

13. Evstigneev V.D. Tekhnologiya podgotovki, ispol'zovaniya i utilizatsii otkhodov lesopileniya kak sorbenta v tekhnicheskikh sredstvakh obespecheniya ekologicheskoi bezopasnosti [Technology of preparation, use and utilization of sawmill waste as a sorbent in technical means of ensuring environmental safety]. StudArctic forum. Iss. 1 (1), 2016. DOI: 10.15393/j102. art. 2016. 102 [Electronic media]. URL: <http://saf.petsrusu.ru/journal/article.php?id=102> (Accessed: 21.10.2020).

14. Sposob polucheniya aktivirovannogo uglya iz drevesnykh opilok i melkoi shchepy i ustanovka dlya ego osushchestvleniya [Method for obtaining activated carbon from sawdust and small chips and installation for its implementation]. Pat. 1058762, Russian Federation: CL. C 01 B 31/10, 1992. URL: [https://yandex.ru/patents/doc/RU2104926C1\\_19980220](https://yandex.ru/patents/doc/RU2104926C1_19980220).

15. Pashayan A.A., Nesterov A.V. Sozdanie neftepgloshchayushchikh sorbentov sovmestnoi utilizatsiei drevesnykh opilok i neftyanykh shlamov [Creation of oil-absorbing sorbents by joint utilization of sawdust and oil slurries]. Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta [Bulletin of Kazan Technological University], 2017. No. 9. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sozdanie-neftepgloshchayushchih-sorbentov-sovmestnoy-utilizatsiei-drevesnykh-opilok-i-neftyanyh-shlamov> (Accessed: 22.10.2020).

16. Chesnokov N.V., Mikova N.M., Ivanov I.P., Kuznetsov B.N. Poluchenie uglerodnykh sorbentov khimicheskoi modifikatsiei iskopaemykh uglei i rastitel'noi biomassy [Obtaining carbon sorbents by chemical modification of fossil coals and plant biomass]. Zhurnal SFU. Khimiya [Journal of Siberian Federal University. Chemistry], 2014. No. 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/poluchenie-uglerodnykh-sorbentov-himicheskoy-modifikatsiei-iskopaemykh-ugley-i-rastitel'noy-biomassy> (Accessed: 22.10.2020).

17. Kuznetsov B.N., Chesnokov N.V., Ivanov I.P., Veprikova E.V., Ivanchenko N.M. Metody polucheniya poristykh materialov iz lignina i drevesnoi kory (obzor) [Methods for obtaining porous materials from lignin and wood bark (a review)]. Zhurnal SFU. Khimiya [Journal of Siberian Federal University. Chemistry], 2015. No. 2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-polucheniya-poristykh-materialov-iz-lignina-i-drevesnoy-kory-obzor> (Accessed: 22.10.2020).

18. Chirkova V.S., Sobgayda N.A., Rzazade F.A. Sorbenty na osnove otkhodov agropromyshlennogo kompleksa dlya ochistki stochnykh vod [Sorbents based on agricultural waste for wastewater treatment]. Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta [Bulletin of the Kazan technological University], 2015. No. 20. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sorbenty-na-osnove-othodov-agropromyshlennogo-kompleksa-dlya-ochistki-stochnykh-vod> (Accessed: 22.10.2020).

#### Информация об авторах

*Алтынникова Екатерина Евгеньевна* – аспирант кафедры техносферной безопасности, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: [kanirina\\_msi@mail.ru](mailto:kanirina_msi@mail.ru)

*Бегунов Алексей Альбертович* – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры техносферной безопасности, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: [Begunov75@inbox.ru](mailto:Begunov75@inbox.ru)

*Русавская Наталья Владимировна* – д-р хим. наук, доцент, профессор кафедры техносферной безопасности, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: [rusnatali64@yandex.ru](mailto:rusnatali64@yandex.ru)

#### Information about the authors

*Ekaterina E. Altynnikova*, Ph.D. student of the Subdepartment of Technosphere Safety, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: [kanirina\\_msi@mail.ru](mailto:kanirina_msi@mail.ru)

*Aleksei A. Begunov* – Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, Associate Professor of the Subdepartment of Technosphere Safety, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: [Begunov75@inbox.ru](mailto:Begunov75@inbox.ru)

*Natalia V. Russavskaya* – Doctor of Chemical Science, Associate Professor, Professor of the Subdepartment of Technosphere Safety, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: [rusnatali64@yandex.ru](mailto:rusnatali64@yandex.ru)

DOI 10.26731/1813-9108.2020.3(67).100-108

УДК 656.213

## Анализ визуальных моделей технологии больших данных при мониторинге перевозочного процесса на основе хранилища рейсов грузовых вагонов

А. И. Власов<sup>1</sup>✉, А. А. Подорин<sup>1</sup>, А. Ю. Малеваный<sup>1</sup>, Д. В. Рубцов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, г. Москва, Российская Федерация

<sup>2</sup> АО «Институт экономики и развития транспорта», г. Москва, Российская Федерация

✉ [vlasovai@bmstu.ru](mailto:vlasovai@bmstu.ru)

#### Резюме

В статье проанализированы способы оценки эффективности управления перевозочным процессом. Основное внимание уделяется методам и средствам мониторинга его основных показателей. Рассмотрены структуры данных для хранения информации по вагонам и их рейсам, выявлено, что в рамках современных реалий существующие способы мониторинга недостаточно эффективны, поскольку требуется обработка объемных данных. Проведен анализ существующей структуры, обнаружено, что исходная структура данных включает в себя набор разрозненной информации, что создает сложности и неточности при мониторинге перевозочного процесса, поэтому предложена ее реструктуризация. Новая структура позволяет устранить несоответствия в грузовых операциях, разрешить сложности и сократить ошибки при мониторинге

перевозочного процесса. Для решения проблемы анализа вагоно- и грузопотоков по сети Российских железных дорог предлагается выделить новую структуру данных, которая позволит минимизировать объем хранимой информации в целевом статистическом срезе. В связи с увеличением количества и сложностью транспортных данных в качестве решения проблемы предлагается использовать технологию больших данных. Применение хранилища рейсов вагонов обеспечивает возможности мониторинга текущего перевозочного процесса и выявления проблемных направлений перевозок. Полученные результаты могут быть использованы для планирования и прогнозирования грузоперевозок. Предложенный подход к реализации хранилища значительно упрощает разработку систем анализа вагоно- и поездопотоков. Реализуемые технологии обеспечивают возможность дополнения архитектуры другими сведениями и прогнозирования фактического грузопотока, исходя из информации за прошлые периоды.

### Ключевые слова

визуальное моделирование, Российские железные дороги, макромодель, эффективность деятельности компании, перевозочный процесс на железнодорожном транспорте, процессное моделирование, международный стандарт, технология больших данных

### Для цитирования

Власов А. И. Анализ визуальных моделей технологии больших данных при мониторинге перевозочного процесса на основе хранилища рейсов грузовых вагонов / А. И. Власов, А. А. Подорин, А. Ю. Малеванный, Д. В. Рубцов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2020. – № 3(67). – С. 100–108. – DOI: 10.26731/1813-9108.2020.3(67).100-108

### Информация о статье

поступила в редакцию: 15.09.2020, поступила после рецензирования: 19.09.2020, принята к публикации: 07.10.2020

## Analysis of visual models of big data technology for transportation process monitoring based on freight railcar storage

A. I. Vlasov<sup>1</sup>✉, A. A. Podorin<sup>1</sup>, A. Yu. Malevanniy<sup>1</sup>, D. V. Rubtsov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Bauman Moscow State Technical University, Moscow, the Russian Federation

<sup>2</sup> The Institute of Economics and Transport Development AO, Moscow, the Russian Federation

✉ vlasovai@bmstu.ru

### Abstract

This article analyzes how to evaluate the efficiency of the transportation process. It is mainly focused on methods and means of monitoring its basic indicators. When considering data structures for storing information on railcars and their journeys, it was revealed that in the framework of modern realities existing monitoring methods are not effective enough, since large-scale data processing is required. After an analysis of the existing structure, it was found that the initial data structure includes a set of disparate data, which creates difficulties and inaccuracies in monitoring the transportation process. Therefore, its restructuring is proposed. The new structure provides an opportunity to eliminate inconsistencies in cargo operations, resolve difficulties and reduce errors in monitoring the transportation process. To solve the problem of analyzing railcar and cargo flows through the network of Russian railways, it is proposed to allocate a new data structure that ensures the minimization of the amount of stored information in the target statistics. As transport data increases in quantity and complexity, big data technology is proposed as a solution. The use of the railcar journey repository provides the possibility of monitoring the current transportation process and identifying problematic directions of transportation. The results can be used to plan and forecast freight transportation. The proposed approach to the implementation of the repository greatly simplifies the development of systems for analyzing railcar and train flows. Implemented technologies provide the ability to supplement the architecture with other data and forecast the actual cargo flow on the basis of data from previous periods.

### Keywords

Russian railways, visual modeling, macro model, company's performance, railway transportation process, process modeling, international standards, big data technology

### For citation

Vlasov A. I., Podorin A. A., Malevanniy A. Yu., Rubtsov D. V. Analiz vizual'nykh modeley tekhnologii bol'shikh dannykh pri monitoringe perevoznogo protsesssa na osnove khranilishcha reysov gruzovykh vagonov [Analysis of visual models of big data technology for transportation process monitoring based on freight railcar storage]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemy analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2020, No. 3(67), pp. 100–108. 10.26731/1813-9108.2020.3(67).100-108

### Article Info

Received: 15.09.2020, Revised: 19.09.2020, Accepted: 07.10.2020

**Введение**

На основе систем официальной отчетности ОАО «РЖД» проводится оценка эффективности перевозочного процесса на железнодорожном транспорте (ППЖТ) (ФЗ «О федеральном железнодорожном транспорте» от 20 июля 1995 г.). Основными исходными документами для анализа являются [1]:

- единая модель ППЖТ ГВЦ ОАО «РЖД» (ЕМПП);

- поездная и вагонная модель Автоматизированной системы оперативного управления перевозками (АСОУП);

- отправочная модель Автоматизированной системы централизованной подготовки и оформления перевозочных документов (АС ЭТРАН);

- станционная модель Автоматизированной системы управления работой станции (АСУ СТ) и др.

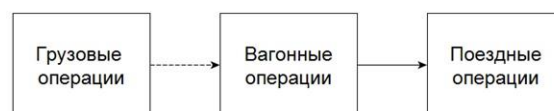
Решение задачи по мониторингу перевозочного процесса осуществляется на основе обработки базовых показателей [2]. Рассматриваемая информация о ППЖТ характеризуется событийностью. Большинство анализируемых записей несут в себе информацию о совокупности организационных и технологически взаимосвязанных действиях и операциях на железнодорожном транспорте (ЖДТ). Такой подход дает приемлемые результаты при оценке показателей подразделения (например, группы станций железной дороги), относящихся к одному объекту верхнего уровня иерархической декомпозиции исследуемой системы ЖДТ.

Данные об операциях и событиях организации ППЖТ динамически обновляются, структура организации ППЖТ усложняется, что требует дополнительных ресурсов, развития и совершенствования существующих структур данных при мониторинге.

В связи с этим в статье предлагается использовать при мониторинге ППЖТ архитектуру системы на основе технологии больших данных (АБД), которая позволяет оперировать более сложными и масштабными структурами информации.

**Обзор литературы и постановка проблемы**

Получение и аналитическая обработка статистических материалов по вагоно- и поездопотокам требует определенных временных затрат. Это определяет то, что оперативный анализ данных по вагонным и поездным операциям затруднен (рис. 1). Применяя АБД к организации структуры данных для хранения информации по вагонам и их рейсам возможно обеспечить анализ, используя агрегацию по вагонам, их отдельным характеристикам, путям следования и перцепкам [1, 2]. Предлагаемая концепция АБД легко масштабируется и может быть расширена посредством учета параметров, которые не были включены ранее.



**Рис. 1.** Классическая архитектура хранилища операций

**Fig. 1.** Classic operation repository architecture

Классическая формальная структура ППЖТ объединяет разнообразные данные. Однако в ней отсутствуют однозначные прямые связи (не отражено, какая грузовая операция связана с какой вагонной операцией и т. п.). Такой подход характеризуется сложностью учета путей следования. Несмотря на наличие таких интегральных критериев, как временные характеристики грузовых и вагонных операций, их логические процессы могут не совпадать. Неточность исходных данных при такой схеме учета требует использования дополнительных методов формализации и регламента.

Для формализации процессных моделей в последнее время широко используются различные визуальные методы, представляющие модель исследуемой системы в виде визуального каллиграфа [3]. Визуальные методы применяются на этапах концептуально-абстрактного, структурно-функционального и объектного моделирования [4, 5]. На структурно-функциональном уровне обычно применяются модели стандарта IDEF, который был предложен в рамках программы ICAM (Integrated Computer-Aided Manufacturing) (на данный момент он стандартизован в России на уровне ГОСТ) [3]. Однако для активных систем, к которым можно отнести модели ППЖТ, одним из перспективных подходов является BPMN (Business Process Model and Notation – модель и нотация бизнес-процессов) [6]. BPMN предложена «Business Process Management Initiative» (BPMI) и с 2005 г. поддерживается и развивается «Object Management Group» (OMG) [7]. Международной организацией по стандартизации принят стандарт «ISO/IEC 19510:2013. Information technology – Object Management Group. Business Process Model and Notation» [6, 7].

Для создания процессной модели ППЖТ надо ввести допущение по атомарности рассматриваемых объектов. Такой атомарной единицей в предлагаемой модели является рейс вагона (рис. 2). Он содержит характер груза и описывает путь следования вагона от одной станции погрузки до выгрузки [2]. Маршруты вагонов хранятся в виде перечня станций по сети (ЦНСИ), а также в виде списка поездов, в которых они ехали [2]. Такой подход дает возможность анализировать фактические пути следования поездов. Также возможна оценка загруженности отдельных перегонов как с детализацией до перегонов между станциями сети ЦНСИ, так и перегонов,

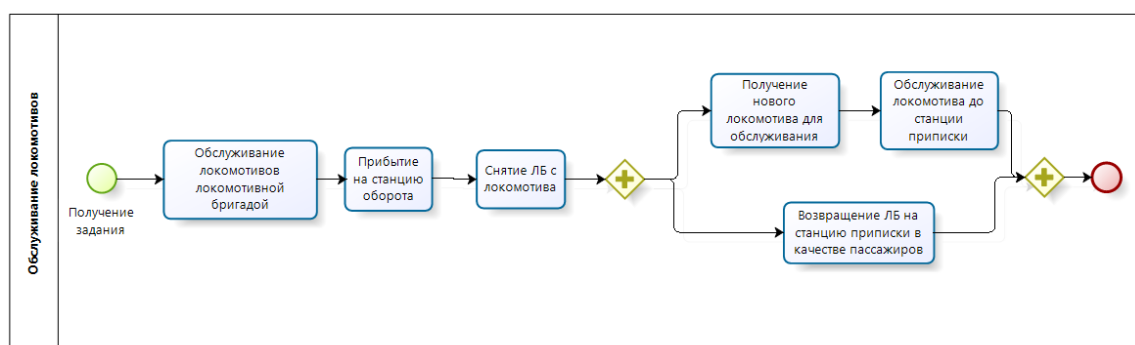


Рис. 2. Разработанная структура рейса вагона в виде процессной модели

Fig. 2. The developed structure of the railcar journey in the form of a process model

по которым фиксируются поездные операции [8–15]. Сложность решения рассматриваемой задачи обусловлена низкой структурированностью исходной задачи, отсутствием прямых ссылок между различными структурами данных, разным регламентом внесения этой информации в информационные системы ОАО «РЖД», а также отсутствием строгих стандартов по сбору и структуре данных [16–20].

Различные визуальные методы отличаются друг от друга не только составом и характером моделей, которые разрабатываются в ходе проекта, но и подходами к их формализации. Каждая модель визуального проекта включает, как правило, текстовую и графическую нотации. На каждом этапе проектирования требования к составу, структуре и полноте графической и текстовых нотаций должны быть сформированы исходя из принципа «минимальной достаточности», так как это определяет скорость и трудоемкость разработки. В модели BPMN (см. рис. 2) слои структуры располагаются на самой высокой позиции, тем самым они обозначают расширение слоев, которые находятся ниже в иерархии. Такая структура состоит из ядра, которое включает значимые элементы BPMN, используемые при построении диаграмм (процесс, хореография и взаимодействие). При этом ядро удовлетворяет требованиям по простоте, компактности, расширяемости и учитывает поведенческие аспекты [21].

Предварительный аудит исследуемого ППЖТ показал, что при учете конкретных операций используются условности и допущения. Это характеризуется отсутствием однозначности при попытке установить связи между такими данными. Следует учитывать и огромные объемы обрабатываемой информации (около 100 тыс. грузовых операций в сутки на сети). Формализация таких объемов информации требует значительных вычислительных ресурсов и временных затрат.

Первый этап формализации предполагает устранение непарностей в грузовых операциях [2]. Такие ситуации обусловлены необходимостью пересечения межгосударственных границ, где история поезда не

заканчивается. Возможны ситуации, когда поезд приходит без подачи операции «формирование» и т. п.

Создание эффективных и простых визуальных инструментов анализа процессных моделей ППЖТ позволит проводить оценку фактических путей следований, даст возможность оценивать пропускную способность железнодорожной сети.

## Методы

В связи с ростом и разнообразием транспортных данных предлагается применять технологию больших данных.

Большие данные используют наборы с размерами, превышающими возможности традиционно используемых программных приложений для хранения, управления и обработки информации в приемлемых временных рамках. Размер одного большого набора данных может варьироваться от нескольких десятков терабайт до нескольких петабайт. Исследования «Gartner» определили проблемы и возможности больших данных как трехмерные (модель 3V):

- volume – объем (увеличение объема данных);
- velocity – скорость (скорость ввода и вывода данных);
- variety – разнообразие (диапазон типов данных и их источников).

На транспорте объем информации увеличился из-за роста объема трафика, кроме того, инфраструктурный, экологический и метеорологический мониторинг также дает сведения, связанные с транспортными операциями и пользователями.

При использовании АБД скорость передачи данных увеличится благодаря улучшенным технологиям связи и средам передачи данных, а также увеличенной вычислительной мощности и скорости для их обработки [11–13]. Можно привести примеры использования АБД при мониторинге транспорта и операций, связанных с ним, в таких городах, как Джакарта, Нью-Йорк [14].

Однако внедрение АБД и их графовой интерпретации сопровождается и многочисленными проблемами – от генерации данных до развертывания услуг в масштабируемой системе [15–19].

### Обсуждение результатов

Для решения проблемы анализа вагоно- и грузопотоков по сети РЖД предлагается синтезировать новую архитектуру, которая обеспечивает минимизацию объема хранимой информации в целевом статистическом срезе – АБД.

Результатом работы является разработка АБД, которая на основе исходных данных (см. рис. 1) позволяет получить новое качество по обработке данных ППЖТ (см. рис. 2). Предлагаемая модель базируется на том, что в процессе работы не происходит полного абстрагирования от исходных данных и сохраняются ссылки на них (рис. 3). Взаимосвязь данных позволяет добиться большой гибкости при анализе вагоно- и грузопотоков.

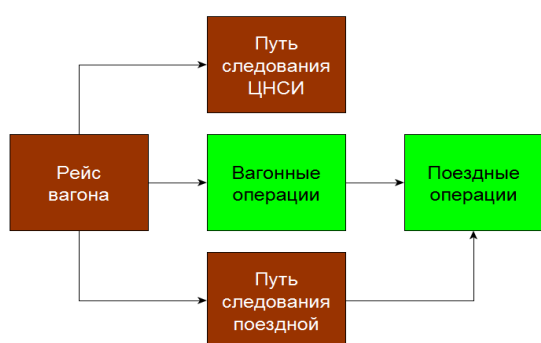


Рис. 3. Матрица взаимовлияния классической и предлагаемой структуры

Fig. 3. The interaction matrix of the classical and proposed structure

Введение хранилища рейсов позволяет упростить разработку систем анализа вагоно- и грузопотоков. Такая реализация хорошо масштабируется и позволяет в дальнейшем интегрировать в нее широкие аналитические возможности, включая инструменты предиктивной аналитики [15, 21].

Предлагаемое решение позволяет оценивать различные показатели: количество переработок вагонов на сортировочных станциях в пути следования, количество переработок в зависимости от дальности следования, выполнять построение различных многомерных статистик [20]. Анализ подобной статистической информации позволяет выявлять нарушения с затруднениями пропуска потоков, как в масштабах сети, так и в рамках отдельных путей следования [20].

Ниже представлены результаты опытной эксплуатации предлагаемого решения АБД на тестовых выборках (рис. 4, 5) [20]. Благодаря рациональному использованию дальних сквозных назначений в действующем плане формирования грузовых поездов стало возможным обеспечить количество переработок в пути следования в районе 3–5 (после рубежа в 3 000 км) (табл.).

Из приведенных диаграмм видно, что рейсы вагонов с большим числом переработок порождают не только повышенные эксплуатационные расходы, но и невыполнение сроков доставки грузов, несвоевременный подвод порожних вагонов под погрузку и требуют разработки и внедрения мер технологического воздействия [20].

Распределение количества переработок в зависимости от дальности следования  
Distribution of a number of yard operations depending on the passage range

Количество переработок, ед.	Дальность следования, км							
	до 199	200–599	600–999	1000–1999	2000–2999	3000–4999	5000–6999	7000+
Количество отправленных вагонов за месяц								
1	256 806	200 590	63 157	66 577	75 541	117 612	63 134	11 031
2	113 334	113 912	45 299	35 123	25 371	62 701	31 977	1 908
3	45 131	108 927	53 911	61 007	23 360	54 448	21 059	2 656
4	1 849	81 438	60 856	78 392	38 425	57 224	14 636	968
5	7 772	44 237	47 771	75 712	42 607	53 044	11 813	942
6	2 961	20 421	26 931	57 206	36 012	38 760	9 441	1 629
7	1 487	9 411	15 163	37 039	24 563	27 095	7 157	1 818
8	83	4 367	7 501	20 898	15 104	16 838	4 872	2 220
9	534	2 449	4 320	11 172	9 098	10 923	3 432	1 639
10	353	1 722	2 208	5 889	5 344	6 348	2 259	1 157
Средневзв. количество переработок	1,63	2,66	3,63	4,32	4,09	3,64	2,99	3,77



**Рис. 4.** Сводная статистика по количеству переработок грузе­ных вагонов  
**Fig. 4.** Summary statistics on the number of loaded railcar yard operations



**Рис. 5.** Сводная статистика по количеству переработок порожних вагонов  
**Fig. 5.** Summary statistics on the number of the empty railcar yard operations

Предлагаемая система позволяет оценивать распределения длительности выполнения грузе­ных и порожних рейсов с контролем надежности выполнения заданных временных нормативов. Такой подход позволяет производить определение мест возникновения затруднений в эксплуатационной работе для своевременной выработки мероприятий по совершенствованию ППЖТ [2, 20].

Другим направлением применения системы является прогнозирование фактического грузопотока с учетом плана погрузки с использованием в качестве основы фактический грузопоток за предыдущие периоды (предиктивный анализ). На основе обработки данных по фактическому грузопотоку возможно формировать детальный прогноз. Модуль предиктивной аналитики позволяет учитывать ранее ис-

пользуемые варианты следования, направлений погрузки, параметров доставки и другие данные по необходимости.

Основным направлением развития системы является минимизация объема хранимой информации, которая необходима для сокращения времени выполнения вычислений, а также развитие машинных алгоритмов обработки данных [2, 20].

### Заключение

Применение визуальных моделей с учетом активного характера исследуемых ППЖТ, использование ядра хранилища рейсов вагонов открывает

новые возможности, как для диагностики текущего ППЖТ и выявления проблемных направлений перевозок, так и для планирования и прогнозирования ППЖТ.

Предложенный подход к простому и наглядному визуальному представлению многомерных данных упрощает разработку систем анализа вагоно- и поездопотоков, подразумевает возможность дополнения архитектуры другими сведениями и прогнозирование фактического грузопотока исходя из данных по прошлым периодам.

### Список литературы

1. Бородин А.Ф. Технологическое обеспечение перевозочного процесса. Железнодорожный транспорт. 2013. № 3. С. 33–36.
2. Подорин А.А., Щепанов С.Л., Щепанов А.Л., Рубцов Д.В. Диагностика перевозочного процесса на основе хранилища рейсов // Сборник трудов пятой научно-технической конференции с международным участием «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование» (ИСУЖТ-2018, Москва, 14 ноября 2018 г). М.: Изд-во ОАО «НИИАС», 2018. С. 87–89.
3. Власов А.И. Системный анализ технологических процессов производства сложных технических систем с использованием визуальных моделей // Международный научно-исследовательский журнал. 2013. № 10-2 (17). С. 17–26.
4. Власов А.И. Концепция визуального анализа сложных систем в условиях синхронных технологий проектирования // Датчики и системы. 2016. № 8-9 (206). С. 19–25.
5. Власов А.И. Пространственная модель оценки эволюции методов визуального проектирования сложных систем // Датчики и системы. 2013. № 9 (172). С. 10–28.
6. Власов А.И., Гоношилов Д.С. Системный анализ производства с использованием визуальных инструментов BPMN // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2019. № 3.
7. Vlasov A.I., Gonoshilov D.S. Simulation of manufacturing systems using BPMN visual tools // Journal of Physics: Conference Series. 2019. 1353(1). art. no. 012043.
8. Kim Hee, Naveed Mushtaq, HevinÖzmen, Marten Rosselli, Roberto V. Zicari and others. Leveraging big data for managing transport operations.
9. Sánchez-Martínez G.E., Munizaga M. Workshop 5 report: Harnessing big data. Research in Transportation Economics, 2016. No. 59. Pp. 236–241. doi.org/10.1016/j.retrec.2016.10.008.
10. Zhiyuan H., Liang X., Ruihua X., Feng Z. Application of big data visualization in passenger flow analysis of Shanghai Metro network. In 2017 2nd IEEE International Conference on Intelligent Transportation Engineering: ICITE 2017: September 1–3, 2017, Singapore, 2017. Pp. 184–188. Piscataway, NJ: IEEE. doi.org/10.1109/ICITE.2017.8056905.
11. Ortuzar J. de D., Willumsen L.G. Modelling Transport. Modelling Transport, 2011. doi.org/10.1002/9781119993308.
12. Власов А.И., Новиков П.В., Ривкин А.М. Особенности планирования воздушного движения с использованием синоптических карт, построенных с применением технологий BIG DATA // Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия Приборостроение, 2015. № 6 (105). С. 46–62.
13. Кочуев А.Ю., Скорикова С.А., Хартов В.Я. Технологии виртуализации хранения данных RAID 2.0+ И STORAGE POOL // Технологии инженерных и информационных систем, 2019. № 1. С. 70–79.
14. Constantinos A. Mobility Patterns, Big Data and Transport Analytics / D. Loukas, P. Francisco Elsevier Science and Technology, 2018.
15. Коваленко М.В., Самарев Р.С. Анализ основных средств обработки графовых данных // Технологии инженерных и информационных систем, 2019. № 1. С. 87–94.
16. Палагин Ю.И. Интермодальные транспортно-логистические процессы: экспедирование, технологии, оптимизация / Ю.И. Палагин, В.А. Глинский, А.И. Мочалов. Санкт-Петербург, Издательство «Политехника», 2019. 367 с.
17. Музычин В.В. Решение транспортной задачи применительно к грузовым железнодорожным перевозкам / В.В. Музычин // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Серия: Физико-математические и технические науки, 2017. № 1. С. 38–47.
18. Артюхин В.В. Прогнозирование чрезвычайных ситуаций с помощью дискретной оптимизации и современных программных средств / В.В. Артюхин // Технологии гражданской безопасности, 2014. Т. 11. № 1 (39). С. 86–91.
19. Терешина Н.П., Подсорин В.А., Соколов Ю.И. и др. Экономика железнодорожного транспорта: вводный курс / Н.П. Терешина, В.А. Подсорин, Ю.И. Соколов, Ю.Н. Кожевников, Е.А. Иванова, М.Г. Данилина. Саратов, Издательство: Ай Пи Ар Медиа, 2019. 418 с.
20. Лаханкин Е.А. Развитие алгоритмов и программных средств проектирования технологии и нормирования работы локомотивов и локомотивных бригад в грузовом движении: сборник трудов пятой научно-технической конференции с международным участием «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и

математическое моделирование» (ИСУЖТ-2016, Москва, 17–18 ноября 2016 г). М.: Изд-во ОАО «НИИАС», 2016. С. 198–201.

21. Echeistov V.V., Krivoshein A.I., Shakhnov V.A., Filin S.S., Migalin V.S., Vlasov A.I. An information system of predictive maintenance analytical support of industrial equipment // Journal of Applied Engineering Science. 2018. Vol. 16. No. 4. Pp. 515–522.

### References

1. Borodin A.F. Tekhnologicheskoe obespechenie perevoznogo protsessa [Technological support of the transportation process]. *Zheleznodorozhnyi transport [Railway transport]*, 2013. No. 3. Pp. 33–36.

2. Podorin A.A., Shchepanov S.L., Shchepanov A.L., Rubtsov D.V. Diagnostika perevoznogo protsessa na osnove khranilishcha reisov [Diagnostics of transportation process based on journey repository]. *Sbornik trudov pyatoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem «Intellektual'nye sistemy upravleniya na zheleznodorozhnom transporte. Komp'yuternoe i matematicheskoe modelirovanie» (ISUZhT-2018, Moskva, 14 noyabrya 2018 g) [Proceedings of the fifth scientific and technical conference with international participation "Intelligent control systems on railway transport. Computer and mathematical modeling" (ISUZT-2018, Moscow, November 14, 2018)]*. Moscow: NIIAS OAO Publ., 2018. Pp. 87–89.

3. Vlasov A.I. Sistemnyi analiz tekhnologicheskikh protsessov proizvodstva slozhnykh tekhnicheskikh sistem s ispol'zovaniem vizual'nykh modelei [System analysis of technological processes of production of complex technical systems using visual models]. *Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal [International scientific research journal]*, 2013. No. 10-2 (17). Pp. 17–26.

4. Vlasov A.I. Kontsepsiya vizual'nogo analiza slozhnykh sistem v usloviyakh sinkhronnykh tekhnologii proektirovaniya [Concept of visual analysis of complex systems in conditions of synchronous design technologies]. *Datchiki i sistemy [Sensors and systems]*, 2016. No. 8-9 (206). Pp. 19–25.

5. Vlasov A.I. Prostranstvennaya model' otsenki evolyutsii metodov vizual'nogo proektirovaniya slozhnykh sistem [Spatial model of estimation of evolution of methods of visual design of complex systems]. *Datchiki i sistemy [Sensors and systems]*, 2013. No. 9 (172). Pp. 10–28.

6. Vlasov A.I., Gonoshilov D.S. Sistemnyi analiz proizvodstva s ispol'zovaniem vizual'nykh instrumentov BPMN [System analysis of production using BPMN visual tools]. *Informatsionnye tekhnologii v proektirovanii i proizvodstve [Information technologies in design and production]*, 2019. No. 3.

7. Vlasov A.I., Gonoshilov D.S. Simulation of manufacturing systems using BPMN visual tools. *Journal of Physics: Conference Series*, 2019. 1353(1). art. no. 012043.

8. K. Hee, N. Mushtaq, H. Özmen, M. Rosselli, R. V. Zicari et al. Leveraging big data for managing transport operations.

9. Sánchez-Martínez G.E., Munizaga M. Workshop 5 report: Harnessing big data. *Research in Transportation Economics*. 2016. No. 59. Pp. 236–241. doi.org/10.1016/j.retrec.2016.10.008.

10. Zhiyuan H., Liang Z., Ruihua X., Feng Z. Application of big data visualization in passenger flow analysis of Shanghai Metro network. In 2017 2nd IEEE International Conference on Intelligent Transportation Engineering: ICITE 2017: September 1–3, 2017. Singapore. 2017. Pp. 184–188. Piscataway, NJ: IEEE. doi.org/10.1109/ICITE.2017.8056905

11. Ortuzar J. de D., Willumsen L.G. Modeling Transport. *Modeling Transport*, 2011. doi.org/10.1002/9781119993308.

12. Vlasov A.I., Novikov P.V., Rivkin A.M. Osobennosti planirovaniya vozdušnogo dvizheniya s ispol'zovaniem sinopticheskikh kart, postroyenykh s primeneniem tekhnologii BIG DATA [Features of air traffic planning using SYNOPTIC maps built with the use of BIG DATA technologies]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. N.E. Baumana. Seriya Priborostroenie [Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Series Instrument Engineering]*, 2015. No. 6 (105). Pp. 46–62.

13. Kochuev A.Yu., Skorikova S.A., Khartov V.Ya. Tekhnologii virtualizatsii khraneniya dannykh RAID 2.0+ i STORAGE POOL [Technologies of data storage virtualization RAID 2.0+ and STORAGE POOL]. *Tekhnologii inzhenernykh i informatsionnykh sistem [Engineering and information systems technology]*, 2019. No. 1. Pp. 70–79.

14. Constantinos A. Mobility Patterns, Big Data Analytics and Transport. In Loukas D., Francisco P. (eds.) Elsevier Science and Technology, 2018.

15. Kovalenko M.V., Zamaraev R.S. Analiz osnovnykh sredstv obrabotki grafovyykh dannykh [Analysis of the main means of graph processing]. *Tekhnologii inzhenernykh i informatsionnykh sistem [Engineering and information systems technology]*, 2019. No. 1. Pp. 87–94.

16. Palagin Yu.I., Glinskii V.A., Mochalov A.I. Intermodal'nye transportno-logisticheskie protsessy: ekspedirovanie, tekhnologii, optimizatsiya [Intermodal transport and logistics processes: forwarding, technology, optimization]. St. Petersburg: Polytechnic Publ., 2019. 367 p.

17. Muzychin V.V. Reshenie transportnoi zadachi primenitel'no k gruzovym zheleznodorozhnym perevozkam [Solution of transport problem for freight rail transport] *Vestnik Baltiiskogo federal'nogo universiteta im. I. Kanta. Seriya: Fiziko-matematicheskie i tekhnicheskoe nauki [IKBFU's Vestnik. Series: Physics, mathematics, and technology]*, 2017. No. 1. Pp. 38–47.

18. Artyukhin V.V. Prognozirovaniye chrezvychaynykh situatsii s pomoshch'yu diskretnoi optimizatsii i sovremennykh programnykh sredstv [Forecasting Emergencies with the help of discrete optimization and modern software tools]. *Tekhnologii grazhdanskoi bezopasnosti [Civil Security Technology]*, 2014. Vol. 11. No. 1 (39). Pp. 86–91.

19. Tereshina N.P., Podsorin V.A., Sokolov Yu.I. et al. Ekonomika zheleznodorozhnogo transporta: vvodnyi kurs [Economics of railway transport: Introductory course. A textbook]. Saratov, Ai Pi Ar Media Publ., 2019. 418 p.

20. Lakhankin E.A. Razvitiye algoritmov i programnykh sredstv proektirovaniya tekhnologii i normirovaniya raboty lokomotivov i lokomotivnykh brigad v gruzovom dvizhenii [Development of algorithms and software for designing technology and



normalizing the work of locomotives and locomotive crews in freight traffic]. *Sbornik trudov pyatoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem «Intellectual'nye sistemy upravleniya na zheleznodorozhnom transporte. Komp'yuternoe i matematicheskoe modelirovanie» (ISUZhT-2016, Moskva, 17–18 noyabrya 2016 g.) [Proceedings of the fifth scientific and technical conference with international participation “Intelligent control systems on railway transport. Computer and mathematical modeling” (ISUZhT-2016, Moscow, November 17–18, 2016)]. Moscow: NIIAS OAO Publ., 2016. Pp. 198–201.*

21. Vlasov A.I., Echeistov V.V., Krivoshein A.I., Shakhnov V.A., Filin S.S., Migalin V.S. An information system of predictive maintenance analytical support of industrial equipment. *Journal of Applied Engineering Science*, 2018. Vol. 16. No. 4. Pp. 515–522.

### Информация об авторах

**Власов Андрей Игоревич** – канд. техн. наук, доцент, Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, г. Москва, e-mail: vlasovai@bmstu.ru

**Подорин Александр Андреевич** – аспирант, Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, г. Москва, e-mail: alex@podorin.ru

**Малеванный Артур Юрьевич** – магистр, Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, г. Москва, e-mail: artumall96@icloud.com

**Рубцов Дмитрий Валерьевич** – и. о. начальника отдела отделения эксплуатации железных дорог и взаимодействия транспортных систем, Институт экономики и развития транспорта, г. Москва, e-mail: dmitriy.rubtsov@gmail.com

### Information about the authors

**Andrei I. Vlasov** – Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, e-mail: vlasovai@bmstu.ru

**Aleksandr A. Podorin** – Ph.D. student, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, e-mail: alex@podorin.ru

**Artur Yu. Malevannyi** – Master’s Degree, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, e-mail: artumall96@icloud.com

**Dmitrii V. Rubtsov** – Deputy Head of the Department for Operation of Railways and Interaction of Transport Systems, Institute of Economics and Transport Development, Moscow, e-mail: dmitriy.rubtsov@gmail.com

DOI 10.26731/1813-9108.2020.3(67).108-116

УДК 621.33

## Физика и техника упрочнения полимерного изоляционного материала электрических машин тепловым излучением

**И. О. Лобыцин**✉

*Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация*

✉ lobycin@mail.ru

### Резюме

В статье рассматривается инфракрасное излучение с позиции совместимости воздействия тепловой энергии, генерируемой в излучателях различных типов, и полимерного электроизоляционного материала, применяемого в процессе изготовления или ремонта электрических машин тягового подвижного состава. Наглядно представлены результаты процесса локального нагрева коротковолновым, средневолновым и длинноволновым тепловым излучением образцов стеклослюдинитовых лент, пропитанных в жидких электроизоляционных полимерных лаках, широко используемых для изоляции обмоток электрических машин тягового подвижного состава. Произведен расширенный анализ физики и техники возникновения теплового излучения при использовании керамических излучателей, а также свойств и роли керамического покрытия в процессе образования импульсного узкополосного излучения и высокой скорости передачи тепла. С использованием классических уравнений Максвелла показана зависимость степени черноты от удельного сопротивления материала инфракрасного излучателя, а также от его температуры. С опорой на произведенные исследования получен результат использования наиболее эффективного генератора теплового инфракрасного излучения, который позволяет судить о том, что использование излучателей с низким удельным сопротивлением для восстановления электрической изоляции тел ведет к большим потерям электроэнергии, а значит энергетически неэффективно при интенсивном применении. Отмечен тот факт, что для этой цели подходят только инфракрасные излучатели со свойствами, приближенными к абсолютно черному телу, а именно керамические излучатели с затемненной поверхностью с фронтальной стороны и золотистым покрытием противоположной части. Рассмотрены перспективы развития технологии при использовании микродугового оксидирования, главным свойством которой является возможность регулирования параметров нагрева, а также возникновение модифицированных структур с особыми свойствами. Практическое применение теплового излучения в локомотивостроении позволит достичь идеально гладкой поверхности изоляционных конструкций, в частности, изоляционных пальцев кронштейнов щеткодержателей тяговых электродвигателей, что приведет к отсутствию микродефектов и пористостей, характерных для традиционной конвективной сушки.

### Ключевые слова

инфракрасное излучение, изоляционный материал, электрические машины, тяговый подвижной состав, спектральные характеристики излучателя, изоляционный палец тягового электродвигателя, электрическая прочность, удельное сопротивление