



# Перспективы использования многофункциональных моделей



Леонид БАРАНОВ  
Leonid A. BARANOV

Екатерина БАЛАКИНА  
Ekaterina P. BALAKINA



*Баранов Леонид Аврамович — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Управление и информатика в технических системах» Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ).*

*Балакина Екатерина Петровна — кандидат технических наук, доцент МИИТ.*

**В статье изложены принципы построения, основные достоинства и свойства многофункциональных моделей транспортных систем. Показана целесообразность их использования в качестве универсального инструмента для проведения различных исследований на примере модели линии метрополитена.**

Ключевые слова: метрополитен, многофункциональная модель, принципы построения, перспективы применения.

Обеспечение качественных показателей функционирования сложных систем связано с изучением и оценкой протекающих в них процессов, в том числе стохастических. Как правило, подобные исследования проводятся с использованием теоретически обоснованных и экспериментальных данных, взаимно дополняющих друг друга. Экспериментальные исследования сложных систем чаще всего оказываются неэффективными, поскольку сопряжены с большими материальными затратами. Эффективность теоретических исследований достаточна только в случае получения высокоточных и достоверных научных результатов.

## I.

Решение задач по разработке, проектированию и эксплуатации технических средств, реализующих управление движением поездов на транспорте при наличии требуемого уровня безопасности перевозок и оптимизации процессов, нуждается в сравнении различных учитываемых показателей и фактов. Аналитическое вычисление критериев качества функционирования транспортных систем на фоне существующей в них многомерности вызывает определенные затруднения. В связи

с этим перспективным представляется использование для таких сложно структурированных целей имитационного моделирования.

Основными достоинствами методов имитационного моделирования для исследования сложных систем считаются:

- возможность изучения функционирования системы в любых условиях, в том числе когда имитируются аварийные ситуации;
- значительное сокращение времени испытаний по сравнению с натурным экспериментом;
- возможность изменения структуры и параметров моделируемой системы без существенных затрат на реализацию.

Применяемые сегодня модели транспортных систем ориентированы на решение конкретной задачи и имеют соответствующие ей структуру и степень детализации имитируемых процессов. Вместе с тем современные требования и уровень развития технических средств предполагают проектировать более сложные, многофункциональные модели для широкого спектра задач и упрощения использования адаптации результатов комплексных исследований. Создание обобщенной структуры сложной системы и возможность выбора степени детализации при описании протекающих в модели процессов позволяют получить универсальный инструмент реализации разнородных целей и задач.

Такие многофункциональные модели должны иметь ряд принципиальных свойств, в том числе:

- целенаправленность — отображать определенную транспортную систему;
- конечность — моделировать оригинальную транспортную систему лишь в конечном числе ее отношений;
- упрощенность — отображать только существенные стороны системы;
- адекватность — описывать систему с достаточной степенью точности;
- наглядность основных свойств и отношений модели;
- доступность и технологичность для исследования;
- сохранность информации в пределах рассматриваемых гипотез;
- полнота модели — учет всех основных системных связей и отношений;
- целостность — демонстрировать систему как единое целое;

- адаптивность — возможность задания различных входных параметров;
- управляемость — наличие изменяемых параметров на входе модели;
- модульность — способность иметь автономные элементы ротационного типа для развития и модернизации модельных структур;
- иерархичность — возможность изменять уровень допущений модели при рассмотрении различных процессов;
- рекомбинируемость — разбиение многофункциональной модели на подмодели и т.д.

Рассмотрим преимущества использования подобных свойств на примере многофункциональной модели линии метрополитена, разработанной на кафедре «Управление и информатика в технических системах». Модель нашла применение при решении комплексных управленческих задач, планировании перевозочного процесса, в ходе исследования эффективности использования рекуперативного торможения на трассах метрополитена, а также в обучающих программах поездного диспетчера.

Структура модели представлена на рис. 1. Она включает более двадцати позиций. Прежде всего следует выделить подмодели движения поездов; системы интервального регулирования; управления стрелками и сигналами; маршрутно-релейной централизации; автоматических режимов; планового графика движения поездов; задания, корректировки и контроля начальных условий; возмущающих воздействий.

Еще одну группу составляют подсистемы расчета критериев качества управления линией метрополитена; выбора алгоритмов централизованного управления; расчета временных и регулировочных характеристик линии; расчета энергооптимальных режимов движения поезда по перегону при заданном времени хода; оптимального по критерию энергозатрат распределения участкового времени хода на времена хода по перегонам; расчета системы тягового электроснабжения; формирования и выдачи результатов моделирования.

Входят в структуру многофункциональной модели и подмодели пассажиропотока, системы автоведения, исполненного графика движения, оперативного графика движения, управления работой линии. И кроме того — база данных линий метрополитена.



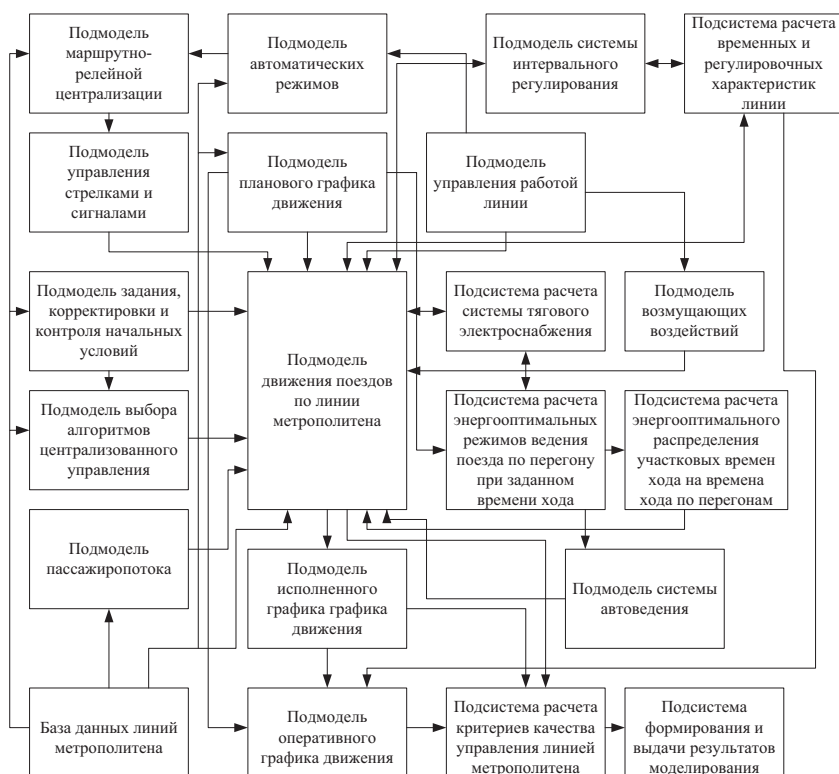


Рис. 1. Структура многофункциональной модели линии метрополитена.

Подмодель движения поездов по линии метрополитена позволяет решать дифференциальные уравнения движения всех поездов, находящихся на линии, в реальном или ускоренном времени численными методами. Подмодель обеспечивает: управление движением поездов в соответствии с плановым графиком; исполнение приказов, распоряжений и предупреждений поездного диспетчера, подаваемых поездным бригадам (задержка поездов на станциях, внеплановый их ввод на линию, внеплановое снятие с маршрута; внеплановый оборот на станциях с путевым развитием, маневровые на них передвижения, отмена планового оборота, продолжение движения по главным путям; движение по установленному маршруту при неисправностях светофоров полуавтоматического действия и устройств управления стрелками по пригласительным сигналам), изменение существующего графика; управление тягой и торможением поездов для выполнения времени хода по перегонам с учетом постоянных и временных ограничений скорости, показаний светофоров и поездных устройств АЛС-АРС, то есть моделирование совместного функционирования регуляторов времени хода и скорости.

Подмодель системы интервального регулирования на основе логико-лингвистического описания моделирует взаимодействие поездов по сигналам систем обеспечения безопасности движения.

Подмодель управления стрелками и сигналами предназначена для реализации индивидуального перевода стрелок; перевода стрелок при задании маршрутов маршрутно-релейной централизации (МРЦ), управления пригласительными сигналами светофоров.

Подмодель маршрутно-релейной централизации имитирует работу системы МРЦ, связанную с заданием, предварительным и окончательным замыканием маршрутов, их отменой и искусственной разделкой. Одновременно она обеспечивает выполнение всех основных действий: перевод и замыкание стрелок, открытие полуавтоматических светофоров, подачу разрешающих частот в рельсовые цепи, включение индикации.

Подмодель автоматических режимов реализует повторение маршрута или последовательности маршрутов при оборотах поездов на станциях с путевым развитием.

Подмодель планового графика движения поездов обеспечивает выполнение в автоматическом режиме следующих действий:

- выход составов с ночной расстановки в начале движения на линии;
- ввод и снятие поездов с линии в депо;
- расстановку составов на ночь по окончании движения по линии;
- стоянку поездов на станциях;
- отправление со станций;
- движение по перегонам;
- плановый оборот на конечных станциях;
- плановый оборот на промежуточных станциях с путевым развитием.

*Подмодель задания, корректности и контроля* начальных условий позволяет задавать в качестве исходного состояния для модели линии произвольное время суток, осуществлять проверку на корректность входных параметров. Оценка объектов при этом помогает реализовывать плановый график с выбранного момента времени.

*Подсистема возмущающих воздействий* позволяет задавать различные неисправности объектов линии метрополитена, вводить дополнительные скоростные ограничения на пути, изменять длительность стоянок поездов на станциях и времена хода по перегонам.

*Подсистема расчета критериев качества управления* предназначена влиять на характеристики движения поездов и энергетические показатели качества [1,2].

*Подсистема выбора алгоритмов централизованного управления* дает возможность выбирать из заданного перечня алгоритмы регулирования больших и малых сбоев на линии метрополитена.

*Подсистема расчета временных и регуляторных характеристик* позволяет путем имитационного моделирования получить искомые показатели, использование которых повышает качество управления за счет предвидения опасного взаимодействия поездов [3].

*Подсистема расчета энергооптимальных режимов движения поезда* по перегону при заданном времени хода облегчает выбор условий ведения, обеспечивающих минимум расхода электроэнергии на тягу состава [1].

*Подсистема оптимального распределения* по критерию энергозатрат участкового времени хода на времена хода по перегонам при выполнении заданного времени хода добивается минимального расхода электроэнергии [1,4,5].

*Подсистема расчета системы тягового электроснабжения* позволяет проводить расчет мгновенных значений токов и напряжений всех элементов действующей силовой цепи с учетом взаимодействия поездов через тяговую сеть.

*Подмодель пассажиропотока* предназначена для моделирования стохастического пассажиропотока в системе метрополитена на основе исходных данных о количестве пассажиров на линии.

*Подмодель системы автоведения* обеспечивает выбор режимов ведения поезда с целью выполнения заданного времени хода по перегону.

*Подмодель исполненного графика движения* выполняет свою функцию на основе информации о прибытии и отправлении поездов со станций метрополитена [1].

*Подмодель оперативного графика движения* имеет целью формирование варианта управления линией метрополитена при наличии на ней нештатных ситуаций и восстановлении движения по плановому графику после сбоев [6].

*Подмодель управления работой линии* предназначена для координации действий при проведении исследований на комплексной модели.

Основу многофункциональной модели составляет *база данных линии метрополитена*. База содержит понятия и характеристики, описывающие физические объекты (стрелка, путь, станция, рельсовая цепь, отрезок рельсовой цепи, поезд), таблицы их взаимосвязи для обеспечения системы безопасности и МРЦ, а также данные планового графика движения поездов метрополитена.

Визуальное отображение результатов моделирования реализуется на табло коллективного пользования и экранах персональных компьютеров, что позволяет использовать предлагаемый комплекс как эргономичную лабораторию для выбора способов демонстрации информации. Опыт эксплуатации многофункциональной модели показал, что неоднородность задач требует различного уровня детализации данных [7]. Такой подход упрощает пользователям работу с моделью.

Приоритетными направлениями использования многофункциональной модели линии метрополитена представляются:

- получение характеристик линии метрополитена на базе имитационных эксперимен-





тов (например, временных характеристик перегона);

- оценка качества управления линией (допустим, оценка качества работы регулятора времени хода систем автоведения);

- оценка эффективности использования новых технологий на линии метрополитена (в частности, эффективности рекуперативного торможения);

- сравнение алгоритмов централизованного управления линией метрополитена или способов организации движения (к примеру, интервального и графического);

- прогнозирование ситуаций на линии метрополитена при некотором предполагаемом сочетании рабочих условий (скажем, составление оперативного графика движения поездов при наличии сбоя);

- планирование перевозочного процесса с учетом реальной пропускной способности линии (один из вариантов — составление планового графика движения поездов);

- анализ чувствительности — выделение факторов, которые в большей степени влияют на качество управления линией (среди прочего: поиск «лимитирующего» перегона);

- оптимизация — поиск и установление такого сочетания действующих факторов и их величин, которое обеспечивает наилучшие показатели эффективности системы в целом (например, поиск оптимального распределения участков времени хода на времена хода по перегонам).

При создании многофункциональной модели предусмотрены и такие функции, как архивирование результатов моделирования, автоматизация проведения имитационных экспериментов на модели, автоматизация построения создаваемой структуры линии или определения результата модернизации имеющихся линий с демонстрацией на табло коллективного пользования.

Разработанная многофункциональная модель в настоящее время используется в тренажерах поездных диспетчеров десяти линий столичного метрополитена, при выборе алгоритмов централизованного управления движением, энергооптимальных режимов ведения поездов по перегонам, для осуществления диспетчерского управления, при получении временных и регулировочных характеристик перегонов линий, оборудованных системами АРС-АЛС и автоблокировки, для расчета эффективности использования рекуперативного торможения на подвижных составах с учетом различных графиков движения и поездных ситуаций на линии.

Результаты, полученные с помощью многофункциональных моделей, помогают существенно повысить качество управления транспортными системами за счет более точного моделирования ее рабочих элементов и их взаимодействия.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Системы автоматического и телемеханического управления электроподвижным составом/Баранов Л. А., Ерофеев Е. В., Астрахан В. И., Максимов В. М. и др.; Под ред. Л. А. Баранова. — М.: Транспорт, 1984.
2. Балакина Е. П., Ерофеев Е. В. Показатели качества оперативного управления движением поездов метрополитена//Труды научно-практической конференции «Неделя науки-2008. Наука — транспорту». — М.: МИИТ, 2008.
3. Баранов Л. А., Балакина Е. П., Воробьева Л. Н. Алгоритмы централизованного управления движением поездов метрополитена//Мир транспорта. — 2007. — № 2.
4. Баранов Л. А., Мелёшин И. С., Чинь Л. М. Энергооптимальное управление движением поезда с рекуперативным тормозом при учете ограничений на фазовую координату//Наука и техника транспорта. — 2010. — № 4.
5. Баранов Л. А., Мелёшин И. С., Чинь Л. М. Оптимальное управление поездом метрополитена по критерию минимума энергозатрат//Электротехника. — 2011. — № 8.
6. Балакина Е. П. Принципы построения алгоритмов системы поддержки принятия решений поездному диспетчеру//Наука и техника транспорта. — 2008. — № 2.
7. Баранов Л. А. Многофункциональная модель линий метрополитена//Материалы IV международной конференции «Системы безопасности на транспорте». — Прага, 2008. ●

## PROSPECTS FOR MULTIFUNCTION MODELS

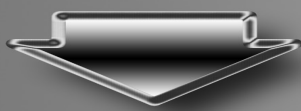
**Baranov, Leonid A.** — D.Sc. (Tech), professor, head of the department of control and informatics in technical systems of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT).

**Balakina, Ekaterina P.** — Ph.D. (Tech), associate professor of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT).

The article refers to the structure, advantages, and characteristics of multifunction models of transportation systems. The authors consider multifunction models to be a universal tool to use for different researches, using a metro line model as an example.

**Key words:** metro, multifunction model, principles of designing, prospects of use.

Координаты авторов (contact information): Баранов Л. А. — [uitsmiit@zmail.ru](mailto:uitsmiit@zmail.ru), Балакина Е. П. — [balakina\\_e@list.ru](mailto:balakina_e@list.ru).



### ПЕРВЫЙ ШАГ К ИНСТИТУЦИОНАЛЬНОМУ ПРОРЫВУ В СФЕРЕ МЕЖДУНАРОДНОГО ТРАНСПОРТНОГО СОТРУДНИЧЕСТВА

VII международный железнодорожный бизнес-форум «Стратегическое партнерство 1520» завершил свою работу в Сочи. Ключевыми партнерами форума традиционно выступили ОАО «РЖД», «Siemens AG», «Deutsche Bahn AG». Организатор встречи — компания «Бизнес Диалог». Ключевая тема мероприятия — «Формула роста «Пространства 1520» в системе экономических и торговых союзов».

Более 1400 делегатов собрались в столице зимней Олимпиады-2014, чтобы ответить на вопрос, какое место в ближайшее годы займет «Пространство 1520» в процессах всемирной глобализации и интеграции. Среди участников форума, по словам президента ОАО «РЖД» Владимира Якунина, беспрецедентное число представителей органов власти: делегации Минтранса РФ, Минэкономразвития РФ, ФСТ России, министерств и ведомств других стран-участниц, а также представительная делегация Евросоюза, что стало свидетельством заинтересованности политической и экономической элиты Европы в итогах обсуждения поставленных вопросов.

Представители промышленного и добывающего секторов, банкиры, научные эксперты присоединились к руководителям железнодорожных администраций и другим участникам рынка транспортных услуг, чтобы выразить свое мнение по поводу тех задач, которые стоят сегодня перед транспортным комплексом Европы и Азии, а также «Пространства 1520» как связующего звена между ЕС и АТР.

В ходе дискуссии «ЕС-1520-АТЭС: трансъевразийский коридор мировой экономики» каждый из выступающих, согласившись в принципе с заданным направлением интеграции и глобализации, выдвинул свои идеи по реализации этих планов.

**Владимир Якунин** полагает основной задачей построение последовательной системы отношений с партнерами из стран СНГ, АТР и Европы по ключевым вопросам развития железнодорожного сообщения.

Вице-президент Еврокомиссии, еврокомиссар по транспорту **Сийм Каллас** считает, что Евразийский транспортный коридор уже не просто существует, но он вполне конкурен-

тоспособен. Необходимо лишь ускорить прохождение границ.

Заместитель министра транспорта РФ **Николай Асаул** рассказал участникам о правовой стороне планов создания эффективных железнодорожных коридоров. **Петер Рамзауэр**, министр транспорта, строительства и городского развития Германии, в своем выступлении подчеркнул, что железные дороги вносят свой существенный вклад в то, что экономики Европы, Азии и России растут. При этом очень важно двустороннее сотрудничество, однако гораздо больше можно сделать на трехстороннем уровне.

В ходе форума был презентован самый амбициозный проект по развитию железнодорожной инфраструктуры — строительства широкой колеи до Вены, как охарактеризовал его генеральный директор «ОВВ-Holding AG» **Кристиан Керн**. Проект предполагает появление новой линии Кошице — Братислава — Вена длиной 390—430 км (в зависимости от варианта маршрута), инвестиции в реализацию проекта оцениваются в 6 млрд евро без учета строительства терминалов и сопутствующей логистической инфраструктуры, а также затрат на модернизацию железнодорожных систем стран-участниц. В результате реализации проекта сформируется единый устойчивый транспортный коридор длиной 10 000 км, что позволит наиболее эффективно перевозить грузы между Европой и Азией и приведет к повышению глобальной деловой активности.

**Владимир Якунин** во время торжественного закрытия мероприятия подчеркнул, что нынешний форум является первым шагом по пути институционального прорыва во взаимоотношениях железнодорожного сообщества, партнеров среди грузоотправителей и промышленников, а также зарубежных партнеров, в том числе представителей органов власти Евросоюза. Он отметил, что подписание ряда соглашений на общую сумму более 120 млрд рублей можно расценивать как общественное признание значимости проектов развития инфраструктуры.

Пресс-центр «Бизнес Диалог»  
[media@businessdialog.ru](mailto:media@businessdialog.ru)

