

# РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ГОРОДСКИМИ РЕЛЬСОВЫМИ ТРАНСПОРТНЫМИ СИСТЕМАМИ

**СИДОРЕНКО Валентина Геннадьевна**, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры;  
e-mail: valenfalk@mail.ru

**ЛОГИНОВА Людмила Николаевна**, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры; e-mail: ludmilanv@mail.ru

**САФРОНОВ Антон Игоревич**, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры; e-mail: safronov-ai@mail.ru

Российский университет транспорта (МИИТ), кафедра «Управление и защита информации», Москва

В статье рассмотрены обобщенные подходы, применяемые к проектированию информационного обеспечения интеллектуальных транспортных систем на примере тренажера поездного диспетчера и автоматизированной системы построения плановых графиков движения пассажирских поездов метрополитена как взаимосвязанных систем в рамках единого технологического процесса организации движения подвижного состава по линиям Московского метрополитена, Московскому центральному кольцу, Московским центральным диаметрам, а также трамвайной сети города Москвы. Проведен анализ существующих систем, разработанных коллективом сотрудников кафедры «Управление и защита информации» Российского университета транспорта (МИИТ) для государственного унитарного предприятия «Московский метрополитен», составной частью которых являются информационные системы. Определены общие для информационного обеспечения свойства систем, и предложена классификация таблиц, служащих основой для реализации систем управления городскими рельсовыми транспортными средствами. Перечислены свойства, которыми обязательно должно обладать проектируемое информационное обеспечение интеллектуальной транспортной системы, предложена методика его построения. В работе приведены структуры и функциональные особенности информационных систем, используемых для построения интеллектуальной системы управления транспортными системами, показано содержимое баз данных, которые выполняют связующую роль между верхним интерфейсным и нижним техническим уровнями, обоснован выбор системы управления базами данных.

**Ключевые слова:** информационное обеспечение; база данных; системы управления базами данных; транспортные системы; автоматизация; проверка знаний; тренажер; сбойные ситуации; перевозочный процесс; моделирование движения поездов.

DOI: 10.20295/2412-9186-2023-9-02-178-192

## ▼ Введение

Современное общество диктует новые условия для развития отраслей экономики Российской Федерации. Наблюдается тенденция поиска новых производителей и поставщиков, ускорение планов собственных разработок отечественных IT-компаний, превращение малых внутренних продуктов в массовые [1]. От этого зависит успех реализуемой политикой импортозамещения в условиях изоляции Российской Федерации со стороны большинства стран Западной Европы [2, 3].

Повышению эффективности проведения политики импортозамещения способствуют логистически верно составленные транспортные маршруты. В настоящее время на территории Российской Федерации сложилась одна из самых крупных и сложных транспортных

схем, реализующая многоплановые связи на основе сформированных путей сообщения и налаженной работы службы перевозок [4].

Транспортная система Российской Федерации является важным связующим звеном экономической, социальной, культурной жизни страны и постоянно находится под воздействием всего спектра государственных проблем, одной из которых является безопасность движения транспортных средств [5–7], и самой организации транспортной деятельности [4].

В современных мегаполисах комплекс мер по:

- повышению использования пропускной способности,
- увеличению провозной способности городских рельсовых транспортных систем (ГРТС), в частности на

метрополитене [8, 9], скоростном трамвае [10, 11], пригородных и пригородно-городских электропоездах [12–14],

- совершенствованию систем обеспечения безопасности движения должен реализовываться интеллектуальными системами, предназначенными для автоматического управления движением транспортных средств [15].

В настоящее время управлением ГРТС с целью обеспечения перевозочного процесса занимается оперативный персонал ГРТС [16–18]. Квалификация оперативного персонала предполагает наличие определенного уровня подготовки для выполнения служебных обязанностей. В основе высокого уровня квалификации лежат знания, опыт работы и профессиональные навыки работника ГРТС [19]. В настоящее время накоплен значительный опыт по обучению, повышению квалификации и проверке знаний оперативного персонала в Российской Федерации [17, 18, 20] и за рубежом [21–25].

Коллективом сотрудников кафедры «Управление и защита информации» РУТ (МИИТ) разрабатывались, внедрялись, эксплуатировались и сопровождалась на ГУП «Московский метрополитен» [26]:

- автоматизированная система энергооптимальных тяговых расчетов, применяемая с 1998 года [27–29];
- тренажер поездного диспетчера линии метрополитена, сданный в эксплуатацию в 1999 году [17, 18, 20];
- автоматизированная система построения плановых графиков движения (ПГД) пассажирских поездов, находящаяся в эксплуатации с 2003 года [30, 31] с интегрированными в нее:
  - подсистемой построения графиков оборота электроподвижного состава (ГО ЭПС) [32, 33];
  - подсистемой построения графиков исполненного движения (ГИД) пассажирских поездов метрополитена [34], для нормальной работы которой по сигналам телеуправления подключались:
    - имитационная модель движения поездов по линии метрополитена [34];

- пульт-табло поездного диспетчера для сборки маршрутов, управления стрелками и сигналами линии метрополитена [34];

- автоматизированная система оценки эффективности использования рекуперативного торможения на электроподвижном составе метрополитена и накопителей энергии, внедренная в 2011 году [35–37].

Дальнейшее повествование в статье сводится к рассмотрению взаимодействия только тренажера поездного диспетчера и автоматизированной системы построения плановых графиков движения пассажирских поездов метрополитена, поскольку результаты работы одной из систем являются исходной информацией для работы другой системы. Примером аналогичного межсистемного взаимодействия может служить изложенное в статье [38], где данные, получаемые в результате работы автоматизированной системы проведения энергооптимальных расчетов, позволяют качественно улучшить результаты, выдаваемые автоматизированной системой построения плановых графиков движения пассажирских поездов метрополитена. Здесь же показано, как последняя из упомянутых систем является принципиальным поставщиком данных для нормальной работы тренажера поездного диспетчера, поэтому фактически настоящая статья является развитием [38].

Интеллектуальная система управления ГРТС состоит из следующих информационных ресурсов-приложений [19, 39]:

- интеллектуальной системы планирования и анализа работы ГРТС;
- интеллектуальной системы планирования и анализа работы операторов ГРТС;
- интеллектуальной системы планирования и анализа работы диспетчеров ГРТС;
- интеллектуальной системы планирования и анализа работ по техническому содержанию инфраструктуры ГРТС;
- интеллектуальной системы планирования и анализа работы транспортных средств ГРТС;
- интеллектуальной системы управления движением и безопасностью транспортных средств;

- бортовых устройств беспилотного управления транспортными средствами;
- ситуационного центра.

Для обеспечения режима безопасного обмена информацией создана буферная база данных *MySQL*. Информация из базы данных поступает по сети *MultiProtocol Label Switching* в ядро сети централизованной интеллектуальной системы управления ГРТС на серверы верхнего функционального уровня. Хранилища адаптированы для нормальной работы микросервисов в составе системы. Микросервисы — сервисы, которые обрабатывают запросы от клиента и взаимодействуют со временным хранилищем (хранилища данных с результатами расчетов). При этом под *BigData* понимается основное хранилище, в котором данные только накапливаются и не предусмотрена функция автоочистки содержимого [39].

Целями данной статьи являются анализ накопленного опыта по созданию информационного обеспечения составных частей интеллектуальной системы управления ГРТС, выявление общих свойств этого типа обеспечения и определение направлений реинжиниринга информационного обеспечения.

Построение интеллектуальной системы управления ГРТС требует наличия полигона для проверки выбранных принципов построения системы и алгоритмов управления. Таким полигоном может служить интегрированная система обучения сотрудников ГРТС, базирующаяся на тесно связанных между собой тренажере поездного диспетчера линии метрополитена и автоматизированной системе построения ПГД пассажирских поездов, именно поэтому данная статья в первую очередь посвящена анализу опыта построения и направлениям развития информационного обеспечения конкретно этих систем.

### **1. Построение информационного обеспечения интегрированной системы обучения сотрудников ГРТС как полигона для апробации интеллектуальной системы управления ГРТС**

В работе [20] предложено использовать интеграционный подход, в основе которого прежде всего лежит применение широкого

спектра цифровых технологий на всех уровнях эксплуатации системы обучения и оценки знаний оперативного персонала. В основу интегрированной системы обучения сотрудников ГРТС должен входить:

1. Тренажер диспетчера ГРТС, позволяющий повышать квалификацию, совершенствовать умения оперативного управления ГРТС.
2. Автоматизированная система проверки знаний оперативного персонала ГРТС.
3. Система построения ПГД и ГИД ГРТС.

Тренажер, в частности, поездного диспетчера ГРТС должен включать в себя следующие подсистемы для моделирования движения поездов:

- по всем линиям метрополитена;
- по двум главным путям Московского центрального кольца (МЦК);
- по путям объединенных железнодорожных направлений Московских центральных диаметров (МЦД);
- по трамвайной сети города Москвы.

Автоматизированная система проверки знаний должна выполнять оценку знаний положений Инструкций по движению и маневровой работе метрополитена, МЦК, МЦД и трамвайной сети. Автоматизированная система построения плановых и исполненных графиков движения пассажирских поездов должна обеспечивать автоматизированный расчет расписания для всех перечисленных выше видов ГРТС.

Процесс разработки автоматизированных (автоматических) информационных систем (именно к такому виду систем относится интегрированная система обучения сотрудников ГРТС) основывается на подготовке информационного обеспечения. Под информационным обеспечением, в широком смысле слова, понимают целое направление, которое заключается в разработке методов и форм работы с информацией, отражающей в системе объекты, над которыми осуществляется мониторинг и/или управление, а также в грамотной организации этой информации с целью эффективного ее хранения и использования [40]. Без хранимых в базе данных сведений принципиально невозможно создать информационную систему, систему автоматического управления, интеллектуальную

систему, обучающую систему. Подготовка информационной системы является одной из целей настоящего исследования.

Стоит отметить, что проектируемая интеллектуальная интегрированная система обучения сотрудников ГРТС должна обладать следующими свойствами:

1. Высокая степень адаптивности — система должна гибко реагировать на любое изменение или модернизацию, например появление новых станций на линиях метрополитена, введение новых линий/участков и остановочных пунктов МЦД. Адаптивность предполагает, что в основу системы будут заложены [41]:
  - базы данных;
  - базы знаний и правил логического вывода;
  - механизм их своевременного обновления и корректировки.
2. Дружественный, ролевой графический пользовательский интерфейс.
3. Защита данных каждого пользователя системы.
4. Встроенные средства анализа данных за счет вычисления значений критериев качества операторского управления, основанного в том числе на экспертной оценке и/или принципах искусственного интеллекта [16].
5. Масштабируемость:
  - 5.1. Возможность модульного обновления — данное свойство позволит обновлять только заранее выделенную часть системы, а не систему целиком, что существенно сократит время на проведение работ по сопровождению программного обеспечения и техническое обслуживание сетевой инфраструктуры.
  - 5.2. Возможность разбиения на микросервисы [39] — данное свойство позволит дополнять систему новыми звеньями, которые будут получать на вход информацию, рассчитанную одними микросервисами, и генерировать решение для организации нормальной работы других микросервисов.

Для решения перечисленных задач предлагается методика построения информационного обеспечения:

1. Обобщить уже существующие отдельные информационные системы и подсистемы. Например, рассматриваемые в данной статье тренажер поездного диспетчера и автоматизированную систему построения плановых графиков движения пассажирских поездов метрополитена с подсистемами в ее составе.
2. Провести декомпозицию комплекса проблем. Например, свести структуры данных к одной из известных, высоких нормальных форм (нормализация базы данных).
3. Сформулировать требования к информационному обеспечению. Например, по скорости доступа к данным, распределенности или локализации размещения базы данных, безопасности, синхронизации, резервному копированию и др.
4. Разработать обобщенную информационную среду. Для эффективной работы микросервисов это должна быть одна и та же база данных и/или система управления базами данных. Например, в [39] предложен продукт *MySQL*. В данном подходе предлагается использование *PostgreSQL*.

На первом этапе проектирования информационного обеспечения необходимо декомпонировать комплекс проблем, то есть определить свод задач, которые должна решать интеллектуальная интегрированная система. После этого можно осуществить переход ко второму этапу проектирования, на котором для каждой группы задач следует идентифицировать метод ее решения и определить данные, необходимые для решения.

Определившись со структурой, внутри которой планируется размещение данных, необходимо выполнить переход от человеко-ориентированной структуры к машинно-ориентированной структуре — выполнить нормализацию. И только потом приступать к физическому проектированию.

При нормализации базы данных [42] важно создать все необходимые таблицы и установить отношения между ними в соответствии

	Поле 1 ( $f_1$ )	Поле 2 ( $f_2$ )	Поле 3 ( $f_3$ )	... ..	Поле $N$ ( $f_N$ )
1	Значение 1	Значение 2	Список 1	▼	Значение $N$
			Значение 3.1		
			Значение 3.2		
			... ..		
			Значение 3. $M$		

Обобщенный фрагмент таблицы базы данных (отношения)

с правилами, которые обеспечивают защиту данных, делают базу данных гибкой, устраняя избыточность и несогласованные зависимости. Избыточность данных приводит к непродуктивному расходованию свободного места на диске и затрудняет обслуживание баз данных.

При выборе средств построения информационного обеспечения необходимо учитывать накопленный опыт, а также передовые технологии в области хранения данных. Некоторые перечисленные выше системы основаны на более архаичной системе управления базой данных (СУБД) в связи с тем, что являются разработкой не одного-двух, а более 10-тилетней давности. Часть систем основана на СУБД *Microsoft Access*, *Microsoft SQL Server* [43–46]. Следует заметить, что перечисленные СУБД являются реляционными. На сегодняшний день — это очень важный аспект, принимаемый во внимание, поскольку мировое информационное сообщество делится на несколько фронтов приверженцев реляционных и *NoSQL* баз данных. В частности, приверженцы внедрения реляционных СУБД подразделяются на сообщества узкопрофильных специалистов, использующих: *Microsoft SQL Server*, *PostgreSQL* и др.

Делая выбор в сторону *PostgreSQL* [47, 48], авторы ориентируются не только на мировое информационное сообщество, результаты работы научного транспортного сообщества и интернет-сообщества любителей и профессионалов, активно работающих с базами данных, но также и на объективные факты. *PostgreSQL* — это прежде всего свободная объектно-реляционная СУБД с открытой документацией и исходным кодом.

С целью повышения удобства изложения модели информационного обеспечения на математическом языке сотрудниками кафедры «Управление и защита информации» предложен аппарат, основанный на теории множеств [30, 31]. При этом каждая таблица базы данных (отношение) представляется в виде вектора. Рассмотрим это на обобщенном абстрактном примере.

Имеем некоторое множество объектов, занесенных в таблицу базы данных (рис. 1), содержащую столбцы с именами: «Поле 1», «Поле 2», «Поле 3», ..., «Поле  $N$ ». При этом ячейки напротив столбцов «Поле 1», «Поле 2» и «Поле  $N$ » являются свободно заполняемыми без ограничений, а ячейки напротив столбца «Поле 3» ограничены по заполнению только множеством элементов из списка. Содержимое списка зависит от содержимого другой таблицы (отношения) той же базы данных. Внешне (*front-end*) отображается значение, понятное администратору базы данных (например, наименование объекта), а внутренне (*back-end*) в ячейке рассматриваемой таблицы базы данных фиксируется код/идентификатор объекта, выбранного из списка. Таким образом, «Поле 3» можно обозначить как вектор, связанный с рассматриваемым вектором.

Пусть рассмотренная таблица (отношение) имеет наименование « $T$ ». Каждый объект, содержащийся в  $T$ , может быть описан следующим вектором:

$$T = (f_1, f_2, f_3, \dots, f_N), \quad (1)$$

где  $f_1, f_2, f_N$  — значения, содержащиеся в ячейках напротив столбцов «Поле 1», «Поле 2» и «Поле  $N$ » соответственно;

$f_3$  — значение, подставляемое в ячейку напротив столбца «Поле 3» выбором из списка (маркировка жирным шрифтом здесь обязательна).

Если считать, что связанная таблица (отношение), содержащая сведения для постановки в «Поле 3», состоит только из двух столбцов: «Код» ( $ID$ ) и «Наименование» ( $Name$ ), то объекты «Поля 3» могут быть раскрыты через вектор:

$$f_3 = (ID, Name), \quad (2)$$

где  $ID$  — значение, содержащееся в ячейке напротив столбца «Код»;

$Name$  — значение, содержащееся в ячейке напротив столбца «Наименование».

Представленный материал является формальным описанием перехода к третьей нормальной форме базы данных [42].

Современный этап проектирования и развития информационных систем направлен на развитие *web*-ориентированных продуктов, и даже в тех случаях, когда инфраструктурных возможностей недостаточно для перевода программного обеспечения в рамки *web*, руководители и разработчики все равно стремятся отходить от «толстых» клиентских приложений в направлении распределенных систем с «тонкими» клиентскими приложениями.

Существует устойчивое неоспоримое мнение, относящееся к проектированию информационного обеспечения: «Чем раньше будут учтены все особенности предметной области, тем меньше изменений потребуется вносить в базу данных». Это работает только для организации нормального функционирования элементов модели (*back-end*) системы. Только первичное тестирование конечными пользователями системы позволит понять, чем потребуется дополнить базу данных для обеспечения дружелюбности графического пользовательского интерфейса (*front-end*) системы.

Исходя из сказанного в унифицированной базе данных должны быть обособлены пространства для хранения единой, нормативно-справочной информации (например, о станциях, линиях, перегонах, депо и иных фиксированных инфраструктурных объектах транспортной или любой другой рассматриваемой

предметной области). Должны иметь место блоки данных, необходимых для нормального функционирования разработанных моделей, в частности *front-end* и *back-end* блоки моделей. В редких случаях при унификации взаимодействия пользователей с различными подсистемами можно свести данные по *front-end* всех моделей в один общий блок.

## 2. Анализ информационного обеспечения действующих средств автоматизации обучения оперативного персонала и диспетчеров ГРТС

В настоящее время существуют три формы обучения, повышения квалификации и проверки знаний оперативного персонала ГРТС, связанного с управлением движением [20]:

- 1) тестовая форма;
- 2) с применением событийных абстрактных моделей;
- 3) с применением моделей реального объекта ГРТС, работающих в реальном времени.

Для решения вопросов автоматизации обучения оперативного персонала и диспетчеров метрополитена в качестве системы поддержки принятия решения применялись тренажер поездного диспетчера, который относится к типу моделей реальных объектов ГРТС, и автоматизированная система проверки знаний поездных диспетчеров, которая содержит тестовую форму, а также событийную абстрактную модель.

При использовании имитационной модели тренажера или автоматизированной системы проверки знаний генерируется нештатная ситуация или совокупности нештатных ситуаций, которые могут быть оперативно парированы по итогам применения диспетчером перечня управляющих воздействий, приводящих к устранению сбоя, сгенерированного для конкретной или абстрактной линии метрополитена.

Под сбойными ситуациями понимают инциденты, т. е. события на ГРТС, возникшие при движении поездов или выполнении маневровой работы вследствие опасных отказов технических средств, ошибок локомотивных бригад и железнодорожного персонала, служб обеспечения и управления движением,

недопустимых внешних воздействий, которые могли закончиться, но не закончились транспортным происшествием [20]:

- взрез стрелки,
- прием поезда на занятый путь,
- отправление поезда на занятый перегон,
- проезд запрещающего сигнала или предельного столбика,
- обрыв автосцепки подвижного состава и т. д.

Сбойные ситуации классифицируются на малые и большие сбои. В том случае, когда отклонение от планового графика движения может быть компенсировано имеющимися на линии ресурсами времен хода и длительностей стоянок, говорят о наличии на линии малого сбоя. При невозможности компенсировать сбой имеющимися временными ресурсами говорят о наличии большого сбоя, для ликвидации которого необходимо реализовать внеплановые обороты составов на станциях с путевым развитием и, если это необходимо, внеплановое удаление составов с линии в депо, что приводит к изменению парности и порядка следования поездов.

База данных тренажера поездного диспетчера и системы проверки знаний имеют схожую структуру информационного обеспечения, так как система проверки знаний является логическим продолжением тренажера, однако и разница очевидна: наличие блоков анализа результатов тестирования, сохранения данных у последней.

Тренажер поездного диспетчера имеет в своем составе следующие подсистемы и модели [17, 18, 20]:

- модель системы обеспечения безопасности движения,
- модель системы электрической централизации (ЭЦ),
- модель управления стрелками и сигналами,
- модель движения поездов,
- подсистема графика движения поездов,
- модель пассажиропотока,
- подсистема визуализации объектов, включающая в себя табло коллективного пользования и средства визуализации автоматизированных рабочих мест в составе тренажера,

- подсистема архивации состояний объектов,
- подсистема задания начальных условий объектов,
- модель управления работой тренажера инструктором.

База данных тренажера состоит из таблиц, которые возможно сгруппировать согласно сформулированной классификации:

1. *Нормативно-справочная информация/исходные данные, необходимые для организации работы подсистемы визуализации объектов тренажера поездного диспетчера:*

- Список объектов — таблица, содержащая информацию об объектах, состояние которых отображается на средствах визуализации, и их связи с объектами, задействованными при имитационном моделировании движения поездов;
- Станции — таблица, содержащая описание станций соответствующей линии;
- Отрезки рельсовых цепей — таблица, содержащая список и информацию об отрезках отображаемых рельсовых цепей;
- Светофоры — таблица, содержащая информацию о местоположении и свойствах отображаемых светофоров;
- Стрелки — таблица, содержащая информацию о местоположении и свойствах отображаемых стрелок линии;
- Реле — таблица, содержащая информацию о местоположении и свойствах отображения компонентов, участвующих в организации работы ЭЦ;
- Индикаторы номеров маршрутов — таблица, содержащая информацию о местоположении и свойствах мест отображения маршрутов.

2. *Информация, необходимая для имитационного моделирования движения поездов:*

- Маршруты ЭЦ: ... — множество таблиц, содержащих информацию из техникораспорядительного акта станции, необходимую для корректного моделирования функционирования маршрутов ЭЦ на станциях соответствующей линии [49, 50];
- Выход из депо — таблица, содержащая информацию о местах выхода из депо на соответствующей линии;

- Ночной отстой — таблица, содержащая информацию о местах ночного отстоя поездов на линии метрополитена;
- Точки останова — таблица, содержащая информацию о рельсовых цепях, на которых поезд должен остановиться на станции;
- Авторежимы: ... — множество таблиц, содержащих информацию из технокорпоративного акта станции, необходимую для корректного моделирования функционирования авторежимов на станциях соответствующей линии [50];
- Отрезки рельсовых цепей — таблица, содержащая информацию, необходимую для имитационного моделирования движения поездов по рельсовым цепям линии;
- Светофоры — таблица, содержащая информацию, необходимую для имитационного моделирования работы светофоров линии;
- Стрелки — таблица, содержащая информацию, необходимую для имитационного моделирования работы стрелок соответствующих станций линии.

Система проверки знаний основана на тренажере поездного диспетчера с дополнением следующих подсистем:

- Подсистема задания неисправности;
- Подсистема администрирования;
- Подсистема проведения анализа результатов проверки знаний.

База данных системы проверки знаний содержит все таблицы тренажера поездного диспетчера, а также следующие дополнительные таблицы, которые приведены в соответствии с классификацией по назначению:

3. *Нормативно-справочная информация/исходные данные, необходимые для реализации подсистемы визуализации:*
  - Места поломки — таблица, содержащая информацию о рельсовых цепях, на которых имитируется соответствующая ситуация неисправности;
4. *Информация, необходимая для проведения имитационного моделирования движения поездов:*
  - Сигналы останова — информация о сигналах, которые необходимо визуально

отобразить на табло коллективного пользования в случае наличия соответствующей неисправности;

- Освещение на перегоне — таблица, содержащая информацию о перегонах линии для включения освещения в соответствии с положениями Инструкции по движению поездов и маневровой работе на метрополитенах Российской Федерации.
5. *Информация, необходимая для проведения имитационного моделирования соответствующей неисправности на линии:*
    - Ситуации — таблица, содержащая список возможных сбойных ситуаций для проверки знаний поездных диспетчеров;
    - Ситуация, тип — таблица, в которой находится информация о типе сбойной ситуации — тестовая форма или с применением модели, работающей в реальном времени;
    - Команды, название ситуации — таблицы, содержащие команды, которые используются при имитационном моделировании указанной ситуации;
    - Команды правильные, название ситуации — таблицы, содержащие корректные команды из состава таблицы «Команды, название ситуации» с указанием связанных с командой объектов, за своевременную подачу этих команд обучающемуся выставляются указанные в таблице баллы;
    - Приказы — таблица, содержащая ссылки на файлы-шаблоны приказов, которые необходимо заполнять в соответствии с выбранной сбойной ситуацией и положениями Инструкции по движению поездов и маневровой работе на метрополитенах Российской Федерации.
  6. *Информация, необходимая для осуществления администраторских функций:*
    - Учетные записи — таблица, содержащая логин и пароль обучаемых, инструкторов.
  7. *Информация, необходимая для проведения анализа проверки знаний:*
    - Название ситуации, команды — таблица, содержащая данные о результатах прохождения проверки знаний обучаемым



по соответствующей теме: перечень отданных команд; объекты, связанные с командой; баллы, начисленные за подачу команды; время выдачи команды; суммарные баллы; процент правильных ответов; дата и время прохождения проверки знаний;

- Приказы — таблица, содержащая информацию о заполненных обучаемым приказах.

### **3. Анализ информационного обеспечения действующих средств автоматизированного построения плановых графиков движения пассажирских поездов метрополитена**

Плановый график движения пассажирских поездов метрополитена является нормативным документом, увязывающим работу различных служб метрополитена, ответственных за планирование перевозочного процесса, своевременные диагностику и ремонт электроподвижного состава, обслуживание инфраструктуры, работы локомотивных бригад и другие технологические процессы, связанные с движением поездов по линиям метрополитена.

Автоматизированная система построения плановых графиков движения пассажирских поездов метрополитена содержит в своем составе следующие подсистемы:

- пользовательской навигации и организации корректной работы эргономичного графического пользовательского интерфейса;
- печати объектов и их образов;
- ручного построения и редактирования ПГД;
- автоматизированного построения и пошагового редактирования ПГД;
- ручного построения ГО ЭПС;
- автоматизированного построения ГО ЭПС согласно нормативам;
- автоматизированного построения ГО ЭПС по предварительно составленному ПГД;
- построения ГИД;
- формирования раскладок для выписки поездных расписаний машинистам;
- формирования карточек расписания для печати и выдачи машинистам.

База данных автоматизированной системы построения ПГД состоит из следующих таблиц, которые рационально сгруппировать согласно сформулированной классификации:

1. *Нормативно-справочная информация/исходные данные, необходимые для составления подложек для построения ПГД и ГО ЭПС, нормального размещения и сопряжения вновь создаваемых объектов, а также размещения и сопряжения ранее созданных объектов:*

- линии — таблица, содержащая информацию о наименованиях линий метрополитена, размещающихся на одном бланке;
- станции — таблица, содержащая информацию о наименованиях станций и порядке их следования станций друг за другом на линии метрополитена;
- задания — таблица, объединяющая между собой пары станций (станции отправления и станции прибытия) в перегоны с указанием направлений движения;
- времена хода — таблица, увязывающая между собой перегоны (задания) и типы расписаний [50];
- типы расписаний — таблица, содержащая информацию о множестве вариаций времен хода по перегонам и стоянок на станциях, необходимых для построения «ниток» непараллельного графика [50];
- депо — таблица, содержащая информацию о депо линии метрополитена с указанием станций и перегонов, с которыми связано депо;
- маршруты — таблица, содержащая информацию о нумерации маршрутов, привязке номеров маршрутов к конкретному депо, а также порядке следования маршрутов друг за другом;
- размеры движения — таблица, содержащая информацию распределении заданной парности движения поездов по часам работы линии метрополитена;
- пункты осмотра — таблица, содержащая информацию о местах проведения ремонтов и диагностических осмотров с привязкой к точкам ночной расстановки;
- типы ремонта — таблица, содержащая информацию о разновидностях плановых

- ремонт и диагностических осмотров с указанием регламентов (ограничений) по длительностям их проведения [51];
- точки ночной расстановки — таблица, содержащая информацию о точках ночной расстановки, расположенных на линии и в депо.
2. *Информация, необходимая для реализации автоматизированного построения ПГД, а также для хранения текущего состояния процесса автоматизированного построения ПГД, обеспечивающего возможность перезапуска процесса не с нулевыми начальными условиями:*
    - автоматический синтез — таблица, содержащая информацию о выполненных этапах автоматизированного построения ПГД;
    - расстановка — таблица, содержащая информацию о возможных вариантах последовательности занятия и освобождения точек ночной расстановки.
  3. *Информация, необходимая для корректного вывода на печать объектов и их образов:*
    - карточки расписания — таблица, содержащая информацию о параметрах печатного шаблона для формирования карточек расписания, выдаваемых машинистам, заступающим в рейс;
    - надписи — таблица, содержащая все вспомогательные надписи и координаты их размещения на бланке для построения графика;
    - объекты печати — таблица, содержащая информацию о надписях, отображаемых только в режиме распечатки бланка на принтере/плоттере.
  4. *Информация, необходимая для хранения индивидуальных настроек графического пользовательского интерфейса системы для каждого отдельно взятого пользователя системы, а также базовых настроек ПГД, ГО ЭПС, подложек, иных объектов и их образов:*
    - параметры графика — таблица, содержащая информацию о дате вступления в действие, сезонности и прочих индивидуальных особенностях отображения графика;
    - размеры — таблица, содержащая информацию о разметке бланка для построения графика.
  5. *Объекты и образы ПГД:*
    - «нитки» графика — таблица, содержащая информацию о «нитках» — описаниях движения поездов по главным путям линий метрополитена;
    - элементы расписания — таблица, увязывающая между собой «нитки», станции, времена отправления и прибытия, а также времена стоянок.
  6. *Объекты и образы ГО ЭПС:*
    - график оборота: ремонты — таблица, увязывающая типы ремонтов, с маршрутами;
    - график оборота: элементы — таблица, хранящая информацию для формирования образов элементов графика оборота.

«Глубина погружения» в детализацию представления необходимых данных предметной области может быть различной. Отправными точками для начала проектирования информационного обеспечения интеллектуальной системы управления, представленного базой данных, могут быть различные инфраструктурные объекты ГРТС, например: линии метрополитена, станции, оборотные тупики за станциями, электродепо, пункты осмотра, точки ночной расстановки и др.

### **Заключение**

Учет положительного многолетнего опыта разработки программного обеспечения при несомненном накоплении базы знаний в ходе взаимодействия с конечными пользователями систем на этапах внедрения и сопровождения, а также расширение кругозора за счет анализа опубликованного опыта разработок различных компаний позволили обеспечить плавность перехода к реализации процесса реинжиниринга комплекса автоматизированных систем управления технологическими процессами организации перевозочного процесса на ГРТС города Москвы.

Заключаем, что в рамках начальных этапов процесса реинжиниринга комплекса автоматизированных систем управления особенно важными и значимыми являются шаги обобщения общих данных в блок нормативно-справочной информации, данных, относящихся к работе конкретной подсистемы организации перевозочного процесса, в блок

модели; данных, отвечающих за удобство взаимодействия пользователя с системой и за интеллектуализацию графического пользовательского интерфейса, в блок управления.

Для поставленных целей мониторинга и управления обоснован выбор СУБД *PostgreSQL* как открытой, хорошо документированной, многофункциональной, гибкой, сопровождаемой и перспективной.

СУБД в качестве базы знаний занимает центральное положение по отношению к остальным компонентам вычислительной интеллектуальной системы, поскольку через СУБД осуществляется интеграция средств вычислительной системы, участвующих в решении задач управления. Дальнейшие изыскания авторов направлены на совершенствование архитектуры интеллектуальной транспортной системы с учетом выбора типа СУБД и предложенного функционала интеллектуальной транспортной системы.

Дальнейшими шагами развития исследования является разработка архитектуры и обобщенной информационной среды для реализации программного обеспечения Интеллектуальной системы ГРТС. ▲

### Библиографический список

- Сергеев В. В. Реализация политики импортозамещения в транспортной отрасли современной российской экономики / В. В. Сергеев // Поиск: Политика. Обществоведение. Искусство. Социология. Культура. — 2016. — № 5(58). — С. 25–34.
- Алексеева Н. А. Макроэкономические параметры Российской экономики в период экономических санкций / Н. А. Алексеева, О. Ю. Абашева, В. Л. Редников // *Russian Economic Bulletin*. — 2022. — Т. 5. — № 3. — С. 67–74.
- Куренков П. В. Влияние экономических санкций на развитие промышленного комплекса и транспортной системы Российской Федерации / П. В. Куренков, А. А. Сафронова, О. Н. Мадяр и др. // *Экономика железных дорог*. — 2022. — № 4. — С. 45–57.
- Заводы России — промышленные предприятия и производства: Транспортная система России. URL: <https://xn--80aegj1b5e.xn--p1ai/publication/transportnaya-sistema-rossii> (дата обращения: 13.05.2022).
- Сафронов А. И. Подходы к автоматизированному составлению плановых графиков движения пассажирских поездов Московского метрополитена, обеспечивающие экономичные, комфортные и безопасные перевозки / А. И. Сафронов // *Актуальные проблемы техносферной безопасности: сборник трудов III национальной научно-практической конференции РОАТ, Москва, 30–31 марта 2021 года*. — М.: РОАТ, РУТ (МИИТ). — 2021. — С. 141–147.
- Логинова Л. Н. Методика составления расписания движения поездов для столичного метрополитена / Л. Н. Логинова, Е. А. Сеславина, А. И. Сеславин // *Автоматика на транспорте*. — 2022. — Т. 8. — № 1. — С. 67–77. — DOI: 10.20295/2412-9186-2022-8-1-67-77.
- Сидоренко В. Г. Современные вызовы безопасности городских транспортных систем / В. Г. Сидоренко; под общ. ред. А. О. Калашникова, В. В. Кульбы // *Проблемы управления безопасностью сложных систем: материалы XXVIII международной конференции*. — М.: ИГУ РАН. — 2020. — С. 434–439. — DOI: 10.25728/iccscs.2020.35.36.079.
- Сафронов А. И. Моделирование плана перевозочного процесса в утренний час пик на замкнутой Большой кольцевой линии Московского метрополитена / А. И. Сафронов, Е. В. Лысенко // *Автоматика на транспорте*. — 2021. — Т. 7. — № 4. — С. 584–616. — DOI: 10.20295/2412-9186-2021-7-4-584-616.
- Искаков Т. А. Подходы к оценке качества планирования и управления движением пассажирских поездов метрополитена / Т. А. Искаков, А. И. Сафронов, В. Г. Сидоренко // *Автоматика на транспорте*. — 2020. — Т. 6. — № 1. — С. 38–63. — DOI: 10.20295/2412-9186-2020-6-1-38-63.
- Николаев К. Ю. Применение технологии «трамвай-поезд» в России. Требования к подвижному составу и технологическое обеспечение взаимодействия транспортных систем / К. Ю. Николаев // *Наука 1520 ВНИИЖТ: Загляни за горизонт: сборник материалов научно-практической конференции АО «ВНИИЖТ», Щербинка, 26–27 августа 2021 года*. — Щербинка: АО «ВНИИЖТ». — 2021. — С. 132–138.
- Горбачев А. М. Автоматизация планирования движения городского скоростного легкорельсового транспорта / А. М. Горбачев, П. А. Василенко // *Транспорт Российской Федерации*. — 2021. — № 5-6 (96-97). — С. 43–46.
- Бородина Е. В. Организация местной работы в Московском железнодорожном узле в условиях организации диаметального движения пригородно-городских поездов / Е. В. Бородина, Е. О. Дмитриев, Г. Г. Горбунов и др. // *Вестник транспорта Поволжья*. — 2021. — № 1(85). — С. 33–44.
- Евреенова Н. Ю. Совершенствование системы пропуска электропоездов на участках с интенсивным движением / Н. Ю. Евреенова, Д. Ю. Роменский, К. А. Калинин // *Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения*. — 2021. — № 1(81). — С. 88–96. — DOI: 10.46973/0201-727X\_2021\_1\_88.
- Сафронов А. И. Прогнозирование плановых размеров движения на перспективных московских центральных диаметрах при использовании интеллектуальной системы «АРМ графиста» / А. И. Сафронов, А. А. Дятлова // *Интеллектуальные транспортные системы: материалы Международной научно-практической конференции, Москва, 26 мая 2022 года*. — М.: РУТ, 2022. — С. 298–305.
- Баранов Л. А. Комплексное решение задач планирования и управления движением городских рельсовых транспортных средств / Л. А. Баранов, В. Г. Сидоренко, Е. П. Балакина и др. // *Труды международной научно-практической конференции, посвященной 125-летию*

- университета «Академик Владимир Николаевич Образцов — основоположник транспортной науки». — М.: РУТ (МИИТ), 2021. — С. 56–64. — DOI: 10.47581/2022/Obrazcov.09.
16. Сидоренко В. Г. Подход к формированию рейтинга работы машиниста с использованием различных метрик сравнения / В. Г. Сидоренко, М. А. Кулагин // *Электроника и электрооборудование транспорта*. — 2018. — № 1. — С. 14–17.
  17. Баранов Л. А. Принципы построения автоматизированных систем обучения и повышения квалификации эксплуатационного персонала интеллектуальных систем управления движением поездов городского внеуличного транспорта / Л. А. Баранов, Е. П. Балакина, Л. Н. Логинова // *Интеллектуальные транспортные системы: материалы Международной научно-практической конференции, Москва, 26 мая 2022 года*. — М.: РУТ, 2022. — С. 45–48.
  18. Балакина Е. П. Обеспечение безопасности применения речевых технологий в работе оперативного персонала городских рельсовых транспортных систем / Е. П. Балакина, М. А. Кулагин, Л. Н. Логинова и др. // *Проблемы управления безопасностью сложных систем: материалы XXIX международной научно-практической конференции, Москва, 15 декабря 2021 года*. — М.: Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН, 2021. — С. 355–361. — DOI: 10.25728/iccss.2021.94.35.056.
  19. Баранов Л. А. Интеллектуальные киберфизические системы управления движением внеуличного транспорта (2 часть) / Л. А. Баранов, В. Г. Сидоренко // *Транспортное строительство*. — 2021. — № 4. — С. 19–23.
  20. Баранов Л. А. Интеграционный подход в обучении оперативных работников городских рельсовых транспортных систем / Л. А. Баранов, В. Г. Сидоренко, Е. П. Балакина и др. // *Наука и техника транспорта*. — 2021. — № 2. — С. 22–31.
  21. Baranov L. A. Automatiche und energioptimale Zugsteuerung / L. A. Baranov, V. F. Goldenberg, V. M. Maksimov et al. // *Eisenbahningenieur*. — 2018. — Iss. 11. — Pp. 20–25.
  22. Krnac E. An evaluation of train control information systems for sustainable railway using the analytic hierarchy process (AHP) model / E. Krnac, B. Djordjevic // *European Transport Research Review*. — 2017. — Iss. 9. — Pp. 35. — DOI: 10.1007/s12544-017-0253-9.
  23. Boyd K. Area under the precision-recall curve: Point estimates and condence intervals / K. Boyd, K. H. Eng, C. D. Page // *Joint European Conference on Machine Learning and Knowledge Discovery in Databases*. — Berlin, Heidelberg: Springer. — 2013. — Pp. 451–466.
  24. Chawla N. SMOTE: Synthetic Minority Over-sampling Technique / N. Chawla, K. Bowyer, L. Hall et al. // *Journal of Artificial Intelligence Research*. — 2002. — Pp. 321–357.
  25. Khromov S. K. Machine learning application for support for automated control systems users / S. K. Khromov, M. A. Kulagin, V. G. Sidorenko // *Journal of Physics: Conference Series, Computer-Aided Technologies in Applied Mathematics, 7–9 September 2020*. — Tomsk: Tomsk State University. — 2020. — Vol. 1680. — DOI: 10.1088/1742-6596/1680/1/012019.
  26. Баранов Л. А. Интеллектуальные киберфизические системы управления движением внеуличного транспорта / Л. А. Баранов, В. Г. Сидоренко // *Транспортное строительство*. — 2021. — № 3. — С. 27–29.
  27. Васильева М. А. Энергооптимальные траектории для метропоездов / М. А. Васильева, А. А. Должикова // *Мир транспорта*. — 2007. — Т. 5. — № 3(19). — С. 38–41.
  28. Baranov L. A. Energy-optimal control of vehicle traffic / L. A. Baranov, V. M. Maksimov, N. A. Kuznetsov // *Russian Electrical Engineering*. — 2016. — Vol. 87. — Iss. 9. — Pp. 498–504. — DOI: 10.3103/S1068371216090030.
  29. Baranov L. A. Minimization of Energy Consumption for Urban Rapid-Transit Traction / L. A. Baranov, V. G. Sidorenko, E. P. Balakina et al. // *Russian Electrical Engineering*. — 2021. — Vol. 92. — Iss. 9. — Pp. 492–498. — DOI: 10.3103/S1068371221090030.
  30. Сидоренко В. Г. Автоматизация синтеза планового графика движения поездов метрополитена / В. Г. Сидоренко // *Наука и техника транспорта*. — 2004. — № 2. — С. 48–57.
  31. Сидоренко В. Г. Построение планового графика движения для метрополитена / В. Г. Сидоренко, А. И. Сафронов // *Мир транспорта*. — 2011. — Т. 9. — № 3(36). — С. 98–105.
  32. Сидоренко В. Г. Автоматизация планирования работы ЭПС метрополитена / В. Г. Сидоренко, А. И. Сафронов, К. М. Филипченко // *Мир Транспорта*. — 2015. — Т. 13. — № 4. — С. 154–165.
  33. Сидоренко В. Г. Применение генетических алгоритмов к решению задачи планирования работы электроподвижного состава метрополитена / В. Г. Сидоренко, М. А. Чжо // *Электроника и электрооборудование транспорта*. — 2016. — № 6. — С. 13–16.
  34. Сафронов А. И. Антология задач организации графического пользовательского интерфейса в интеллектуальной системе «АРМ графиста» / А. И. Сафронов, У. А. Старовойтова // *Интеллектуальные транспортные системы: материалы Международной научно-практической конференции*. — М.: РУТ (МИИТ), 2022. — С. 326–337.
  35. Гаев Д. В. Внедрение энергосберегающих технологий / Д. В. Гаев, А. В. Ершов, Л. А. Баранов и др. // *Мир транспорта*. — 2010. — Т. 8. — № 3(31). — С. 3–8.
  36. Баранов Л. А. Оценка эффективности использования стационарных емкостных накопителей энергии в метрополитене на основе экспериментальных замеров показателей работы системы тягового электроснабжения / Л. А. Баранов, Ю. А. Бродский, В. А. Гречишников и др. // *Электротехника*. — 2010. — № 1. — С. 62а–65.
  37. Баранов Л. А. Энергооптимальное управление движением транспортных средств / Л. А. Баранов, Н. А. Кузнецов, В. М. Максимов // *Электротехника*. — 2016. — № 9. — С. 12–18.
  38. Баранов Л. А. Минимизация расхода энергии на тягу поездов внеуличного городского транспорта / Л. А. Баранов, В. Г. Сидоренко, Е. П. Балакина и др. // *Электротехника*. — 2021. — № 9. — С. 26–34. — DOI: 10.53891/00135860\_2021\_9\_26.
  39. Алексеев В. М. Построение архитектуры интеллектуальной системы управления городской рельсовой транспортной системой / В. М. Алексеев, Л. А. Баранов, М. А. Кулагин и др. // *Мир транспорта*. — 2021. — Т. 19. — № 1(92). — С. 18–46. — DOI: 10.30932/1992-3252-2021-19-1-18-46.
  40. Юрасов В. Г. Организация информационного обеспечения систем управления / В. Г. Юрасов // *Вестник Воронежского государственного технического университета*. — 2013. — Т. 9. — № 3-1. — С. 163.

41. Шориков А. Ф. Разработка информационной системы комплексного управления предприятием / А. Ф. Шориков, Е. Ю. Виноградова // Прикладная информатика. — 2007. — № 5(11). — С. 23–35.
42. Microsoft Learn: приобретение навыков, которые открывают путь к карьерному росту: Описание нормализации базы данных. URL: <https://learn.microsoft.com/ru-ru/office/troubleshoot/access/database-normalization-description> (дата обращения: 27.10.2022).
43. Varga S. *Introducing Microsoft SQL Server 2016: Mission-Critical Applications, Deeper Insights, Hyperscale Cloud* / S. Varga, D. Cherry, J. D'Antoni. — Redmond, 98052-6399 (Washington): Microsoft Press, 2016. — 199 p. — ISBN 978-1-5093-0195-9.
44. Sebastian J. *The Art of SQL Server Filestream* / J. Sebastian, S. Aelterman. — Simpletalk Publishing. — 2012. — 486 p. — ISBN 978-1-906434-88-5.
45. Ben-Gan I. *Microsoft SQL Server 2012 T-SQL Fundamentals* / I. Ben-Gan. — Sebastopol, 95472 (California): SolidQ. — 2012. — 412 p. — ISBN 978-0-735-65814-1.
46. Cote C. *SQL Server 2017 Integration Services Cookbook* / C. Cote, M. Lah, D. Sarka. — Birmingham (UK): Packt Publishing Ltd, 2017. — 534 p. — ISBN 978-1-78646-182-7.
47. Thomas S. M. *PostgreSQL High Availability Cookbook: SE* / S. M. Thomas. — Birmingham, B3 2PB (UK): Packt Publishing Ltd., 2017. — 940 p. — ISBN 978-1-78712-553-7.
48. Hellerstein J. M. Looking back at Postgres / J. M. Hellerstein // ArXiv. — 2019. — DOI: [abs/1901.01973](https://doi.org/abs/1901.01973).
49. Логинова Л. Н. Разработка аналитического алгоритма составления расписания движения поездов метрополитена / Л. Н. Логинова, Е. А. Сеславина, А. И. Сеславин // Интеллектуальные транспортные системы: материалы Международной научно-практической конференции, Москва, 26 мая 2022 года. — М.: Российский университет транспорта, 2022. — С. 221–225.
50. Бакулин А. С. Организация движения поездов и работа станций метрополитена / А. С. Бакулин, В. А. Пронин, Е. А. Федоров и др. — М.: Транспорт, 1981. — 230 с.
51. Балакина Е. П. Алгоритм оперативного управления линией метрополитена для восстановления движения по плановому графику / Е. П. Балакина, М. И. Щеглов, Е. В. Ерофеев // Наука и техника транспорта. — 2015. — № 1. — С. 23–25.

*TRANSPORT AUTOMATION RESEARCH, 2023, Vol. 9, No. 2, pp. 178–192*  
 DOI: [10.20295/2412-9186-2023-9-02-178-192](https://doi.org/10.20295/2412-9186-2023-9-02-178-192)

### Development of Information Support for Intelligent Control of Urban Rail Transport Systems

#### Information about authors

**Sidorenko V. G.**, Doctor in Engineering, Professor, Department Professor.  
 E-mail: [valenfalk@mail.ru](mailto:valenfalk@mail.ru)

**Loginova L. N.**, PhD in Engineering, Associate Professor, Department Associate Professor. E-mail: [ludmilanv@mail.ru](mailto:ludmilanv@mail.ru)

**Safronov A. I.**, PhD in Engineering, Associate Professor, Department Associate Professor. E-mail: [safronov-ai@mail.ru](mailto:safronov-ai@mail.ru)

Russian University of Transport (MIIT), Department “Management and Protection of Information”, Moscow

**Abstract:** The article discusses generalized approaches used in designing information support for intelligent transportation systems, based on the example of a train dispatcher simulator and an automated system for building schedules of passenger trains movement in the Moscow Metro as interrelated systems within a unified technological process of organizing the movement of rolling stock along the lines of the Moscow metro, Moscow Central Circle, Moscow Central Diameters, and the city's tram network. The article analyzes the existing systems developed by the team of the “Management and Protection of Information” department at the Russian University of Transport (MIIT) for the State Unitary Enterprise “Moscow Metro”, an integral part of which are information systems. Common properties of the systems are identified for information support, and a classification of tables serving as the basis for implementing urban rail transport management systems is proposed. The article lists the properties that the designed information support of the intelligent transport system must possess, and proposes a methodology for its

construction. The article presents the structures and functional features of information systems used for building an intelligent transportation system, including the content of databases that serve as a link between the upper interface and lower technical levels. The selection of the database management system is also justified.

**Keywords:** information support; database; database management systems; transportation systems; automation; knowledge testing; simulator; failure situations; transportation process; train movement modeling.

#### References

1. Sergeev V. V. Realizatsiya politiki importozameshcheniya v transportnoy otrasli sovremennoy rossiyskoy ekonomiki [Implementation of import substitution policy in the transport industry of modern Russian economy]. *Poisk: Politika. Obshchestvovedenie. Iskusstvo. Sotsiologiya. Kultura* [Search: Politics. Social science. Art. Sociology. Culture]. 2016, vol. 5, Iss. 58, pp. 25–34. (In Russian)
2. Alexeeva N. A., Abasheva O. Yu., Rednikov V. L. Makroekonomicheskie parametry Rossiyskoy ekonomiki v period ekonomicheskikh sanktsiy [Macro-economic parameters of the Russian economy during economic sanctions]. *Russian Economic Bulletin*, vol. 5, Iss. 3, 2022, pp. 67–74. (In Russian)
3. Kurenkov P. V., Safronova A. A., Madyar O. N. et al. Vliyaniye ekonomicheskikh sanktsiy na razvitiye promyshlennogo kompleksa i transportnoy sistemy Rossiyskoy Federatsii [The impact of economic sanctions on the development of the industrial complex and transportation system of the Russian Federation]. *Ekonomika zheleznnykh dorog* [Railway economics]. 2022, Iss. 4, pp. 45–57. (In Russian)
4. *Zavody Rossii — promyshlennyye predpriyatiya i proizvodstva: Transportnaya sistema Rossii* [Factories of Russia — Industrial enterprises and productions: Transportation system of Russia]. Available at: <https://xn--80aegj1b5e.xn--p1ai/publication/transportnaya-sistema-rossii> (accessed: May 13, 2022). (In Russian)
5. Safronov A. I. Podkhody k avtomatizirovannomu sostavleniyu planovykh grafikov dvizheniya passazhirskikh poezdov Moskovskogo metropolitena, obespechivayushchie ekonomichnyye, komfortnyye i bezopasnyye perevozki

- [Approaches to automated scheduling of passenger train traffic on the Moscow Metro, providing economic, comfortable and safe transportation]. *Aktualnye problemy tekhnosfernoy bezopasnosti: sbornik trudov III natsionalnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii ROAT, Moscow, March 30–31, 2021* [Actual problems of technosphere safety: Proceedings of the III National Scientific and Practical Conference ROAT, Moscow, March 30–31, 2021]. Moscow: ROAT, RUT (MIIT) Publ., 2021, pp. 141–147. (In Russian)
6. Loginova L. N., Seslavina E. A., Seslavin A. I. Metodika sostavleniya raspisaniya dvizheniya poezdov dlya stolichnogo metropolitena [Method of train scheduling for the metropolitan subway]. *Avtomatika na transporte* [Transport automation research]. 2022, vol. 8, Iss. 1, pp. 67–77. DOI: 10.20295/2412-9186-2022-8-1-67-77. (In Russian)
  7. Sidorenko V. G. *Sovremennye vyzovy bezopasnosti gorodskikh transportnykh sistem. Problemy upravleniya bezopasnost'yu slozhnykh sistem: materialy XXVIII mezhdunarodnoy konferentsii* [Modern challenges of the safety of urban transport systems. Problems of managing the safety of complex systems: materials of the XXVIII international conference]. Moscow: IPU RAN Publ., 2020, pp. 434–439. DOI: 10.25728/iccss.2020.35.36.079. (In Russian)
  8. Safronov A. I., Lysenko E. V. Modelirovanie plana perevozhnogo protsessa v utrennii chas pik na zamknoy Bol'shoi koltsevoi linii Moskovskogo metropolitena [Modeling of transport process plan during morning rush hour on a closed Great Circular Line of the Moscow Metro]. *Avtomatika na transporte* [Transport automation research]. 2021, vol. 7, Iss. 4, pp. 584–616. DOI: 10.20295/2412-9186-2021-7-4-584-616. (In Russian)
  9. Iskakov T. A., Safronov A. I., and Sidorenko V. G. Podkhody k otsenke kachestva planirovaniya i upravleniya dvizheniem passazhirkh poezdov metropolitena [Approaches to evaluating the quality of planning and managing the movement of subway passenger trains]. *Avtomatika na transporte* [Transport automation research]. 2020, vol. 6, Iss. 1, pp. 38–63. DOI: 10.20295/2412-9186-2020-6-1-38-63. (In Russian)
  10. Nikolaev K. Yu. Primenenie tekhnologii "tramvai — poezd" v Rossii. Trebovaniya k podvizhnomu sostavu i tekhnologicheskoe obespechenie vzaimodeistviya transportnykh sistem [Application of the "tram — train" technology in Russia. Requirements to rolling stock and technological support for interaction between transport systems]. *Nauka 1520 VNIIZHT: Zaglyani za gorizont: sbornik materialov nauchno-prakticheskoi konferentsii AO "VNIIZHT", Shcherbinka, 26–27 avgusta 2021 goda* [Nauka 1520 VNIIZHT: Look beyond the horizon: collection of materials of the scientific and practical conference of JSC VNIIZHT, Shcherbinka, August 26–27, 2021]. Shcherbinka: AO "VNIIZHT" Publ., 2021, pp. 132–138. (In Russian)
  11. Gorbachev A. M., Vasil'enko P. A. Avtomatizatsiya planirovaniya dvizheniya gorodskogo skorostnogo legkorel'sovogo transporta [Automation of planning the movement of urban high-speed light rail transport]. *Transport Rossiiskoi Federatsii* [Transport Russian Federation]. 2021, Iss. 5-6 (96-97), pp. 43–46. (In Russian)
  12. Borodina E. V., Dmitriev E. O., Gorbinov G. G. et al. Organizatsiya mestnoy raboty v Moskovskom zheleznodorozhnom uzle v usloviyakh organizatsii diametral'nogo dvizheniya prigorodno-gorodskikh poyezdov [Organization of large volumes of work in the Moscow railway junction in the conditions of measuring the diameter of the movement of suburban-urban trains]. *Vestnik transporta Povolzh'ya* [Bulletin of Transport of the Volga Region]. 2021, Iss. 1(85), pp. 33–44. (In Russian)
  13. Evreanova N. Yu., Romenkii D. Yu., Kalinin K. A. Sovershenstvovanie sistemy propuska elektropoezdov na uchastkakh s intensivnym dvizheniem [Improving the system for passing electric trains in areas with heavy traffic]. *Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya* [Bulletin of the Rostov State Communication of Communications]. 2021, Iss. 1(81), pp. 88–96. DOI: 10.46973/0201-727X\_2021\_1\_88. (In Russian)
  14. Safronov A. I., Dyatlova A. A. *Prognozirovanie planovykh razmerov dvizheniya na perspektivnykh moskovskikh tsentral'nykh diametrakh pri ispol'zovanii intellektual'noy sistemy "ARM grafista". Intellektual'nye transportnye sistemy: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Moskva, 26 maya 2022 goda* [Forecasting of the planned movement values on promising Moscow central diameters in the assembly of the intelligent system "Workstation of a graphist". Intelligent Transport Systems: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, Moscow, May 26, 2022]. Moscow: RUT Publ., 2022, pp. 298–305. (In Russian)
  15. Baranov L. A., Sidorenko V. G., Balakina E. P. et al. *Kompleksnoe reshenie zadach planirovaniya i upravleniya dvizheniem gorodskikh rel'sovykh transportnykh sredstv. Trudy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 125-letiyu universiteta "Akademik Vladimir Nikolaevich Obraztsov — osnovopolozhnik transportnoy nauki"* [Complex solution of problems of planning and traffic control of urban rail vehicles. Proceedings of the international scientific and practical conference devoted to 125 anniversary of the university "Academician Vladimir Nikolaevich Obraztsov — the founder of transport science"]. Moscow: RUT (MIIT) Publ., 2021, pp. 56–64. DOI: 10.47581/2022/Obrazcov.09. (In Russian)
  16. Sidorenko V. G. Podkhod k formirovaniyu reytinga raboty mashinista s ispol'zovaniem razlichnykh metrik sravneniya [Approach to the rating of the driver's work using various comparison metrics]. *Elektronika i elektrooborudovanie transporta* [Electronics and electrical equipment of transport]. 2018, Iss. 1, pp. 14–17. (In Russian)
  17. Baranov L. A., Balakina E. P., Loginova L. N. *Printsipy postroyeniya avtomatizirovannykh sistem obucheniya i povysheniya kvalifikatsii ekspluatatsionnogo personala intellektual'nykh sistem upravleniya dvizheniem poezdov gorodskogo vneulichnogo transporta. Intellektual'nye transportnye sistemy: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Moskva, 26 maya 2022 goda* [Principles of building automated systems for training and advanced training of operational personnel of intelligent control systems for the movement of trains of urban off-street transport. Intelligent transport systems: materials of the International scientific-practical conference, Moscow, May 26, 2022]. Moscow: RUT Publ., 2022, pp. 45–48. (In Russian)
  18. Balakina E. P., Kulagin M. A., Loginova L. N., et al. *Obespechenie bezopasnosti primeneniya rechevykh tekhnologiy v rabote operativnogo personala gorodskikh rel'sovykh transportnykh sistem. Problemy upravleniya bezopasnost'yu slozhnykh sistem: materialy XXIX mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Moskva, 15 dekabrya 2021 goda* [Safety management of the use of speech technologies in the work of operational personnel of urban rail transport systems. Problems of managing the safety of complex systems: materials of the XXIX international scientific and practical conference, Moscow, December 15, 2021]. Moscow: Institute of Control Sciences of the Russian Academy of Sciences Publ., 2021, pp. 355–361. DOI: 10.25728/iccss.2021.94.35.056. (In Russian)
  19. Baranov L. A., Sidorenko V. G. Intellektual'nye kiberfizicheskie sistemy upravleniya dvizheniem vneulichnogo transporta (chast' 2) [Intelligent cyber-physical control systems for off-street traffic (part 2)]. *Transportnoe stroitel'stvo* [Transport construction]. 2021, Iss. 4, pp. 19–23. (In Russian)
  20. Baranov L. A., Sidorenko V. G., Balakina E. P. et al. Integratsionnyy podkhod v obucheniye operativnykh rabotnikov gorodskikh rel'sovykh transportnykh sistem [Integration approach in training operational workers of urban rail transport systems]. *Nauka i tekhnika transporta* [Science and technology of transport]. 2021, Iss. 2, pp. 22–31. (In Russian)
  21. Baranov L. A., Goldenberg V. F., Maksimov V. M. et al. Automatiche und energioptimale Zugsteuerung. Eisenbahningenieur, 2018, Iss. 11, pp. 20–25.
  22. Krmac E., Djordjevic B. An evaluation of train control information systems for sustainable railway using the analytic hierarchy process (AHP) model. *European Transport Research Review*, 2017, Iss. 9, pp. 35. DOI: 10.1007/s12544-017-0253-9.
  23. Boyd K., Eng K. H., Page C. D. Area under the precision-recall curve: Point estimates and condence intervals. *Joint European Conference on Machine Learning and Knowledge Discovery in Databases*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2013, pp. 451–466.

24. Chawla N., Bowyer K., Hall L. et al. SMOTE: Synthetic Minority Over-sampling Technique. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 2002, pp. 321–357.
25. Khromov S. K., Kulagin M. A., Sidorenko V. G. Machine learning application for support for automated control systems users. *Journal of Physics: Conference Series, Computer-Aided Technologies in Applied Mathematics*, 7–9 September 2020. Tomsk: Tomsk State University, 2020, vol. 1680. DOI: 10.1088/1742-6596/1680/1/012019.
26. Baranov L. A., Sidorenko V. G. Intellektual'nye kiberfizicheskie sistemy upravleniya dvizheniem vneulichnogo transporta [Intelligent cyber-physical systems for off-street traffic control]. *Transportnoe stroitel'stvo* [Transport construction]. 2021, Iss. 3, pp. 27–29. (In Russian)
27. Vasil'eva M. A., Dolzhikova A. A. Energoptimal'nye traektorii dlya metropoezdov Energy-optimal trajectories for metro trains]. *Mir transporta* [World of Transport]. 2007, vol. 5, Iss. 3(19), pp. 38–41. (In Russian)
28. Baranov L. A., Maksimov V. M., Kuznetsov N. A. Energy-optimal control of vehicle traffic. *Russian Electrical Engineering*, 2016, vol. 87, Iss. 9, pp. 498–504. DOI: 10.3103/S1068371216090030.
29. Baranov L. A., Sidorenko V. G., Balakina E. P. et al. Minimization of Energy Consumption for Urban Rapid-Transit Traction. *Russian Electrical Engineering*, 2021, vol. 92, Iss. 9, pp. 492–498. DOI: 10.3103/S1068371221090030.
30. Sidorenko V. G. Avtomatizatsiya sinteza planovogo grafika dvizheniya poezdov metropolitena [Automation of the synthesis of the planned subway train schedule]. *Nauka i tekhnika transporta* [Science and technology of transport]. 2004, Iss. 2, pp. 48–57. (In Russian)
31. Sidorenko V. G., Safronov A. I. Postroenie planovogo grafika dvizheniya dlya metropolitena [Development of a scheduled movement plan for the metro]. *Mir transporta* [World of Transport]. 2011, Iss. 9(3), pp. 98–105. (In Russian)
32. Sidorenko V. G., Safronov A. I., Filipchenko K. M. Avtomatizatsiya planirovaniya raboty EPS metropolitena [Automation of subway rolling stock scheduling]. *Mir Transporta* [World of Transport]. 2015, Iss. 13(4), pp. 154–165. (In Russian)
33. Sidorenko V. G., Chzho M. A. Primenenie geneticheskikh algoritmov k resheniyu zadachi planirovaniya raboty elektropodvizhnogo sostava metropolitena [Application of genetic algorithms to the problem of subway rolling stock scheduling]. *Elektronika i elektrooborudovanie transporta* [Application of genetic algorithms to solving the problem of planning the operation of the electric rolling stock of the subway]. 2016, Iss. 6, pp. 13–16. (In Russian)
34. Safronov A. I., Starovoitova, U. A. *Antologiya zadach organizatsii graficheskogo pol'zovatel'skogo interfeysa v intellektual'noy sisteme "ARM grafista"*. *Intellektual'nye transportnye sistemy: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Anthology of problems organizing graphical user interfaces in the intelligent system "Graphist's workstation". Intelligent transport systems: materials of the International scientific and practical conference]. Moscow: RUT (MIIT) Publ., 2022, pp. 326–337. (In Russian)
35. Gaev D. V., Ershov A. V., Baranov L. A. et al. Vnedrenie energosberegayushchikh tekhnologiy [Introduction of energy-saving technologies]. *Mir transporta* [World of Transport]. 2010, Iss. 8(3), pp. 3–8. (In Russian)
36. Baranov L. A., Brodskiy Yu. A., Grechishnikov V. A. et al. Otsenka effektivnosti ispol'zovaniya statsionarnykh emkostnykh nakopiteley energii v metropolitene na osnove eksperimental'nykh zamerov pokazateley raboty sistemy tyagovogo electrosnabzheniya [Estimation of the effectiveness of stationary capacitive energy storage devices in the subway based on experimental measurements of the performance of the traction power supply system]. *Elektrotehnika* [Electrical engineering]. 2010, Iss. 1, pp. 62a–65. (In Russian)
37. Baranov L. A., Kuznetsov N. A., Maksimov V. M. Energoptimal'noe upravlenie dvizheniem transportnykh sredstv [Energy-optimal control of vehicle movement]. *Elektrotehnika* [Electrical engineering]. 2016, Iss. 9, pp. 12–18. (In Russian)
38. Baranov L. A., Sidorenko V. G., Balakina E. P. et al. Minimizatsiya raskhoda energii na tyagu poezdov vneulichnogo gorodskogo transporta [Minimizing energy consumption on the traction of trains in non-street urban transport]. *Elektrotehnika* [Electrical engineering]. 2021, Iss. 9, pp. 26–34. DOI: 10.53891/00135860\_2021\_9\_26. (In Russian)
39. Alekseev V. M., Baranov L. A., Kulagin M. A. et al. Postroenie arkhitektury intellektual'noy sistemy upravleniya gorodskoy rel'sovoy transportnoy sistemoi [Construction of the architecture of an intelligent system for managing the city rail transport system]. *Mir transporta* [World of Transport]. 2021, vol. 19, Iss. 1(92), pp. 18–46. DOI: 10.30932/1992-3252-2021-19-1-18-46. (In Russian)
40. Yurasov V. G. Organizatsiya informatsionnogo obespecheniya sistem upravleniya [Organization of information support for management systems]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of the Voronezh State Technical University]. 2013, vol. 9, Iss. 3-1, p. 163. (In Russian)
41. Shorikov A. F., Vinogradova E. Yu. Razrabotka informatsionnoy sistemy kompleksnogo upravleniya predpriyatiem [Development of an information system for integrated enterprise management]. *Prikladnaya informatika* [Applied Informatics]. 2007, Iss. 5(11), pp. 23–35. (In Russian)
42. *Microsoft Learn: priobretenie navykov, kotorye otkryvayut put' k kar'ernomu rostu: Opisanie normalizatsii bazy dannykh* [Microsoft Learn: acquiring skills that pave the way to career advancement: Description of database normalization]. Available at: <https://learn.microsoft.com/ru-ru/office/troubleshoot/access/database-normalization-description> (accessed: October 27, 2022). (In Russian)
43. Varga S., Cherry D., D'Antoni J. *Introducing Microsoft SQL Server 2016: Mission-Critical Applications, Deeper Insights, Hyperscale Cloud*. Redmond, 98052-6399 (Washington): Microsoft Press, 2016, 199 p. ISBN 978-1-5093-0195-9.
44. Sebastian J., Aelterman S. *The Art of SQL Server Filestream*. Simpletalk Publishing, 2012, 486 p. ISBN 978-1-906434-88-5.
45. Ben-Gan I. *Microsoft SQL Server 2012 T-SQL Fundamentals*. Sebastopol, 95472 (California): SolidQ, 2012, 412 p. ISBN 978-0-735-65814-1.
46. Cote C., Lah M., Sarka D. *SQL Server 2017 Integration Services Cookbook*. Birmingham (UK): Packt Publishing Ltd, 2017, 534 p. ISBN 978-1-78646-182-7.
47. Thomas S. M. *PostgreSQL High Availability Cookbook: SE*. Birmingham, B3 2PB (UK): Packt Publishing Ltd., 2017, 940 p. ISBN 978-1-78712-553-7.
48. Hellerstein J. M. Looking back at Postgres. ArXiv, 2019. DOI: abs/1901.01973.
49. Loginova L. N., Seslavina E. A., Seslavin A. I. *Razrabotka analiticheskogo algoritma sostavleniya raspisaniya dvizheniya poezdov metropolitena. Intellektual'nye transportnye sistemy: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Moskva, 26 maya 2022 goda* [Development of an analytical algorithm for scheduling the movement of metro trains. Intelligent transport systems: materials of the International Scientific and Practical Conference, Moscow, May 26 2022]. Moscow: Rossiyskiy universitet transporta Publ., 2022, pp. 221–225. (In Russian)
50. Bakulin A. S., Pronin V. A., Fedorov E. A. et al. *Organizatsiya dvizheniya poezdov i rabota stantsiy metropolitena* [Organization of train traffic and operation of metro stations]. Moscow: Transport Publ., 1981, 230 p. (In Russian)
51. Balakina E. P., Shcheglov M. I., Erofeev E. V. Algoritm operativnogo upravleniya liniei metropolitena dlya vosstanovleniya dvizheniya po planovomu grafiku [Operational control algorithm for the metro line to restore traffic according to the planned schedule]. *Nauka i tekhnika transporta* [Science and technology of transport]. 2015, Iss. 1, pp. 23–25. (In Russian)