

**В. А. Грошев**

## К ВОПРОСУ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА СТАНЦИЯХ

Дата поступления: 27.11.2018

Решение о публикации: 06.02.2019

### Аннотация

**Цель:** Проанализировать исследования в области моделирования работы железнодорожного транспорта, проведенные в последнее десятилетие и посвященные технологическим процессам. Выявить и классифицировать их основные направления. **Методы:** Проведен сравнительный анализ методов, применяемых для моделирования технологического процесса работы железнодорожных станций. **Результаты:** Сформулирована обобщенная классификация направлений исследований. Определены их основные цели и математический аппарат. Отмечены способы практического применения результатов. Выявлены возможные цели и направления перспективных исследований. **Практическая значимость:** Полученные результаты могут быть использованы для ознакомления с существующими направлениями в области моделирования технологических процессов работы железнодорожных станций и развития перспективных.

**Ключевые слова:** Технологический процесс, моделирование процессов, работа станций, научные исследования, перспективные направления, автоматизация работы.

Vasilii A. Groshev, assistant, was.groshev@yandex.ru (Emperor Alexander I Petersburg State Transport University) ON THE PROBLEM OF SIMULATION OF TECHNOLOGICAL PROCESSES AT STATIONS. DOI: 10.20295/1815-588X-2019-1-87-94

### Summary

**Objective:** To analyse research in the field of simulation of rail transport operation, conducted over the last 10 years and devoted to technological processes, and identify and classify their main directions. **Methods:** Comparative analysis of the methods used to simulate the technological process of railway station operation was undertaken. **Results:** A generalised classification of research areas has been formulated, their main objectives and mathematical apparatus identified. The methods of practical application of research results are noted. Possible goals objectives and directions of prospective studies identified. **Practical importance:** The obtained results can be used for familiarisation with existing areas in the field of simulation of technological processes of railway stations, and contribute to development of promising ones.

**Keywords:** Technological process, process simulation, station operation, research, promising areas, automation.

### Введение

Нестабильность перевозочного процесса ведет к необходимости адаптации системы управления к изменяющимся условиям. Важную роль в этом играют техническое обеспе-

чение для получения достоверной, полной информации и быстрая оценка альтернативных вариантов развития событий. Также следует отметить, что устойчивость перевозочного процесса зависит от последствий отказов и надежности работы всех элементов системы

управления. В то же время развитие вычислительной техники способствует стремительному росту их производительности и обуславливает использование в различных сферах хозяйственной деятельности, включая прогнозирование ситуаций, планирование действий и формирование вариантов, для чего зачастую применяют моделирование технологических процессов.

Все вышесказанное послужило основанием для проведения исследований, посвященных вопросам моделирования работы железнодорожного транспорта [1, 2].

В данной статье сделана попытка систематизировать и классифицировать работы за период 2005–2018 гг. по направлениям деятельности, решаемым задачам и применяемым методам. При этом проводился сравнительный анализ трудов, связанных с железнодорожным транспортом, а именно с моделированием технологических процессов станций. Настоящая работа посвящена моделированию технологических процессов станций и не охватывает модели сетевого уровня (работа участков и направлений) и линейных подразделений (рис. 1). На рис. 1 [3] представлена обобщенная система классификации технологических процессов на железнодорожном транспорте.

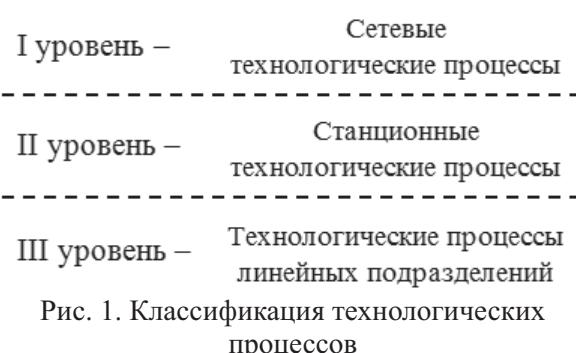


Рис. 1. Классификация технологических процессов

### **Тенденции моделирования технологических процессов работы железнодорожного транспорта**

В исследованиях, посвященных технологическим процессам работы железнодорожных станций, можно выделить следующие направления научных изысканий (таблица) в зависимости от практической направленности результатов:

- структура и организация технологического процесса [4, 5];
- разработка моделей станционного технологического процесса [6–8];
- применение моделей технологического процесса [9–11].

#### **Направления исследований технологического процесса станций**

Направление	Основной вопрос	Основной математический аппарат
Структура и организация технологического процесса	Из чего состоит технологический процесс работы станции, как взаимодействуют элементы	Системный анализ, исследование операций, теория алгоритмов, многокритериальная оценка, теория вероятности, математическая статистика
Разработка моделей технологического процесса	Как отобразить работу станции с помощью вычислительной техники	Системный анализ, исследование операций, теория вероятности, теория графов, математический аппарат моделирования, математическая статистика
Применение моделей технологического процесса	В каких сферах и для каких целей возможно применение моделей технологического процесса работы станции	Теория случайных процессов, теория множеств, теория управления, моделирование, теория принятия решений

Работы, посвященные вопросам *структуре и организации технологического процесса*, позволяют выявить и формализовать факторы, влияющие на организацию и характер взаимодействия между различными элементами технологического процесса, включая деятельность оперативного персонала, что необходимо учитывать при разработке модели технологического процесса.

В работах этого направления изучаются такие вопросы как наиболее оптимальное распределение зон управления на станции и распределение функций, выполняемых оперативным персоналом станции. Проводится оценка алгоритмов действий работников в тех или иных ситуациях, поднимается вопрос целесообразности ввода дополнительного работника той или иной квалификации, рассматриваются вопросы их взаимодействия.

Основным математическим аппаратом данного направления являются методы системного анализа и исследования операций, теория алгоритмов, многокритериальная оценка, теория вероятности, математическая статистика.

К работам, проведенным в этой области, относится диссертация К. Е. Ковалева [4]. Она посвящена вопросам распределения зон управления между оперативным персоналом крупных участковых станций, вопросу разделения функций между работниками. В ней изучаются организационные вопросы: конфигурация зон ответственности, ввод дополнительного работника (оператор или дежурный по станции – ДСП) и распределение функций, представлено алгоритмическое описание работы оперативного персонала, предложен критерий оценки его загруженности. Отмечено, что почти 75 % времени ДСП тратит на переговоры по технологической связи, ввод и считывание информации.

Примером практического результата исследований этого направления является обоснование конфигурации аппаратных средств управления релейной системой электрической централизации станции.

В работах, посвященных вопросам *моделирования стационарных технологических процессов*, оцениваются структура модели, ее поведение в различных ситуациях и техническая реализация. К ним можно отнести работы по применению различных технологий моделирования (имитационного моделирования, сетевых моделей, моделей потоков данных и т. д.) для описания деятельности объекта. В основном в них пытаются ответить на вопрос «как построить модель?». При этом тип станции (участковая, сортировочная, узловая) не имеет решающего значения.

Основным математическим аппаратом работ такого направления являются системный анализ, теория вероятности, статистика, математический аппарат искусственных нейронных сетей, исследования операций, теория графов, объектно-ориентированный анализ.

В качестве примера работ можно указать [6, 7].

В работе [7] рассматривается возможность применения нейросетевых моделей для повышения качества решений, принимаемых оперативным персоналом сортировочной станции. При этом модель строится на основе трех нейросетевых моделей, решающих четко определенные задачи. Кроме того, в [7] исследованы вопросы организации взаимодействия между элементами технологического процесса станции.

В работе [6] описывается внедрение модели технологического процесса работы станции в интеллектуальную систему управления, построенную на основе микропроцессорных систем централизации. В основе реализации модели лежит использование двух блоков – блока планирования и блока формирования задач. Также сформулированы основные требования к функциям, выполняемым моделью:

- автоматическое определение задачи для реализации графика движения поездов и выполнения внутристанционного технологического процесса;

- оперативное планирование работ в соответствии с поставленными целями;

– осуществление поддержки принятия решений.

Работы, посвященные *применению моделей технологического процесса*, показывают актуальность исследований технологического процесса и возможность применения их результатов в повседневной деятельности, которая достаточно обширна: начиная от подготовки специалистов до решения повседневных задач оперативной деятельности.

Основным математическим аппаратом проведенных исследований являются: аппарат оптимизации, теория случайных процессов, теория множеств, теория управления, имитационное моделирование, теория принятия решений, теория моделирования сложных транспортных систем, теория надежности.

Например, в [9] рассмотрена возможность использования модели работы станции для повышения функциональной надежности железнодорожных станций при технологических сбоях. Определены границы технологических сбоев, приводящие к снижению функциональной надежности станции. Показано, как негативные последствия сбоев могут быть минимизированы (локализованы) путем согласования технологии работы станции и ее структуры при помощи модели технологического процесса.

В [10] продемонстрированы подходы к оценке результатов моделирования параметров технологического процесса. Выявлены ограничения использования результатов моделирования в ходе оперативной деятельности, сделан вывод о необходимости их дополнения опытом человека для их оценки.

В [11] рассмотрены модели технологического процесса станции для подготовки оперативного персонала. На основе недостатков существующих подходов к решению задач управления определено, что следует развивать подготовку специалистов. С этой целью в работе описаны методы повышения качества принимаемых решений через повышение квалификации оперативного персонала.

## **Развитие методов моделирования технологического процесса работы станции**

Основным недостатком представленных направлений исследований является отсутствие решения задач, связанных с планированием работы станции. Все предложенные комплексы моделируют работу станции при заданной статичной ситуации, которая может характеризоваться нормальным ходом технологического процесса или сбоем в результате какого-либо события. В случае нарушения технологического процесса работа станции моделируется с целью определения степени деградации эксплуатационных показателей, а не поиска возможных путей для достижения целевых значений. Работа моделей сводится к оценке степени отклонения хода технологического процесса от плана. Однако в ходе работы станции важно ответить на вопрос «что делать», когда в технологическом процессе произошел сбой. Для этого необходимо знать, к чему стремиться, т. е. фактически иметь возможность для системы решать задачи выбора целей и формирования плана по их достижению, что относится к сфере планирования.

В свою очередь, основой планирования являются информация о текущем положении дел и своевременное поступление извещений об изменениях. Учитывая динамичный характер протекания процесса работы станции, фактически планирование должно вестись в режиме реального времени с учетом изменения информации о ходе технологического процесса, поступающей также в режиме реального времени.

Решение задачи планирования создает предпосылки повышения уровня автоматизации управления работой станции [12–14], которое позволит реализовать программное управление ею.

В настоящее время многие элементы контура управления [15] не formalизованы и находятся вне программно-аппаратных средств управления перевозочным процессом (рис. 2, а). Отдельно стоит отметить, что

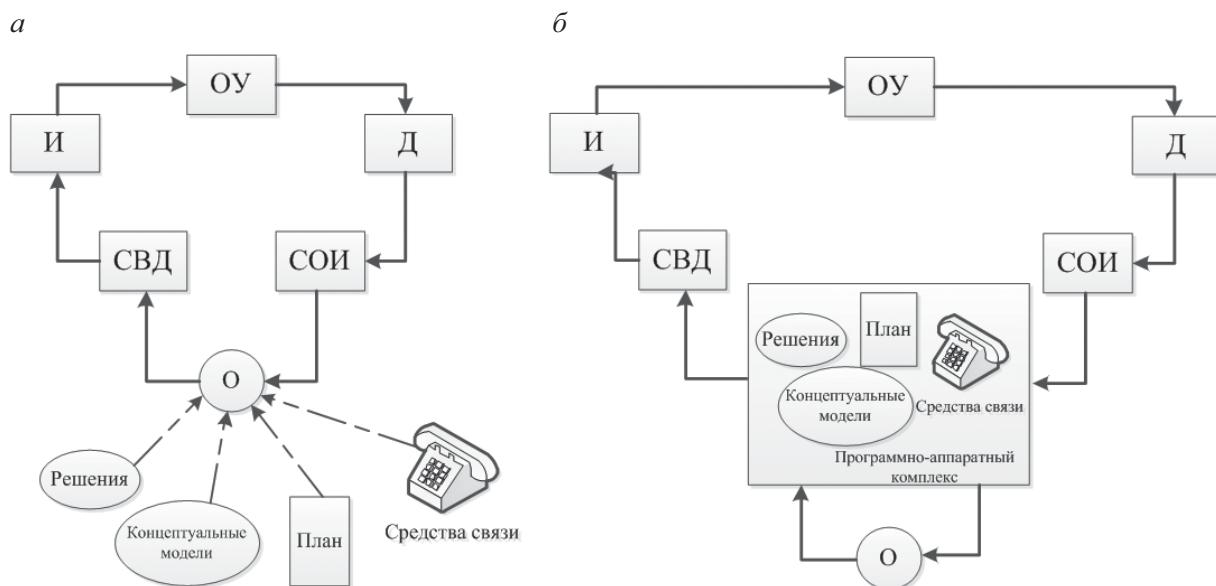


Рис. 2. Существующий контур управления работой станции (а) и новой ступени автоматизации (б):  
ОУ – объект управления, Д – датчики, СОИ – система отображения информации,  
О – оператор, СВД – система ведения диалога, И – интерфейс сопряжения

такие элементы как концептуальные модели и решения во многом зависят от опыта, уровня профессиональной подготовки и качеств характера оператора.

Переход на новую ступень автоматизации управления работой станции возможен, когда эти элементы будут максимально реализованы программно-аппаратными средствами (рис. 2, б). Это позволит ввести автоматический режим работы без участия человека на спланированный вычислительной машиной период (2–3 ч) по плану, подтвержденному ДСП. В таком случае решение оператора будет необходимо только в случае внештатных ситуаций, когда система неспособна самостоятельно сделать выбор возможной альтернативы.

## Заключение

На основании вышеизложенного можно сделать вывод о том, что сфера моделирования технологического процесса работы железнодорожных станций до конца не изучена. Основное внимание было уделено применению готовых моделей. При этом основным их

видом в исследованиях приняты имитационные и интерактивные модели. В то же время другим видам моделей (например, нейросетевым) не уделено достаточное внимание. Также не получил должного рассмотрения вопрос использования результатов моделирования для управления технологическим процессом станции в режиме реального времени.

## Библиографический список

1. Шухина Е. Е. Алгоритмы повышения пропускной способности железнодорожных участков и их реализация в ИСУЖТ / Е. Е. Шухина, В. И. Астрахан, В. М. Малинов, Б. Г. Цукерман // Труды Второй науч.-технич. конференции «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте (ИСУЖТ–2013)». – М. : НИИАС, 2013.– С. 65–68.
2. Ерёмин А. С. Актуальные вопросы использования мультиагентных технологий при разработке графика движения поездов / А. С. Ерёмин, О. В. Ефремов // Труды Шестой науч.-технич. конференции «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование (ИСУЖТ–2017)». – М. : НИИАС, 2017.– С. 53–55.

3. Грошев В. А. Технологический процесс на железных дорогах / В. А. Грошев // Межвуз. науч.-теоретич. конференция «Инновационная железнодорожная дорога. Новейшие и перспективные системы обеспечения движения поездов» : сб. статей / под общ. ред. А. С. Шарлай. – Петергоф : ВИ (ЖДВ и ВОСО), 2017. – С. 42–44.
4. Ковалев К. Е. Метод распределения функций и зон управления между оперативным персоналом крупных участковых станций : дис. ... канд. техн. наук, специальность : 05.22.08 / К. Е. Ковалев. – СПб. : ПГУПС, 2015. – 194 с.
5. Филиппов А. Г. Обоснование этапности развития узловых железнодорожных станций : дис. ... канд. техн. наук, специальность : 05.22.08 / А. Г. Филиппов. – СПб. : ПГУПС, 2018. – 158 с.
6. Кучумов Р. В. Автоматизация оперативного управления движением поездов на железнодорожных станциях : дис. ... канд. техн. наук, специальность : 05.22.08 / Р. В. Кучумов. – СПб. : ПГУПС, 2009. – 252 с.
7. Обухов А. Д. Разработка комплекса нейросетевых моделей управления оперативной работой сортировочной станции : дис. ... канд. техн. наук, специальность : 05.22.08 / А. Д. Обухов. – СПб. : ПГУПС, 2016. – 146 с.
8. Осокин О. В. Интеллектуальное сопровождение производственных процессов на железнодорожном транспорте : дис. ... д-ра техн. наук, специальность : 05.22.08 / О. В. Осокин. – Екатеринбург : УрГУПС, 2014. – 355 с.
9. Тимухина Е. Н. Повышение функциональной надежности железнодорожных станций при технологических сбоях : дис. ... д-ра техн. наук, специальность : 05.22.08 / Е. Н. Тимухина. – Екатеринбург : УрГУПС, 2012. – 384 с.
10. Кашеева Н. В. Интерактивное исследование железнодорожных станций : дис. ... канд. техн. наук, специальность : 05.22.08 / Н. В. Кашеева. – Екатеринбург : УрГУПС, 2015. – 140 с.
11. Чернышев К. А. Построение интеллектуальных интерактивных систем для оптимизации станционного управления : дис. ... канд. техн. наук, специальность : 05.22.08 / К. А. Чернышев. – М. : МИИТ, 2016. – 146 с.
12. Никитин А. Б. Методы и технические средства концентрации и централизации оперативного управления движением поездов : Развитие теории и практические приложения : дис. ... д-ра техн. наук, специальность : 05.22.08 / А. Б. Никитин. – СПб. : ПГУПС, 2005. – 326 с.
13. Балуев Н. Н. Автоматизация оперативного управления перевозочным процессом на станциях в компьютерных системах электрической централизации / Н. Н. Балуев, Г. Ф. Насонов, А. Б. Никитин, В. В. Моисеев, В. А. Грошев // Интеллектуальные системы на транспорте : материалы Третьей междунар. науч.-практич. конференции «ИнтеллектТранс–2013». – М. : Перо, 2013. – С. 8–12.
14. Корниенко А. А. Интеллектуальные компьютерные системы оперативного управления движением поездов на станциях / А. А. Корниенко, А. Б. Никитин, А. Д. Хомоненко // Изв. Петерб. ун-та путей сообщения. – СПб. : ПГУПС, 2012. – Вып. 2 (31). – С. 116–119.
15. Сапожников Вл. В. Микропроцессорные системы централизации : учебник для техникумов и колледжей железнодорожного транспорта / Вл. В. Сапожников, В. А. Кононов, С. А. Куренков, А. А. Лыков, О. А. Наседкин, А. Б. Никитин, А. А. Прокофьев, М. С. Трясов ; под ред. Вл. В. Сапожникова. – М. : Учеб.-метод. центр по образованию на ж.-д. транспорте, 2008. – 398 с.

## References

- Shukhina E. E., Astrakhan V. I., Malinov V. M. & Tsukerman B. G. Algoritmy povysheniia propusknoi sposobnosti zheleznodorozhnykh uchastkov [Algorithms for increasing train-handling capacity of railway sections and their implementation in the intelligent control systems for railway transport]. *Trudy II nauch.-prakt. konf. "Intellektual'nye sistemy upravleniya na zheleznodorozhnym transporte ISUZhT–2013"* [Proc. of the 2nd sci. and technical conf. "Intelligent control systems for railway transport ISUZhT–2013"]. Moscow, Russian Research and Design Inst. for Information Technology, Signalling and Telecommunications in Railway Transportation (NIIAS) Publ., 2013, pp. 65–68. (In Russian)
- Eremin A. S. & Efremov O. V. Aktual'nye voprosy ispol'zovaniia mul'tiagentnykh tekhnologii pri razrabotke grafika dvizheniiia poezdov [Topical issues of using multiagent technologies for developing train movement diagrams]. Proceedings of Petersburg Transport University, 2019/1, pp. 92–96. (In Russian)

- sues in the use of multi-agent technologies in the development of train movement schedules]. *Trudy VI nauch.-prakt. konf. "Intellektual'nye sistemy upravleniya na zheleznodorozhnym transporte. Komp'iurnoe i matematicheskoe modelirovanie (ISUZhT-2017)"* [Proc. of the 6th sci. and technical conf. "Intelligent control systems for railway transport. Computer and mathematical simulation (ISUZhT-2017)"]. Moscow, Russian Research and Design Inst. for Information Technology, Signalling and Telecommunications in Railway Transportation (NIIAS) Publ., 2017, pp. 53–55. (In Russian)
3. Groshev V. A. *Tekhnologicheskii protsess na zheleznykh dorogakh* [Technological process on railways]. *Mezvuzovskaya nauch.-teor. konf. "Innovacionnaia zheleznaya doroga. Noveishie i perspektivnye sistemy obespecheniya dvizheniya poezdov"* [Proc. of the inter-university sci. and theor. conf. "Innovative railway. The newest and promising systems of train traffic"]. Coll. papers. Ed. by A. S. Sharlai. Peterhof, Military Institute of Rail Troops and Military Communications Publ., 2017, pp. 42–44. (In Russian)
  4. Kovalev K. E. *Metod raspredeleniya funktsii i zon upravleniya mezhdu operativnym personalom krupnykh uchastkovykh stantsii* [Method of distribution of functions and administration zones between operation personnel of large local stations]: diss. Cand. Eng. Sci., speciality: 05.22.08. Saint Petersburg, Petersburg State Transport University Publ., 2015, 194 p. (In Russian)
  5. Filippov A. G. *Obosnovanie etapnosti razvitiia uzlovykh zheleznodorozhnykh stantsii* [The rationale for phasing the development of junction railway stations]: diss. Cand. Eng. Sci., speciality: 05.22.08. Saint Petersburg, Petersburg State Transport University Publ., 2018, 158 p. (In Russian)
  6. Kuchumov R. V. *Avtomatizatsiia operativnogo upravleniya dvizheniem poezdov na zheleznodorozhnykh stantsiakh* [Automation of operational control of train traffic at railway stations]: diss. Cand. Eng. Sci., speciality: 05.22.08. Saint Petersburg, Petersburg State Transport University Publ., 2009, 252 p. (In Russian)
  7. Obukhov A. D. *Razrabotka kompleksa neirosetevykh modelei upravleniya operativnoi raboty sortirovochnoi stantsii* [Development of a set of neural network models for control of a sorting station's operational work]: diss. Cand. Eng. Sci., speciality: 05.22.08. Saint Petersburg, Petersburg State Transport University Publ., 2016, 146 p. (In Russian)
  8. Osokin O. V. *Intellektual'noe soprovozhdenie proizvodstvennykh protsessov na zheleznodorozhnom transporte* [Intelligent maintenance of production processes on railway transport]: diss. Dr. Eng. Sci., speciality: 05.22.08. Yekaterinburg, Ural State University of Railway Transport Publ., 2014, 355 p. (In Russian)
  9. Timukhina E. N. *Povyshenie funktsional'noi nadezhnosti zheleznodorozhnykh stantsii pri tekhnologicheskikh sboiakh* [Improving the functional reliability of railway stations in case of technological failures]: diss. Dr. Eng. Sci., speciality: 05.22.08. Yekaterinburg, Ural State University of Railway Transport Publ., 2012, 384 p. (In Russian)
  10. Kashcheeva N. V. *Interaktivnoe issledovanie zheleznodorozhnykh stantsii* [Interactive study of railway stations]: diss. Cand. Eng. Sci., speciality: 05.22.08. Yekaterinburg, Ural State University of Railway Transport Publ., 2015, 140 p. (In Russian)
  11. Chernyshev K. A. *Postroenie intellektual'nykh interaktivnykh sistem dlja optimizatsii stantsionnogo upravleniya* [Building intelligent interactive systems to optimise station management]: diss. Cand. Eng. Sci., speciality: 05.22.08. Moscow, Russian University of Transport (MIIT) Publ., 2016, 146 p. (In Russian)
  12. Nikitin A. B. *Metody i tekhnicheskie sredstva kontsentratsii i tsentralizatsii operativnogo upravleniya dvizheniem poezdov. Razvitiye teorii i prakticheskie prilozheniya* [Methods and technical tools for concentration and interlocking of operational control of trains. Development of theory and practical application]: diss. Dr. Eng. Sci., speciality: 05.22.08. Saint Petersburg, Petersburg State Transport University Publ., 2005, 326 p. (In Russian)
  13. Baluev N. N., Nasonov G. F., Nikitin A. B., Moiseev V. V. & Groshev V. A. *Avtomatizatsiia operativnogo upravleniya perevozochnym protsessom na stantsiakh v komp'iurnykh sistemakh elektricheskoi tsentralizatsii* [Automation of transportation processes' operating control at stations in electric interlocking computer systems]. *Intellektual'nye sistemy na transporte. Materialy III mezhunarodnoi nauch.-prakt. konferentsii "IntellektTrans-2013"* [Intelligent systems in transport. Proc. of the 3rd Int'l. conf. "IntellektTrans-2013"]. Moscow, Pero Publ., 2013, pp. 8–12. (In Russian)
  14. Kornienko A. A., Nikitin A. B. & Khomonenko A. D. *Intellektual'nye komp'iurnye sistemy*

operativnogo upravleniya dvizheniem poezdov na stantsiiakh [Intelligent computer-based systems of train movement operational control at stations]. *Izvestiya Peterb. Universiteta putei soobshcheniya* [Proc. of Petersburg Transport University]. Saint Petersburg, Petersburg State Transport University Publ., 2012, issue 2 (31), pp. 116–119. (In Russian)

15. Sapozhnikov V. V., Kononov V. A., Kurenkov S. A., Lukov A. A., Nasedkin O. A., Nikitin A. B., Prokofiev A. A., Triasov M. S. *Mikroprotsessornye sistemy tsentralizatsii* [Microprocessor-based interlocking systems]. Textbook for railway transport technical high schools and colleges. Ed. by V. V. Sapozhnikov. Moscow, Training Centre for Railway Transport Education Publ., 2008, 398 p. (In Russian)

ГРОШЕВ Василий Александрович – ассистент, was.groshev@yandex.ru (Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I).