

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ,  
АВТОМАТИКА И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ

УДК 656.2 : 004.4 + 06

DOI 10.46973/0201-727X\_2023\_2\_231

*В. Д. Верескун, Д. Е. Притыкин, Б. Д. Дагладян, А. В. Решетов, А. В. Мищенко*РАЗРАБОТКА ПОДСИСТЕМЫ ИМИТАЦИИ ДВИЖЕНИЯ Поездов В РЕЖИМЕ  
ИСПОЛНЕНИЯ НОРМАТИВНОГО ГРАФИКА ДВИЖЕНИЯ В РАМКАХ  
УЧЕБНО-ЛАБОРАТОРНОГО КОМПЛЕКСА «ВИРТУАЛЬНАЯ ЖЕЛЕЗНАЯ ДОРОГА»

**Аннотация.** В рамках реализации лабораторного комплекса «Виртуальная железная дорога» решается задача имитации движения поездов по реальному участку железной дороги с учетом исполнения нормативного графика движения поездов. Рассматриваются архитектура подсистемы и алгоритмы, которые реализуют имитационную модель автоматического движения поездов с возможностью исполнения нормативного графика, учитывая скоростные ограничения и сигналы автоматической локомотивной сигнализации (АЛСН). Представлена структура взаимодействия данной подсистемы с учебно-лабораторным комплексом «Виртуальная железная дорога» (ВЖД). Описаны алгоритмы работы программной имитационной модели движения поезда. Рассмотрены варианты работы алгоритмов при различных значениях кодов АЛСН. Уделено внимание описанию программных технологий, использованных при разработке конечного программного обеспечения. Приведено описание работы программного обеспечения и результаты его внедрения в рамках комплекса ВЖД.

**Ключевые слова:** учебно-лабораторный комплекс, виртуальная железная дорога, имитационная модель поезда, C++, Qt.

**Для цитирования:** Разработка подсистемы имитации движения поездов в режиме исполнения нормативного графика движения в рамках учебно-лабораторного комплекса «Виртуальная железная дорога» / В. Д. Верескун, Д. Е. Притыкин, Б. Д. Дагладян [и др.] // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2023. – № 2. – С. 231–239. – DOI 10.46973/0201-727X\_2023\_2\_231.

**Введение**

Имитационная модель движения поездов в рамках учебно-лабораторного комплекса «Виртуальная железная дорога» (ВЖД) [1] может быть представлена тремя реализациями: натурным учебно-лабораторным тренажерным комплексом подвижного состава, универсальным программным тренажером машиниста или же подсистемой имитационной модели автоматического движения поездов. Последняя из перечисленных подсистем обеспечивает задание необходимой загрузки участка в соответствии с реальным нормативным графиком движения.

**Цель разработки**

Целью разработки является создание подсистемы имитационной модели движения поездов без непосредственного участия человека, реализующей возможность исполнения соответствующего нормативного графика движения (НГД) с учетом скоростных ограничений и сигналов автоматической локомотивной сигнализации (АЛСН).

**Постановка задачи**

Создание подсистемы имитации движения поездов направлено на решение следующих задач:

- имитация движения подвижного состава;
- реализация нештатных ситуаций;
- повышение уровня оперативной эффективности работников аппарата управления движением.

Подсистема имитации движения поездов в режиме исполнения НГД состоит из следующих программных компонентов:

- модель имитации движения поезда, исполняющего НГД с учетом скоростных ограничений и сигналов АЛСН;

- серверное программное обеспечение, реализующее запуск и завершение процессов имитационной модели поезда с параметрами, полученными от пользовательского приложения;
- пользовательское приложение, позволяющее определить параметры имитационных моделей поездов и запустить имитацию.

При разработке программного обеспечения на данном этапе проекта принимаются следующие допущения:

- не рассматриваются физические процессы, связанные с тяговыми и тормозными свойствами модели подвижного состава, модель движения поезда является кинематической;
- не учитывается электрификация участка.

#### *Архитектура программного обеспечения имитационной модели поезда*

В процессе разработки программного обеспечения, реализующего имитационную модель автоматического движения поезда, решены следующие задачи:

- разработан формат и механизм считывания конфигурационных файлов с информацией о станциях и НГД;
- разработаны алгоритмы, позволяющие осуществлять исполнение НГД с учетом ограничений скорости на участке;
- разработан клиентский программный модуль, который выполняет подключение и обмен данными с сервером ВЖД;
- разработано кроссплатформенное программное обеспечение, реализующее имитационную модель автоматического движения поезда, исполняющего НГД с учетом скоростных ограничений и сигналов АЛСН.

Программное обеспечение реализовано с применением клиент-серверной архитектуры. Клиентом является имитационная модель поезда. Клиент, посредством стека протоколов TCP/IP, выполняет подключение к серверу ВЖД, затем выполняется обмен данными. Взаимодействие с сервером осуществляется на протяжении всего времени работы клиентского приложения. Клиент отправляет серверу ВЖД данные о текущем положении и скорости имитационной модели поезда. Сервер ВЖД, получая данные о дуговой координате поезда, определяет его текущее положение на участке и отправляет полученные данные на пульт поездного диспетчера [2]. Кроме того, сервер ВЖД отправляет клиенту – имитационной модели – данные о текущем времени, текущий код АЛСН и дистанцию до сигнала.

На рис. 1 представлена структура взаимодействия комплексов в рамках учебно-лабораторного комплекса «Виртуальная железная дорога».



**Рис. 1. Структура взаимодействия комплексов ВЖД**

Клиентская часть реализована в виде кроссплатформенного консольного приложения на языке C++ с применением фреймворка Qt [3]. Для запуска приложения требуются следующие аргументы командной строки:

- `accel` – максимальное ускорение движения поезда;
- `maxspeed` – максимальная скорость движения поезда;
- `startpos` – начальное положение поезда (ордината);
- `startspeed` – начальная скорость движения поезда;
- `num` – номер поезда;
- `id` – идентификатор поезда.

Ограничения скорости движения определяются в соответствии с типом подвижного состава. Имитационная модель поезда может реализовать любой род службы подвижного состава. Аргумент

начального положения [4] позволяет установить относительное расположение поезда на участке. Аргумент, устанавливающий начальную скорость, позволяет запустить имитационную модель как в режиме стоянки, так и в движении по перегону. Идентификатор поезда используется клиентом для авторизации на сервере ВЖД.

После запуска приложения загружается список станций по маршруту и НГД поезда.

На рис. 2 представлена UML-диаграмма классов [5], реализующих функциональные возможности имитационной модели поезда.

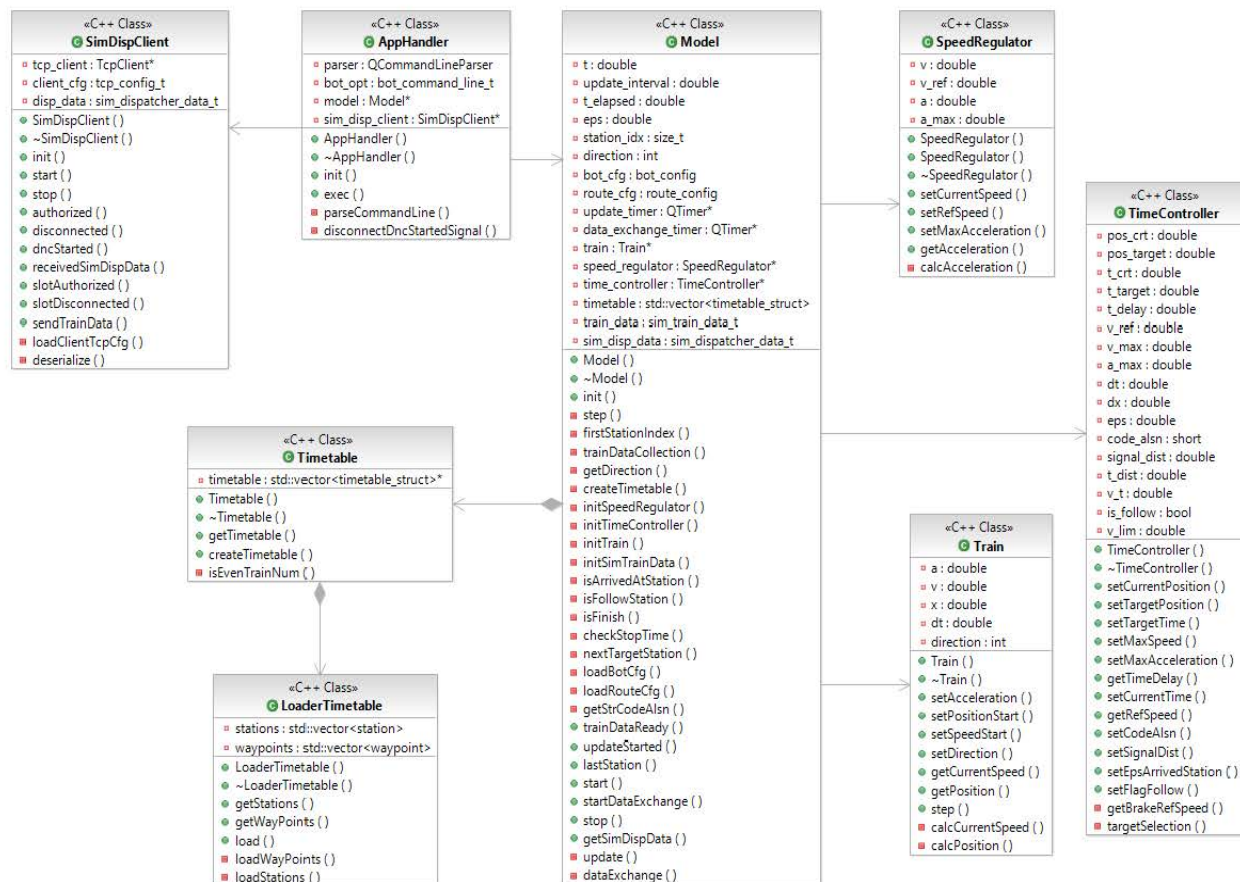


Рис. 2. Структура классов клиентской части имитационной модели поезда

Функциональную модель программы можно представить в виде следующих составляющих:

- НГД;
- регулятор времени хода;
- блок формирования программной скорости;
- блок расчета ограничений скорости;
- блок формирования кривой снижения скорости;
- регулятор скорости;
- поезд;
- сервер ВЖД.

Графически функциональная модель программы представлена на рис. 3.

Регулятор времени хода, принимая данные о времени прибытия и расстоянии до станции, выполняет вычисление скорости движения, необходимой для исполнения НГД. Блок формирования кривой снижения скорости, принимая от сервера ВЖД код АЛСН и расстояние до сигнала, производит вычисление кривой снижения скорости [6].

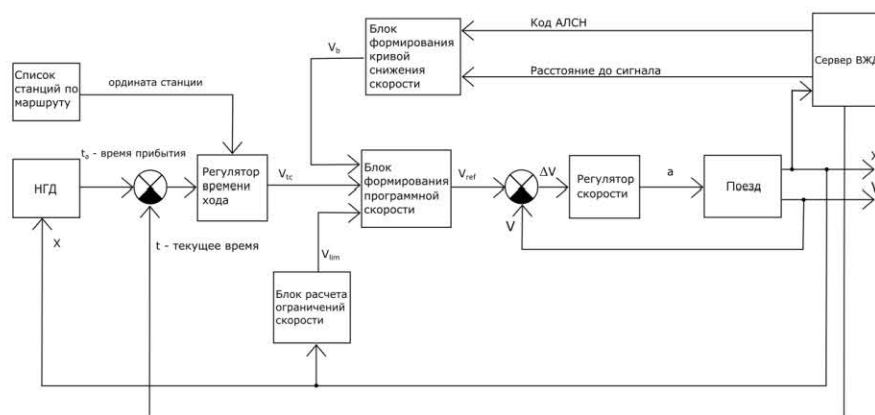


Рис. 3. Функциональная модель программы имитации движения поезда

Алгоритм расчета программной скорости движения поезда основан на следующем уравнении [7]:

$$\begin{cases} V_b = \sqrt{V_t^2 + 2a_{\max} \cdot k_t \cdot \text{dist}} \\ V_{\text{lim}} = F(x) \\ V_{tc} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \end{cases} \Rightarrow V_{\text{ref}} = \min(V_b, V_{\text{lim}}, V_{tc}),$$

где  $V_b$  – скорость по кривой снижения скорости;  
 $V_t$  – скорость у цели (станция либо светофор);  
 $a_{\max}$  – максимальное ускорение поезда;  
 $k_t$  – коэффициент плавности торможения;  
 $\text{dist}$  – дистанция до цели (станция либо светофор);  
 $V_{\text{lim}}$  – допустимая скорость с учетом ограничения на участке;  
 $F(x)$  – функция ограничения скорости на участке;  
 $V_{tc}$  – скорость, рассчитанная регулятором времени хода;  
 $\Delta x$  – текущее расстояние до станции;  
 $\Delta t$  – текущее время хода, необходимое для выполнения НГД;  
 $V_{\text{ref}}$  – программная скорость движения.

Блок формирования программной скорости выбирает минимальное значение из следующих скоростей:

- скорость, рассчитанная регулятором времени хода;
- скорость по кривой снижения;
- допустимая скорость с учетом ограничения на участке.

Данный подход позволяет:

- 1) реализовать автоматическое движение имитационной модели поезда в соответствии с НГД и учетом ограничений скорости на участке;
- 2) осуществлять нагон в случае отставания от НГД.

Графически алгоритм формирования программной скорости движения поезда при различных сигналах светофора представлен на рис. 4–5.

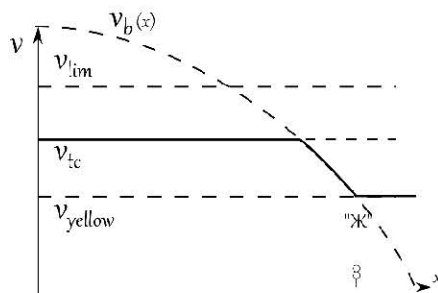
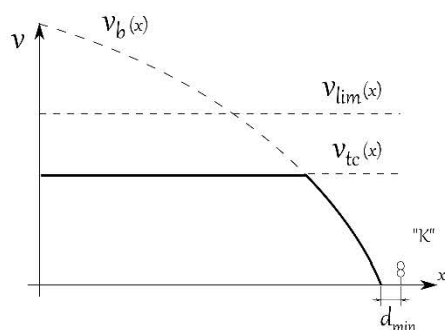


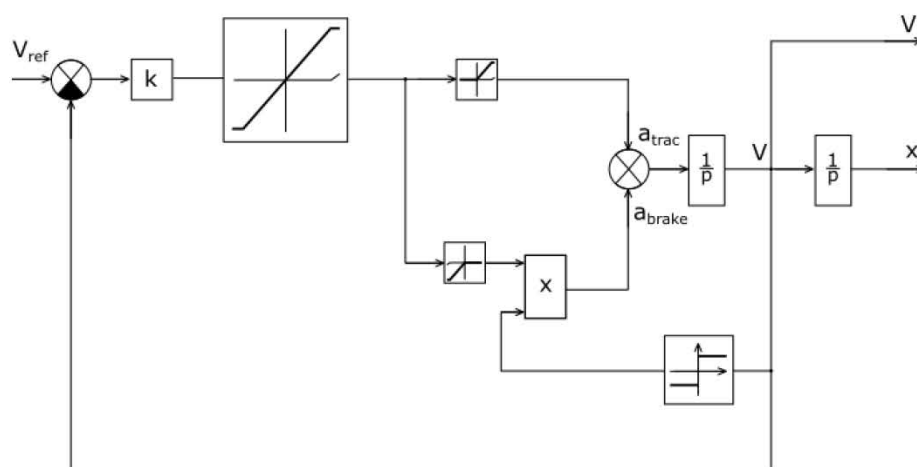
Рис. 4. Графическое изображение формирования требуемой скорости при желтом сигнале светофора



**Рис. 5. Графическое изображение формирования требуемой скорости при красном сигнале светофора**

Регулятор скорости принимает сформированную программную скорость и производит вычисление ускорения, необходимого для достижения требуемой скорости.

Алгоритм работы регулятора скорости поезда представлен в виде структурной схемы, изображенной на рис. 6.



**Рис. 6. Структурная схема регулятора скорости поезда**

Движение поезда осуществляется исходя из следующих уравнений [8]:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = V, \\ \frac{dV}{dt} = a(x, V). \end{cases}$$

Программная модель поезда принимает ускорение, рассчитанное регулятором скорости, и с помощью интегрирования ускорения по времени производит вычисление скорости движения имитационной модели. Затем с помощью интегрирования скорости по времени выполняется вычисление относительного позиционирования имитационной модели.

#### **Серверное программное обеспечение подсистемы**

Серверное программное обеспечение при получении запроса от пользовательского приложения выполняет запуск и завершение процессов имитационных моделей поездов.

Программное обеспечение реализовано в виде кроссплатформенного консольного приложения на языке C++ с применением фреймворка Qt.

В процессе разработки серверной части подсистемы решены следующие задачи:

- разработан формат и механизм считывания конфигурационных файлов;
- разработан алгоритм управления процессами;
- разработан серверный программный модуль, который реализует протокол обмена данными с пользовательским приложением.

Пользовательское приложение является клиентом серверной части подсистемы. Сервер отправляет клиенту список имитационных моделей поездов, доступных для запуска. При получении от клиента запроса на запуск процессов сервер обрабатывает массив структур, который содержит параметры для запуска соответствующих процессов. Для информирования пользователя подсистемы сервер отправляет клиенту ответы о выполнении поступивших запросов.

Сервер хранит список станций по маршруту и НГД поездов. Список станций заранее определяется в конфигурационном файле `stations.xml`, который содержит ЕСП-код, наименование и ординату станции. НГД определяется в конфигурационном файле, название которого соответствует номеру поезда. Конфигурационный файл НГД содержит ЕСП-код станции, время прибытия и время отправления поезда.

### *Пользовательское приложение подсистемы*

Пользовательское приложение предоставляет интерфейс для формирования списка имитационных моделей поездов, а также параметров, необходимых для запуска соответствующих процессов.

Программное обеспечение реализовано как кроссплатформенное оконное приложение на языке C++ с применением фреймворка Qt.

Клиентская часть приложения принимает от сервера список имитационных моделей поездов, доступных для запуска. Далее пользователь подсистемы при помощи интерфейса табличного элемента формирует список поездов, которые требуется запустить, а также вводит параметры, необходимые для запуска. Функционал приложения позволяет сохранять и загружать сформированный набор данных. Пункт меню «Настройки» позволяет пользователю установить настройки для связи с сервером. По нажатию кнопки Play серверу отправляется запрос на запуск процессов и массив структур, содержащий необходимые параметры. Завершение имитации выполняется нажатием кнопки Stop. Клиент обрабатывает полученные от сервера ответы, затем выводит информативные сообщения в текстовый элемент интерфейса.

На рис. 7 представлен пользовательский интерфейс приложения.

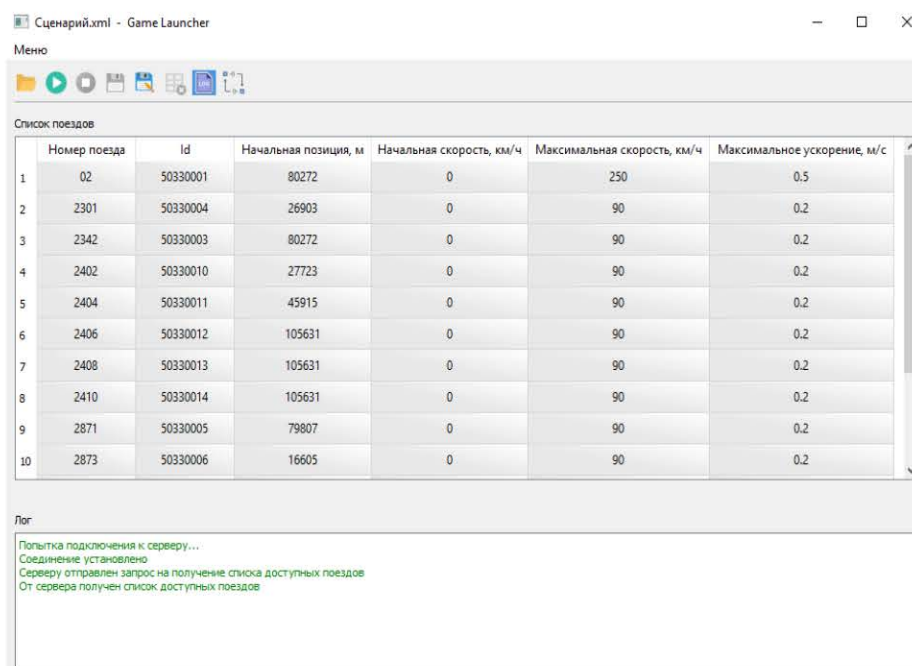


Рис. 7. Пользовательский интерфейс приложения

### *Заключение*

В результате реализации подсистемы имитации движения поездов в режиме исполнения НГД выполнены следующие прикладные разработки:

- кроссплатформенное программное обеспечение, реализующее имитационную модель автоматического движения поезда, исполняющего НГД с учетом скоростных ограничений и сигналов АЛСН;
- кроссплатформенное пользовательское приложение, позволяющее определить параметры имитационных моделей поездов и запустить имитацию;

– кроссплатформенное серверное программное обеспечение, реализующее запуск и завершение процессов имитационной модели поезда с параметрами, полученными от пользовательского приложения.

### Список литературы

- 1 Современные тренды образования в железнодорожной отрасли / Д. Е. Притыкин, А. В. Чернов, М. А. Бутакова [и др.] // Автоматика, связь, информатика. – 2019. – № 5. – С. 43–45. – DOI 10.34649/AT.2019.5.5.005.
- 2 Ковалев, С. М. Обеспечение взаимодействия тренажеров подвижного состава с системами управления движением железнодорожного транспорта / С. М. Ковалев, Б. Д. Дагдидян // Современное развитие науки и техники : сборник научных трудов Всероссийской национальной научно-практической конференции, Ростов-на-Дону, 01–03 декабря 2020 года. – Ростов-на-Дону : РГУПС, 2020. – С. 142–146. – ISBN 978-5-907295-28-5.
- 3 Применение фреймворка Qt к разработке программного обеспечения тренажеров подвижного состава / А. Н. Гуда, Д. Е. Притыкин, С. В. Ковшиков, Б. Д. Дагдидян // Актуальные проблемы и перспективы развития транспорта, промышленности и экономики России : сборник научных трудов. Т. 1 : Технические науки. – Ростов-на-Дону : РГУПС, 2018. – С. 40–43. – ISBN 978-5-88814-749-8.
- 4 Qt-средства для обработки параметров командной строки // Документация Qt : официальный сайт. – 2023. – URL: <https://doc.qt.io/qt-6/qcommandlineparser.html> (дата обращения: 15.02.2023).
- 5 Забродин, А. В. Основы проектирования информационных систем с помощью языка UML : учебное пособие / А. В. Забродин, В. П. Бубнов. – Санкт-Петербург : ПГУПС, 2018. – 46 с. – ISBN 978-5-7641-1133-9.
- 6 Никифоров, Б. Д. Автоматизация управления торможением поездов / Б. Д. Никифоров, В. И. Головкин, Ю. Г. Кутыев. – Москва : Транспорт, 1985. – 263 с.
- 7 Бесекерский, В. А. Теория систем автоматического регулирования / В. А. Бесекерский, Е. П. Попов. – Изд. 4-е., перераб. и доп. – Санкт-Петербург : Профессия, 2003. – 752 с. – ISBN 5-93913-035-6.
- 8 Тарг, С. М. Краткий курс теоретической механики : учебник для студентов технических вузов / С. М. Тарг. – Изд. 21-е, стер. – Москва : URSS, 2018. – 415 с. – ISBN 978-5-9710-5161-9.

### References

- 1 Modern education trends in the railway industry / D. E. Pritykin, A. V. Chernov, M. A. Butakova [et al.] // Automation, Communication, Informatics. – 2019. – No. 5. – P. 43–45. – DOI 10.34649/AT.2019.5.5.005.
- 2 Kovalev, S. M. Ensuring interaction of train simulators with railway traffic control systems/ C. M. Kovalev, B. D. Dagldian // Modern development of science and technology: collection of scientific papers of the All-Russian National Scientific and Practical Conference, Rostov-on-Don, 01–03 December 2020. – Rostov-on-Don : RSTU, 2020. – P. 142–146. – ISBN 978-5-907295-28-5.
- 3 Application of the Qt framework to the development of software for rolling stock simulators / A. N. Guda, D. E. Pritykin, S. V. Kovshikov, B. D. Dagldiyan // Actual problems and prospects for the development of transport, industry and the economy of Russia : collection of scientific papers. Vol. 1 : Technical Sciences. – Rostov-on-Don : RSTU, 2018. – P. 40–43. – ISBN 978-5-88814-749-8.
- 4 Qt-Tools for Handling Command Line Parameters // Qt Documentation : official site. – 2023. – URL: <https://doc.qt.io/qt-6/qcommandlineparser.html> (date of access: 02/15/2023).
- 5 Zabrodin, A. V. Basics of designing information systems using the UML language : a textbook / A. V. Zabrodin, V. P. Bubnov. – Saint Petersburg : PGSTU, 2018. – 46 p. – ISBN 978-5-7641-1133-9.
- 6 Nikiforov, B. D. Automation of train braking control / B. D. Nikiforov, V. I. Golovkin, Yu. G. Kutiev. – Moscow : Transport, 1985. – 263 p.
- 7 Besekersky, V. A. Theory of automatic control systems / V. A. Besekersky, E. P. Popov. – 4<sup>th</sup> ed., revised and expanded. – Saint Petersburg : Profession, 2003. – 752 p. – ISBN 5-93913-035-6.
- 8 Targ, S. M. A short course in theoretical mechanics: a textbook for students of technical universities / S. M. Targ. – 21<sup>st</sup> ed., stereotypical. – Moscow : URSS, 2018. – 415 p. – ISBN 978-5-9710-5161-9.

*V. D. Vereskun, D. E. Pritykin, B. D. Dagldian, A. V. Reshetov, A. V. Mishchenko*

**DEVELOPMENT OF A SUBSYSTEM FOR SIMULATION OF TRAIN TRAFFIC  
IN THE MODE OF PERFORMANCE OF THE NORMATIVE TRAFFIC SCHEDULE  
AT THE EDUCATIONAL AND LABORATORY COMPLEX  
“VIRTUAL RAILWAY”**

**Abstract.** The aim is to simulate the movement of trains along a real section of the railway, as part of the implementation of the laboratory complex “Virtual Railway” due to the implementation of the normative train schedule. The architecture of the subsystem and algorithms that implement a simulation model of automatic train movement with the possibility of fulfilling the standard schedule using speed limits and automatic locomotive signaling signals (ALSN) are considered. The structure of interaction of this subsystem with the educational and laboratory complex “Virtual Railway” (VR) is presented. The algorithms of the software simulation model of train movement are described. Variants of algorithm operation for different values of ALSN codes are considered. Attention is paid to the description of software technologies used in the development of the final software. The description of the software operation and the results of its implementation at the VR complex are given.

**Keywords:** educational and laboratory complex, virtual railway, train simulation model, C++, Qt.

**For citation:** Development of a subsystem for simulation of train traffic in the mode of performance of the normative traffic schedule at the educational and laboratory complex “Virtual Railway” / V. D. Vereskun, D. E. Pritykin, B. D. Dagldian [et al.] // Vestnik Rostovskogo Gosudarstvennogo Universiteta Putey Soobshcheniya. – 2023. – No. 2. – P. 231–239. – DOI 10.46973/0201-727X\_2023\_2\_231.

**Сведения об авторах**

**Верескун Владимир Дмитриевич**

Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС),  
кафедра «Теоретическая механика»,  
доктор технических наук, профессор,  
ректор университета,  
e-mail: vvd@rgups.ru

**Притыкин Дмитрий Евгеньевич**

Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС),  
Центр развития инновационных компетенций (ЦРИК),  
кафедра «Тяговый подвижной состав»,  
кандидат технических наук, доцент, директор,  
e-mail: maisvendoo@gmail.com

**Даглдян Богос Дзарукович**

Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС),  
Центр развития инновационных компетенций (ЦРИК),  
кафедра «Автоматика и телемеханика на железнодорожном транспорте»,  
аспирант, начальник отдела,  
e-mail: bogos.dagldian@yandex.ru

**Information about the authors**

**Vereskun Vladimir Dmitrievich**

Rostov State Transport University (RSTU),  
Chair «Theoretical Mechanics»,  
Doctor of Engineering Sciences, Professor,  
Rector of the University,  
e-mail: vvd@rgups.ru

**Pritykin Dmitry Evgenievich**

Rostov State Transport University (RSTU),  
Development of Innovation Competencies Center,  
Chair «Traction Rolling Stock»,  
Candidate of Engineering Sciences,  
Associated Professor, Director,  
e-mail: maisvendoo@gmail.com

**Dagldian Bogos Dzarukovich**

Rostov State Transport University (RSTU),  
Development of Innovation Competencies Center,  
Chair «Automation and Telemechanics on Railway Transport»,  
Postgraduate Student, Head of Department,  
e-mail: bogos.dagldian@yandex.ru

**Решетов Александр Вячеславович**

Ростовский государственный университет путей  
сообщения (РГУПС),

Центр развития инновационных компетенций  
(ЦРИК),

инженер,

e-mail: rav.personal@mail.ru

**Мищенко Александр Владимирович**

Ростовский государственный университет путей  
сообщения (РГУПС),

Центр развития инновационных компетенций  
(ЦРИК),

электромеханический факультет,

студент, лаборант,

e-mail: alexandr.mishenko01@mail.ru

**Reshetov Alexander Vyacheslavovich**

Rostov State Transport University (RSTU),

Development of Innovation Competencies Center,  
Engineer,

e-mail: rav.personal@mail.ru

**Mishchenko Alexander Vladimirovich**

Rostov State Transport University (RSTU),

Development of Innovation Competencies Center,  
Electromechanical Faculty,

Student, Assistant,

e-mail: alexandr.mishenko01@mail.ru