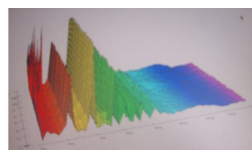
**Рис. 10.** Образец дорожного покрытия (габбро с покрытием 0244) при различных видах отражения света



*рис. 8*



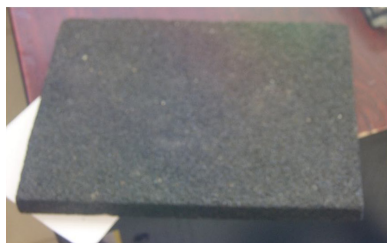
*рис. 9*



*рис. 10*

**Фото 4.** Спектры собственной резонансной частоты образцов, представленных на соответствующих рисунках

На рис 11 изображен образец с различными видами спектральных пространственных характеристик. Резонансная составляющая имеет равномерную амплитудно-частотную характеристику (Фото 5). Это позволит данному образцу сопротивляться различным видам ударного воздействия и может широко использоваться на участках с железнодорожно-автомобильными переходами.

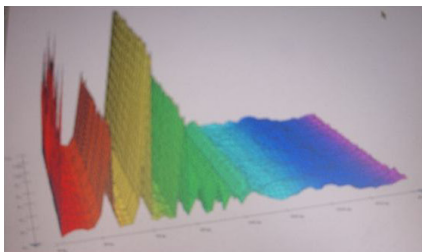


*а*



*г*

**Рис. 11.** Образец дорожного покрытия при различных видах отражения света  
*а* – отражение в исходном виде освещения, *г* – отражение в световом потоке, близком к солнечному



**Фото 5.** Спектры собственной резонансной частоты образца, представленном на рис. 11

На рис. 12 показан образец, который принципиально не может использоваться для дорожных покрытий, так как в его составе отсутствует связующее покрытие необходимой вязкости. На световом отражении уже сформировались возможные трещины и разрывы покрытия. Спектр частотной резонансной системы (Фото 6) содержит в своем составе частотные характеристики в диапазоне 5000-20000 Гц, что приведет к разрыву полотна на несколько независимых участков.



*a*

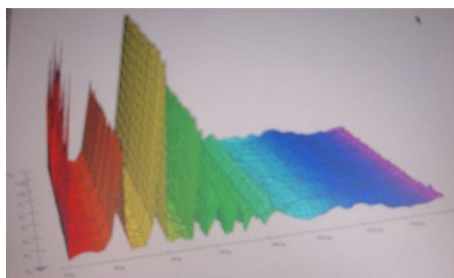


*б*

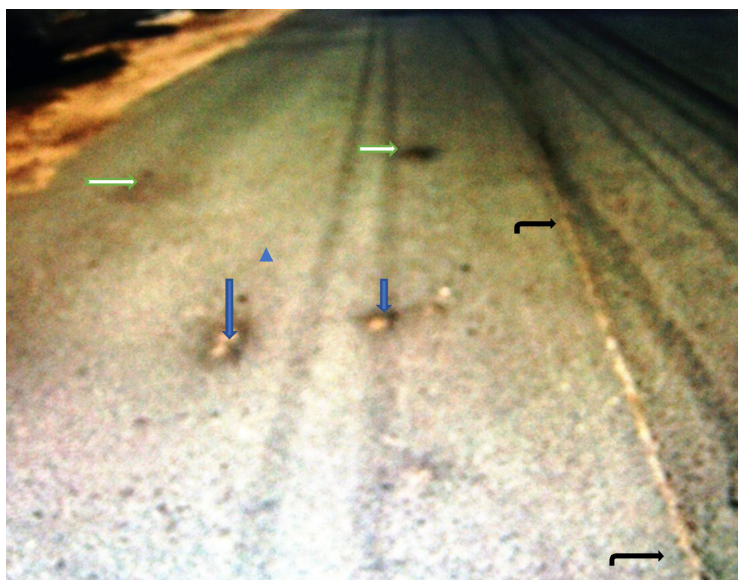
**Рис. 12.** Образец дорожного покрытия при различных видах отражения света

В рассмотренных асфальтобетонных образцах поднимается два физических процесса: отражательный процесс светового излучения и анализ собственной резонансной частоты, а также влияние собственной частоты на долговечность, надежность и уменьшение шума окружающей среды от автомашин на автодорогах. Физиче-

ские свойства асфальтобетонных образцов позволяют не только в лабораторных условиях совершенствовать технические характеристики асфальтобетонных покрытий, но и использовать полученные результаты непосредственно для контроля автодорожного полотна на предмет определения причин возникновения выбоин и разрыва полотна.



**Фото 6.** Спектры собственной резонансной частоты образца, представленного на рис. 12



**Фото 7.** Особенность светоотражения дорожного покрытия с элементами выбоин и разрыва полотна

На фото 7 показан принцип использования светоотражения полотна образованных выбоин, а также потенциальных выбоин и разрыва полотна. Синие стрелки говорят о выбоинах, зеленые стрелки о потенциальных выбоинах, черные стрелки о разрыве полотна. Для устранения разрушения полотна необходимо знать, что является причиной.

Для этого надо провести оценку собственного резонанса полотна в нескольких местах и определить, что является причиной образования разрыва полотна и выбоин на дороге. Такой анализ спектрального резонанса асфальтобетона может дать ответ на причину возникновения причины разрушения дороги и помочь принять решение о ремонте или замене дорожного полотна [17-19].

Таким образом, представленный в статье анализ физических свойств различных асфальтобетонных составов дорожного покрытия и их собственных резонансных характеристик может быть применен для экспресс-диагностирования состояния дорожного полотна с целью принятия решения о его ремонте или замене.

### *Список литературы*

1. Покровская О.Д. Логистические накопительно-распределительные центры как основа терминальной сети региона. Монография. Новосибирск, 2012. 184 с.
2. Покровская О.Д. Состояние транспортно-логистической инфраструктуры для угольных перевозок в России // Инновационный транспорт. 2015. № 1 (15). С. 13-23.
3. Покровская О.Д. О терминологии объектов терминально-складской инфраструктуры // Мир транспорта. 2018. Т. 16. № 1 (74). С. 152-163.
4. Покровская О.Д. Логистическая классность железнодорожных станций // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. 2018. № 2 (38). С. 68-76.
5. Покровская О.Д. Логистические транспортные системы России в условиях новых санкций // Бюллетень результатов научных исследований. 2022. № 1. С. 80-94.

6. Мохонько В.П., Исаков В.С., Куренков П.В. Ситуационное управление перевозочным процессом // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. 2004. № 11. С. 14.
7. Мохонько В.П., Исаков В.С., Куренков П.В. Проблемы создания ситуационно-аналитической системы управления перевозочным процессом на железнодорожном транспорте// Бюллетень транспортной информации. 2004. № 9. С. 22.
8. Формирование системы финансового менеджмента: теория, опыт, проблемы, перспективы/ Коллективная монография: Сафронова А.А., Рудакова Е.Н., Куренков П.В. и др. Москва, 2018. 228 с.
9. Куренков П.В., Вакуленко С.П. Финансово-экономическое решение проблемы пригородных перевозок // Экономика железных дорог. 2012. № 12. С. 96.
10. Баритко А.Л., Куренков П.В. Организация и технология внешне-торговых перевозок// Железнодорожный транспорт. 1998. № 8.
11. Дроздова М.А. Международные санкции как средства регулирования мировой экономики // Инновационные подходы развития экономики и управления в XXI веке. Сборник трудов III Национальной научно-практической конференции. Федеральное агентство железнодорожного транспорта, ФГБОУ ВО ПГУПС, 2020. С. 113-116.
12. Дроздова М.А., Кравченко Л.А. Антиглобализм в контексте современного международного экономико-правового дискурса // Вестник Волжского университета им. В.Н. Татищева. 2020. Т. 1. № 3 (96). С. 247-253.
13. Дроздова М.А., Кравченко Л.А., Панков Д.А. Цифровая экономика и инфляция в период пандемии // Инновационные подходы развития экономики и управления в XXI веке. Сборник трудов III Национальной научно-практической конференции. ФГБОУ ВО ПГУПС, 2020. С. 11-14.
14. Дроздова М.А., Фурсова Е.А. Цифровизация отрасли железнодорожных перевозок: проблемы и успехи // III Бетанкуровский международный инженерный форум. Сборник трудов. 2021. С. 119-121.

15. Буйло С.И. Диагностика предразрушающего состояния материалов по параметрам амплитудного распределения сигналов сопутствующего акустического излучения / С. И. Буйло // Дефектоскопия. 2012. № 11. С. 32–45.
16. Клаасен К.Б. Основы измерений. Электронные методы и приборы в измерительной технике. М.: Постмаркет, 2000. 352 с.
17. Власов И.Н., Штанько А.Б. Расчет голографических интерферограм отраженных объектов//Материалы IV Всесоюзной школы по голографии. Л.: ЛИЯФ, 1977. С. 259 -268.
18. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. М.: Наука, 1973. 719 с.
19. Вьюно Ж.Ш., Смичильский П., Рауте А. Оптическая голография: развитие и применение / Под ред. Ю.Н. Денисюка. М.: 1973.

### *References*

1. Pokrovskaya O.D. Logistic storage and distribution centers as the basis of the region's terminal network. Monograph. Novosibirsk, 2012. 184 p.
2. Pokrovskaya O.D. The state of transport and logistics infrastructure for coal transportation in Russia // Innovative transport. 2015. No. 1 (15). pp. 13-23.
3. Pokrovskaya O.D. On the terminology of objects of terminal and warehouse infrastructure // World of Transport. 2018. V. 16. No. 1 (74). pp. 152-163.
4. Pokrovskaya O.D. Logistic class of railway stations // Bulletin of the Ural State University of Communications. 2018. No. 2 (38). pp. 68-76.
5. Pokrovskaya O.D. Logistic transport systems of Russia in the context of new sanctions // Bulletin of the results of scientific research. 2022. No. 1. S. 80-94.
6. Mokhonko V.P., Isakov V.S., Kurenkov P.V. Situational management of the transportation process // Transport: science, technology, management. Scientific information collection. 2004. No. 11. P. 14.
7. Mokhonko V.P., Isakov V.S., Kurenkov P.V. Problems of creating a situational-analytical system for managing the transportation process in railway transport // Bulletin of transport information. 2004. No. 9. P. 22.

8. Formation of the financial management system: theory, experience, problems, prospects / Collective monograph: Safronova A.A., Rudakova E.N., Kurenkov P.V. and others. Moscow, 2018. 228 p.
9. Kurenkov P.V., Vakulenko S.P. Financial and economic solution to the problem of suburban transportation // Economics of Railways. 2012. No. 12. P. 96.
10. Baritko A.L., Kurenkov P.V. Organization and technology of foreign trade transportation// Railway transport. 1998. No. 8.
11. Drozdova M.A. International sanctions as a means of regulating the world economy // Innovative approaches to the development of economics and management in the XXI century. Proceedings of the III National Scientific and Practical Conference. Federal Agency for Railway Transport, FGBOU VO PGUPS, 2020. P. 113-116.
12. Drozdova M.A., Kravchenko L.A. Anti-globalism in the context of modern international economic and legal discourse // Bulletin of the Volga University. V.N. Tatishchev. 2020. Vol. 1. No. 3 (96). pp. 247-253.
13. Drozdova M.A., Kravchenko L.A., Pankov D.A. Digital economy and inflation during the pandemic // Innovative approaches to the development of economics and management in the XXI century. Proceedings of the III National Scientific and Practical Conference. FGBOU VO PGUPS, 2020. S. 11-14.
14. Drozdova M.A., Fursova E.A. Digitalization of the railway transportation industry: problems and successes // III Betancourt International Engineering Forum. Collection of works. 2021, pp. 119-121.
15. Buylo S.I. Diagnostics of the pre-destructive state of materials by the parameters of the amplitude distribution of the signals of the accompanying acoustic radiation / SI Builo // Defectoscopy. 2012. No. 11. P. 32-45.
16. Klaasen K.B. Fundamentals of measurements. Electronic methods and devices in measuring technology. M.: Postmarket, 2000. 352 p.
17. Vlasov I.N., Shtanko A.B. Calculation of holographic interferograms of reflected objects//Materials of the IV All-Union School of Holography. L.: LIYaF, 1977. S. 259 -268.
18. Born M., Wolf E. Fundamentals of optics. M.: Nauka, 1973. 719 p.

19. Vyuno Zh.Sh., Smicilsky P., Raute A. Optical holography: development and application / Ed. Yu.N. Denisyuk. M.: 1973.

### **ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ**

**А.А. Горбачев**, к.т.н., начальник кафедры (применения подразделений и частей материального обеспечения)

*Военная академия МТО имени генерала армии А.В.Хрулева  
Набережная Макарова, 8, г. Санкт-Петербург, 199034,  
Российская Федерация  
goraa02@mail.ru*

**А.А. Воробьев**, д.т.н., доц., заведующий кафедрой «Наземные транспортно-технологические комплексы»

*Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I  
пр-т Московский, 9, г. Санкт-Петербург, 190031, Российская Федерация  
nttk@pgups.ru*

**О.Д. Покровская**, д.т.н., доцент, и.о. заведующего кафедрой «Управление эксплуатационной работой»

*Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I  
пр-т Московский, 9, г. Санкт-Петербург, 190031, Российская Федерация  
insight1986@inbox.ru*

**Я.В. Кукушкина**, к.т.н., доцент кафедры «Управление эксплуатационной работой»

*Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I  
пр-т Московский, 9, г. Санкт-Петербург, 190031, Российская Федерация  
kukushkina@pgups.ru*



## DATA ABOUT THE AUTHORS

**A.A. Gorbachev**, Candidate of Technical Sciences, Head of the Department (Application of divisions and parts of material support)  
*Military Academy of Logistics named after General of the Army  
A.V. Khruleva*

*8, Makarova embankment, St. Petersburg, 199034, Russian  
Federation*

*goraa02@mail.ru*

**A.A. Vorobyov**, Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of “Ground Transport and Technological Complexes”

*Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University  
9, Moskovsky Ave., St. Petersburg, 190031, Russian Federation*

*nttk@pgups.ru*

**O.D. Pokrovskaya**, Doctor of Technical Sciences, Acting Head of the Department of “Operational Work Management”

*Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University  
9, Moskovsky Ave., St. Petersburg, 190031, Russian Federation*

*insight1986@inbox.ru*

**Ya.V. Kukushkina**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of “Operational Work Management”

*Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University  
9, Moskovsky Ave., St. Petersburg, 190031, Russian Federation*

*kukushkina@pgups.ru*

Поступила 10.01.2023

После рецензирования 25.01.2023

Принята 29.01.2023

Received 10.01.2023

Revised 25.01.2023

Accepted 29.01.2023