

ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ И ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСКИЙ ИНСТИТУТ
ИНФОРМАТИЗАЦИИ, АВТОМАТИЗАЦИИ И СВЯЗИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ»
(ОАО «НИИАС»)

ТРУДЫ

ЧЕТВЕРТОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ

**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ.
КОМПЬЮТЕРНОЕ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ
МОДЕЛИРОВАНИЕ.
ИСУЖТ-2015**

18 ноября 2015 года
МОСКВА

«Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование» (ИСУЖТ-2015): Четвертая научно-техническая конференция с международным участием (18 ноября 2015 г., Москва, Россия) Открытое акционерное общество «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте». Дочернее общество ОАО «РЖД» (ОАО «НИИАС»), 2015 г.

Конференция проводилась при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований.

Утверждено к печати Программным комитетом конференции:

Сопредседатель

Гуляев Ю. В.,
академик РАН (ИРЭ им. В. А. Котельникова РАН, Москва)

Сопредседатель

Матюхин В. Г.,
д.т. н. (ОАО «НИИАС», Москва)

Члены программного комитета

Гуда А.Н.,
д.т.н., профессор (РГУПС, Ростов)

Доенин В.В.,
д.т.н., профессор (МГУПС, Москва)

Каркищенко А.Н.,
д.ф.-м.н., профессор (ЮФУ, Ростов)

Кузнецов Н.А.,
академик РАН
(ИРЭ им. В.А.Котельникова РАН, Москва)

Рудаков К.В.,
член-корреспондент РАН
(ВЦ им. А.А.Дородницына, Москва)

Лай Мань Зунг,
к.т. н., доцент (Ханойский политехнический университет, Ханой, Вьетнам)

Нгуен Куэн Кань,
к.т. н., доцент
(Вьетнамский национальный университет, Хошимин, Вьетнам)

Новиков Д. А.,
член-корреспондент РАН
(ИПУ им. В.А.Трапезникова РАН, Москва)

Ржевский Г. А.,
профессор (Открытый университет, Лондон, Великобритания)

Шабунин А. Б.,
(ОАО «НИИАС», Москва)

Шаров В. А.,
д.т. н., профессор
(ЦТК ОАО «РЖД», Москва)

В сборнике представлены материалы конференции по следующим направлениям:

- Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте
- Компьютерное и математическое моделирование транспортных процессов и систем
- Управление движением на железнодорожном транспорте
- Моделирование перевозочного процесса и транспортной логистики
- Управление железнодорожной инфраструктурой и энергоэффективностью
- Спутниковые и геоинформационные технологии в управлении
- Измерения, контроль и диагностика в задачах управления
- Прогнозирование и моделирование процессов управления безопасностью на железнодорожном транспорте

Общая редакция сборника трудов конференции — д.т.н. Матюхин В.Г., д.т.н. Строгонов В.И.

СЕКЦИЯ №1

УПРАВЛЕНИЕ ПЕРЕВОЗОЧНЫМ ПРОЦЕССОМ, ПЛАНИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПЕРЕВОЗОК

Матюхин В.Г., ОАО «НИИАС», г. Москва

Интеллектуальные системы для железнодорожного транспорта. Опыт и перспективы

Первой интеллектуальной системой, внедряемой в производственный процесс ОАО «РЖД», является единая интеллектуальная система управления и автоматизации на железнодорожном транспорте (ИСУЖТ).

Предметом исследования проекта ИСУЖТ является вся сеть железных дорог России. Очевидно, что это сверхсложная динамическая система. Для ее описания нами была выбрана сетевая технология.



Рис.1. Предмет исследования

По этой технологии при описании системы (см. рис.1) выделяются сенсоры, передающие информацию о течении производственного процесса, исполнительные механизмы и вычислительная среда.

Сейчас вычислительная среда «РЖД» основана на управлении перевозочным процессом в ручном режиме, то есть все решения принимает диспетчер. И этот процесс обслуживают тысячи информационных систем. Что делают все эти информационные системы? Они собирают и представляют информацию для диспетчера, снимая

с него только ряд рутинных операций. Разработка планов целиком отдана диспетчерам по кругам вѣдѣния. Сейчас построенные диспетчерами планы далеко не всегда согласованы. И как следствие, перевозочный процесс организован неоптимальным образом.

Цель ИСУЖТ – заменить интеллект диспетчеров на машинный на базе методов искусственного интеллекта. В чем сложность такой замены? Для принятия оптимального решения необходим полный перебор всех вариантов решений, элементами такого перебора будут положения стрелок, вагоны, локомотивы и так далее. Понятно, что для такого перебора не хватит мощности вычислительной техники, а поиск решения займет сотни лет.

Однако существуют способы решения подобных задач на типовой вычислительной технике. Прежде всего, это применение мультиагентных технологий. В 2011 году мы на специализированном стенде доказали, что решать задачи планирования для РЖД в реальном времени возможно. Сейчас это уже подтвержденный факт, алгоритмы находятся в промышленной эксплуатации.

Другой важной составляющей решения является декомпозиция задачи. Проанализировав перевозочный процесс, а за 175 лет работы железной дороги этот процесс выстроен четко, нами выделены существующие центры принятия решений – это диспетчера разного уровня. В ИСУЖТ диспетчеру соответствует интеллектуальный программно-аппаратный модуль – планировщик. Для последовательной реализации всего множества планировщиков составлен план до 2018 года, или, другими словами – дорожная карта ИСУЖТ.

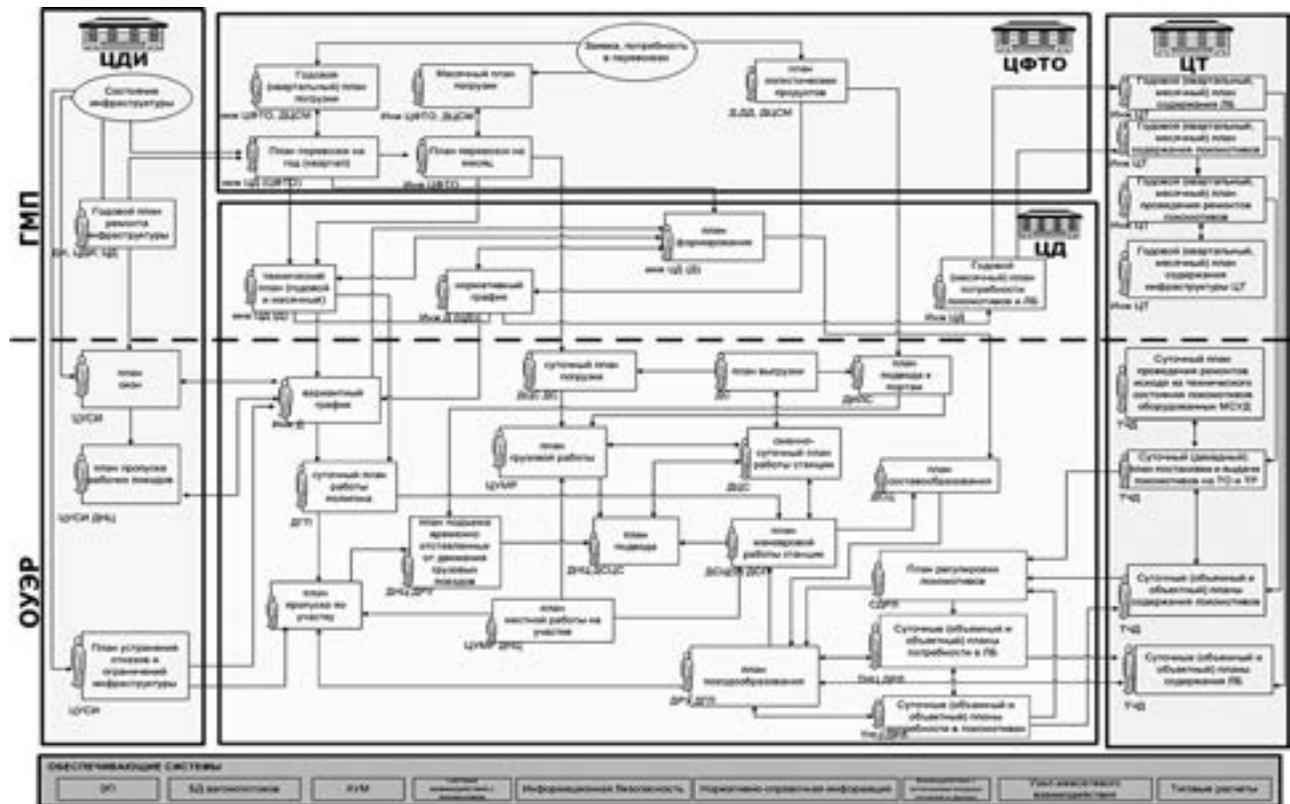


Рис.2. Формализованная постановка задачи проекта

Важно, что ИСУЖТ нацелен на автоматическое формирование конкретных планов и регулировочных заданий, как для диспетчерского персонала, так и для передачи управляющих воздействий на локомотивы, и окончное оборудование.

На первом этапе ИСУЖТ сохраняет устоявшуюся технологию, оптимизируя решения за счет использования максимального количества факторов и расширения границ рассматриваемых участков. Планировщиком анализируется состояние всего полигона или всей сети, а не одного диспетчерского круга.

Разработав планировщик, его сразу можно внедрять в перевозочный процесс, не дожидаясь реализации остальных. Постепенное наращивание системы позволит уходить от человеческого фактора и получать технологические эффекты, совершенствовать перевозочный процесс.

По мере внедрения планировщиков и развития системы для повышения эффективности логично следует второй этап реализации системы – это укрупнение приведенных на схеме блоков. Без человека в главе каждого подпроцесса это будет сделать значительно проще.

Функционал ИСУЖТ включает все существующие горизонты планирования перевозочного процесса, от годового и месячного планирования до диспетчерского планирования пропуска поездов. Решение задач

планирования, согласования и контроля исполнения осуществляется с помощью сети взаимодействующих динамических планировщиков в реальном режиме времени.



Рис.3. Формализованная постановка задачи проекта (2 этап)

Такая организация системы позволит уточнять долгосрочные планы на краткосрочных периодах и обеспечивать выполнение заданных показателей на всех горизонтах планирования.

Построение системы ИСУЖТ базируется на следующих принципах:



Рис.4. ИСУЖТ на Октябрьской железной дороге



Рис.5. Управление тяговыми ресурсами на Восточном полигоне (ЦУТР ВП)

- ИСУЖТ – это управляющая система на основе адаптивного планирования с помощью преимущественно мультиагентных технологий. В реальном режиме времени с учетом сложившейся обстановки производится автоматическая корректировка планов (как объемных, так и детализированных) по разным аспектам деятельности железной дороги.
- Применение единой онтологии и единой платформы реализации позволяет масштабировать и непрерывно адаптировать систему.
- Процессный подход обеспечивает полноту автоматизации сквозных производственных процессов и исключение дублирования при разработке Системы.
- ИСУЖТ – это полностью российская разработка.

Четкое следование провозглашенным принципам позволяет ИСУЖТ оставаться единой системой, несмотря на грандиозные масштабы как задач, так и полигонов внедрения.

Система развернута на полигонах Санкт-Петербург – Москва, Санкт-Петербург – Буловская, Санкт-Петербург – Невель, Байкало-Амурская магистраль, отдельных участках Транссиба.

В 2013 г. в опытную, а в 2015 г. в постоянную эксплуатацию на полигонах Октябрьской железной дороги внедрены комплексы задач ИСУЖТ по расчету плана пропуска для направления.

В процессе внедрения на Октябрьской дороге заказчиками и разработчиками накоплен колоссальный опыт.

Представленный на рисунке 4 АРМ поездного диспетчера позволяет автоматически планировать пропуск грузовых поездов, высокоскоростных, пассажирских и пригородных поездов при возникновении отклонений их от графика, передавать утвержденный

план пропуска в подсистему автоматической установки маршрутов.

Базовым полигоном для другой группы задач стал Восточный полигон. Здесь внедрены в постоянную эксплуатацию задачи по техническому нормированию и регулированию. Представленные на рисунке 5 табло и рабочее место отображают комплексную оценку ситуации. АРМ автоматически рассчитывает нормы содержания локомотивов на текущий период под запланированный объем движения и рассчитывает корректирующие регулировочные задания. Готовится к запуску основной комплекс задач планирования тяговых ресурсов на всем восточном полигоне.

Перспективы развития ИСУЖТ включают последовательную реализацию технологически и информационно увязанных комплексов задач автоматического формирования графика, управления пропуском поездопотоков по расписанию, управление тяговыми ресурсами и целый ряд других задач на основных направлениях грузопотоков: Кузбасс-Восток, Кузбасс-Север, Кузбасс-Запад, Кузбасс-Юг. Такая реализация обеспечит эстафетную передачу поездопотока с одного диспетчерского участка на другой, в соответствии с согласованным по использованию тяговых ресурсов графиком и с соблюдением всех технологических ограничений и требований безопасности.

Реализация ИСУЖТ необходима для оптимизации грузового движения, сокращения издержек железнодорожного транспорта, создания резерва пропускной способности, доставки грузов в установленные сроки и создания новых логистических продуктов для более качественного обслуживания клиентов РЖД.

К 2018 году планируется запустить ИСУЖТ в полном объеме на большинстве дорог сети.



Ефремов Г.А., Ефремова А.П., ОАО «НИИАС», г. Москва

Интеллектуальное диспетчерское управление на новых полигонах. Реализация управляющих функций ИСУЖТ

Введение

Целью создания комплекса задач ИСУЖТ по построению плана пропуска поездов в реальном режиме времени на основе методов искусственного интеллекта является автоматизация решений и действий поездных диспетчеров и диспетчеров по направлению.

Работа диспетчера связана с непрерывно возникающими конфликтами во время движения поездов (отклонения от графика, отказы технических средств, ремонтные работы и др.). Время реакции на события и на принятие решения диспетчером ограничено. Опыт каждого диспетчера непосредственно влияют на качество и скорость принятия решений.

В настоящий момент комплекс задач ИСУЖТ по построению плана пропуска поездов внедрен на полигонах Санкт-Петербург – Москва, Санкт-Петербург – Буловская, Санкт-Петербург – Невель Октябрьской железной дороги, на главном ходу Восточно-Сибирской дороги и Байкало-Амурской магистрали.

Комплекс задач ИСУЖТ по построению плана пропуска поездов в реальном режиме времени направлен на решение следующих актуальных проблем:

- возврат пассажирских поездов в график при возникновении их отклонений и нестандартных ситуаций [1-3, 5];
- построение плана пропуска для неграфиковых грузовых поездов;
- обеспечение безопасности пропуска высокоскоростных поездов (контроль установки маршрутов, закрытия переездов, установки режимов высокоскоростного движения, недопущение скрещения поездов «Аллегро», «Сапсан» и грузовых поездов с негабаритными или сыпучими грузами);

- передача рассчитанного плана пропуска поездов в подсистему автоматической установки маршрутов.

Подсистема автоматической установки внедрена на полигоне Санкт-Петербург – Москва и работает только на основе нормативного графика. При возникновении отклонений от графика или для пропуска неграфиковых грузовых поездов диспетчер вынужден помимо решения конфликта вручную передавать команды по установке маршрутов на станции.

В рамках проекта устранение отклонений от графика движения и решение возникающих конфликтных ситуаций формируется на основе многоагентных технологий [4, 7].

ИСУЖТ на Октябрьской дороге

Характеристика полигона Санкт-Петербург – Невель Октябрьской дороги приведена на рис. 1. Направление Санкт-Петербург – Невель – многопутная линия в пригородной зоне СПб, однопутный участок от станции Новинка. Длина полигона 604 км, 48 станций. На участке есть пассажирская и сортировочная внеклассные станции. Движением на направлении управляют 2 поездных диспетчера и старший диспетчер направления. Размеры движения на направлении по участкам: 15/14 пар пассажирских поездов, 51/2 пары пригородных поездов, 12/11 пар грузовых поездов. Подробное описание полигонов Санкт-Петербург – Москва, Санкт-Петербург – Буловская приведено в [4, 9].

Основной задачей на этом полигоне является решение конфликтов и построение плана пропуска на однопутном участке с целью минимизации скрещений и повышения участковой скорости грузовых поездов.

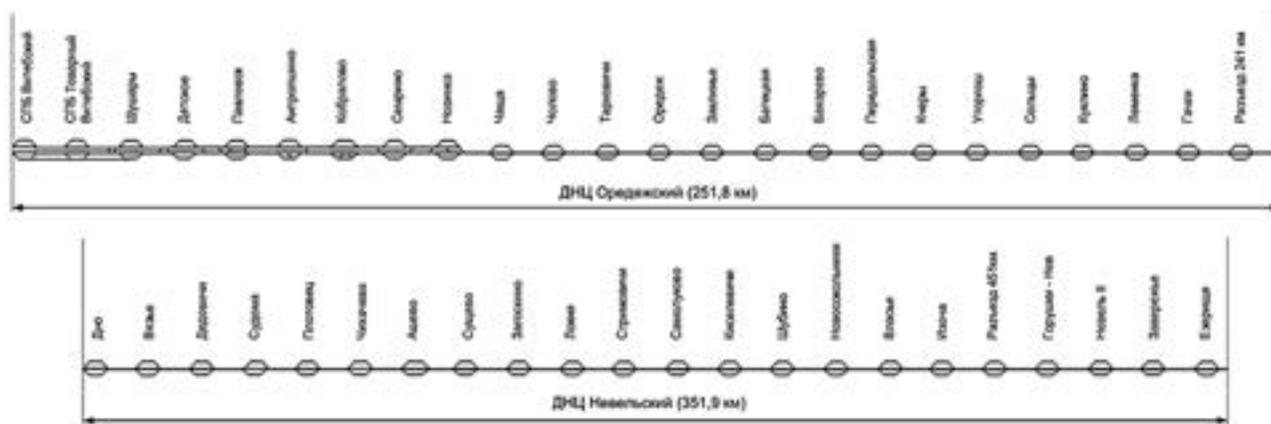


Рис.1. Полигон Санкт-Петербург – Невель Октябрьской дороги

Новым для этого полигона является установка подсистемы автоматической установки маршрутов на Невельском диспетчерском участке.

Задачи, решаемые подсистемой оперативного управления ИСУЖТ, на полигонах Октябрьской дороги приведены на рис.2.

Подробнее рассмотрим функции системы для диспетчерского управления движением поездов на примере ИСУЖТ для полигона Санкт-Петербург – Невель.

Во-первых, это контроль. В настоящее время поездной диспетчер может контролировать движения поезда только по станциям, фиксируя события прибытия и отправления. Развитие системы диспетчерского контроля на рассматриваемом направлении позволяет контролировать и занятие всех блок-участков на перегоне. Устройствами спутниковой навигации оборудованы не все поезда, поэтому информация о скорости есть не по всем поездам. Следовательно, своевременно отследить остановку поезда на перегоне диспетчер все же не в силах. Контроль длительности занятия блок-участков позволит своевременно оповестить диспетчера о возможной остановке поезда на перегоне.

Следующий блок предназначен для контроля течения технологических процессов. Он будет сопровождать действия диспетчера, как в штатных, так и нештатных ситуациях. Функциональный блок будет предоставлять диспетчеру выбор действий в соответствии с текущими условиями и контролировать их исполнение. В случае опоздания поездов, например, вследствие какого-либо отказа, техпроцесс будет подсказывать диспетчеру за-

пустить планировщик для построения плана пропуска после сбора всех необходимых данных по отказу.

Наконец, интеллектуальная составляющая системы заключается в построении плана пропуска поездов на основе мультиагентных технологий. Полигон имеет несколько ответвлений, контролируемых другими диспетчерами, с которых могут поступать грузовые поезда (как в соответствии с нормативным графиком, так и диспетчерским расписанием). Поездным диспетчерам необходимо построить план пропуска этих грузовых подходов так, чтобы соблюсти все требования безопасности движения, местные условия пропуска, не нарушить движение пассажирских и пригородных поездов, не сорвать сроки доставки груза.

Комплексы задач по текущему планированию и решению конфликтных ситуаций в автоматизированном режиме планируют пропуск поездов с учетом текущего поездного положения (отклонения от графика пассажирских поездов, движение грузовых поездов диспетчерским расписанием), инфраструктурных ограничений (плановые окна, ограничения скорости, путевое развитие станций, занятость путей станции) и местных условий пропуска (приоритеты поездов, длины поездов, вес поездов и др.)

Новым для сети железных дорог будет использование подсистемы автоматической установки маршрутов (АУМ) на основе плана пропуска, рассчитанного ИСУЖТ. Преимуществом такого внедрения по сравнению с текущим вариантом использования АУМ является возможность установки маршрутов в авто-



Рис.2. Комплексы задач ИСУЖТ по построению плана пропуска поездов



Рис.3. Взаимодействие ИСУЖТ с диспетчером

матическом режиме и для неграфиковых грузовых или хозяйственных поездов и в случае конфликтных ситуаций для пассажирских и пригородных поездов график и маршруты пропуска по станции будут автоматически скорректированы.

На основе данных из внешних систем по командам диспетчера в реальном масштабе времени строится план пропуска поездов. Построенный план вместе с его оценкой предлагается диспетчеру на утверждение. Диспетчер может откорректировать план пропуска, если, например, он знает об особенностях поездов, которых нет в автоматизированных системах. Например, может повысить приоритет любому поезду или группе поездов. После корректировок пользователя план пропуска ещё раз пересчитывается для исключения возможных конфликтов, которые пользователь мог не учесть. Затем план пропуска диспетчером утверждается и отправляется в подсистему АУМ для автоматического перевода стрелок на станциях для выполнения утвержденного плана пропуска. При возникновении отклонений, изменении времен подхода поездов план пересчитывается.

На полигоне Санкт-Петербург – Невель расчет плана пропуска на 6 часов вперед занимает порядка 20 секунд.

При переходе на новые полигоны наиболее трудоемкой является задача обработки и подготовки данных для построения плана пропуска. План строится с точностью до блок-участка, что делает систему чувствительной к точности данных системы диспетчерской централизации.

Комплексное автоматизированное рабочее место диспетчера

Поддержка диспетчерских решений для устранения отклонений в движении поездов от графика будет осуществляться в полнофункциональных рабочих местах, автоматизирующих сквозной процесс диспетчерского управления. Диспетчер с помощью полнофункционального АРМа сможет выполнять весь перечень должностных обязанностей, включая передачу сообщений и приказов другим диспетчерам, а также управляющих воздействий непосредственно на устройства автоматики и локомотив.

Заключение

В настоящее время проверена применимость многоагентных технологий для возврата поездов в расписание. Архитектура разработанной системы позволяет декомпозировать задачу. Заложена масштабируемость системы: решение для полигона Санкт-Петербург-Москва с добавлением грузовых поездов адаптировано на полигоне Санкт-Петербург – Бусловская. В системе предусмотрено добавление новых данных: ограничений, технологий, правил, которые возникали в процессе эксплуатации. Разработанная система обучаемая, так как позволяет оперативно редактировать правила решения конфликтных ситуаций. В ИСУЖТ результаты разрешения конфликтов отображаются с помощью когнитивного интерфейса, что позволяет диспетчеру быстро оценить предложенное решение и предпринять необходимые действия.

Технологические эффекты от внедрения задач диспетчерского управления движением поездов

- Организована работа диспетчеров при планировании плана пропуска. Реализован переход от планирования сходу на планирование по трехчасовым периодам.
- Повышение качества диспетчерского управления движением поездов за счет автоматизации процесса, включая:
 - Предупреждение отклонений от хода технологических процессов;
 - Поддержку принятия решений в нештатных ситуациях;
 - Расчет изменений расписания для ввода поездов в график.
- Снижение влияния человеческого фактора (опыт, психофизическое состояние) на управление движением поездов.

Разработанный комплекс задач по построению плана пропуска поездов внедрен в постоянную эксплуатацию на полигонах Санкт-Петербург – Москва, Санкт-Петербург – Бусловская. В процессе опытной эксплуатации на данных полигонах произведена более точная настройка параметров алгоритма разрешения конфликтов на основе многоагентных технологий, добавлено множество дополнительных ограничений и правил, которые были определены самими пользователями системы.

На полигонах Санкт-Петербург – Невель Октябрьской железной дороги, на главном ходу Восточно-Сибирской дороги и Байкало-Амурской магистрали построение плана пропуска поездов внедрено в опытную эксплуатацию.

Перспективами развития ИСУЖТ на полигонах Октябрьской дороги является: интеграция с автоведением для управления тягой локомотива. Дальнейшее тиражирование описанного решения на сеть железных дорог будет основой для движения всех типов поездов по расписанию.

Литература

1. Матюхин В.Г., Шаров В.А., Шабунин А.Б. Управление железной дорогой онлайн/ Пульт управления, 2011. № 03. – С.24-29
2. Матюхин В.Г., Шабунин А.Б., Калущкая А.П. Дороги проверяют / Пульт управления, 2012. № 05(09). – С.24-27.
3. Матюхин В.Г., Шабунин А.Б. ИСУЖТ. Концепция и реализация // Сборник трудов Первой научно-технической конференции «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте» (ИСУЖТ-2012, Москва, 15-16 ноября 2012г). – М. – Изд-во ОАО «НИИАС», 2012. – С. 15-18.
4. Ефремов Г.А., Калущкая А.П. Интеллектуальное диспетчерское управление движением поездов на направлении Санкт-Петербург – Москва // Сборник трудов Первой научно-технической конференции «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте» (ИСУЖТ-2012, Москва, 15-16 ноября 2012г). – М. – Изд-во ОАО «НИИАС», 2012. – С. 55-57.
5. Матюхин В.Г., Шабунин А.Б., Калущкая А.П. От продуманного решения к качественной реализации / Железнодорожный транспорт, 2013. №3. – С.20-22.
6. Шабунин А.Б., Ефремов Г.А., Калущкая А.П. Использование мультиагентных систем в диспетчерском регулировании / Железнодорожный транспорт, 2013. №3. – С.23-27.
7. Шабунин А.Б., Чехов А.В., Ефремов Г.А., Дмитриев Д.В., Курбатов Е.В., Сазуров С.В., Бабанин И.О., Беловусов А.А., Кожевников С.С., Симонова Е.В., Скобелев П.О., Степанов М.Е., Царев А.В., Мунтян Г.Ю. Решение конфликтов в графике движения поездов в реальном времени с использованием мультиагентных технологий // Сборник трудов Первой научно-технической конференции «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте» (ИСУЖТ-2012, Москва, 15-16 ноября 2012г). – М. – Изд-во ОАО «НИИАС», 2012. – С. 51-54.
8. Ефремов Г.А., Ефремова А.П., Курбатов Е.В. Диспетчерское управление движением поездов на основе интеллектуальных многоагентных систем // Сборник трудов Второй научно-технической конференции «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте» (ИСУЖТ-2013, Москва, 15-16 октября 2013г). – М. – Изд-во ОАО «НИИАС», 2013. – С. 55-57.



Белоусов А.А., Скобелев П.О., Степанов М.Е., ООО «НПК «Разумные решения», г. Самара
Ефремов Г.А., ОАО «НИИАС», г. Москва
Курбатов Е.В., ООО «ПрограмПарк» г. Москва

Особенности мультиагентного планирования движения поездов на однопутных участках в реальном времени на примере Невельского участка и Байкало-Амурской магистрали

1. Введение

Известно, что строительство ЖД инфраструктуры длится с начала 19 века, и её текущее состояние оставляет всё меньше вариантов экстенсивного и толкает к продолжению интенсивного развития: применение энергосберегающих технологий и режимов движения, совершенствование обслуживания инфраструктуры и, главным образом, оптимизация графиков движения поездов.

Современные интеллектуальные системы поддержки принятия согласованных решений в реальном времени в сложных и крупномасштабных системах должны поддерживать существующие эффективные и использовать новые методы и средства автоматизации управленческой деятельности, позволяющие учитывать все многообразие факторов, критериев, правил, взаимодействий. Должен обеспечиваться высокий уровень достоверности и качества решений, а также производительности в реальном времени.

В данной работе представлена система, основанная на мультиагентных технологиях, которая решает сложную задачу адаптивного управления движением поездов в реальном времени. В настоящее время разработанная система проходит опытную эксплуатацию на Невельском участке Октябрьской железной дороги и на Восточно-Сибирской железной дороге. В промышленной эксплуатации система находится на полигонах Октябрьской железной дороги.

2. Мультиагентный подход к адаптивному управлению железнодорожным движением

2.1. Постановка задачи

Задача адаптивного управления железнодорожным движением в реальном времени [1] заключается в построении детального плана движения поездов с целью приведения их к минимальным отклонениям от нормативного расписания с учетом разнородных ограничений и требований по непрерывно поступающим событиям (поломка поезда, занятость путей, ремонтные работы, скоростные ограничения движения и пр.).

К входным данным задачи относятся:

- инфраструктура железнодорожной сети с детализацией до блок-участков (БУ) – станции, стрелки, блок-участки (БУ);

- нормативные графики движения;
- требования на проведение ремонтных работ на путях (окна);
- обновления текущей ситуации на полигоне по продвижению поездов и состояний БУ (сигналы занятости или информация о недоступности блок-участков).

Решением такой задачи будет являться план по возврату опаздывающих под воздействием непредвиденных событий поездов в нормативный график движения, а также список мер диспетчерского регулирования для разрешения конфликтных ситуаций и исполнения полученного плана.

Большая размерность решаемой задачи характеризует ее как крупномасштабную. Например, Невельский полигон Октябрьской ЖД (475 км включает 47 станций) и участок Байкало-Амурской магистрали (1805 км включает 105 станций).

К основным ограничениям системы относятся требования безопасности движения, нормативные требования построения маршрутов движения, приоритеты поездов, диспетчерские правила и пр.

Применение тех или иных требований зависит от текущей ситуации, т.е. имеется ситуационность в принятии решений.

Для решения задачи адаптивного управления железнодорожным движением в реальном времени, была разработана система на основе мультиагентных технологий и методов. Мультиагентный подход позволил адекватно учесть все множество разнородных критериев, ограничений и требований к управлению поездками, в том числе и плохо формализуемых. Архитектура мультиагентной системы открыта и позволяет вводить новые условия и критерии, а также менять старые и управлять ими динамически, благодаря применению специально созданной онтологии (базы знаний).

2.2. Архитектура мультиагентной системы

Архитектура разработанной системы строится на принципах сетцентризма, при котором каждая подсистема (слой) выполняет свою индивидуальную задачу, а итоговое решение получается путем согласования индивидуальных решений [2].

Данное разделение построения расписаний поездов на слои позволяет избежать комбинаторного взрыва вариантов, сделать процесс планирования более устойчивым к возмущениям за счет сокращения размерности задачи на более высоких уровнях и поэтапного учета всех возможных ограничений в соответствии со степенью важности и влияния на остальные уровни [7].

Планирование движения поездов происходит на двух уровнях:

на первом уровне планирования по заданному расписанию поездов рассчитываются их траектории движения, т.е. перегоны и пути станции по которым должны проехать поезда, включая блок-участки стоянок и маневровое движение на станциях для бесконфликтного выполнения заданного расписания;

на втором уровне планирования происходит адаптивное изменение существующего расписания поездов при отклонении поездов от эталонного расписания или при возникновении непредвиденных ситуаций (например, незапланированное окно ремонтных работ, ложная занятость и т.д.). Т.е. определяются времена прибытия и отправления поездов со станции, времена занятия и освобождения блок-участков траектории.

Первый уровень планирования представлен траекторным планировщиком, второй уровень – временным планировщиком. Общий метод поиска решения и роль планировщиков в нем показаны на рисунке 1.

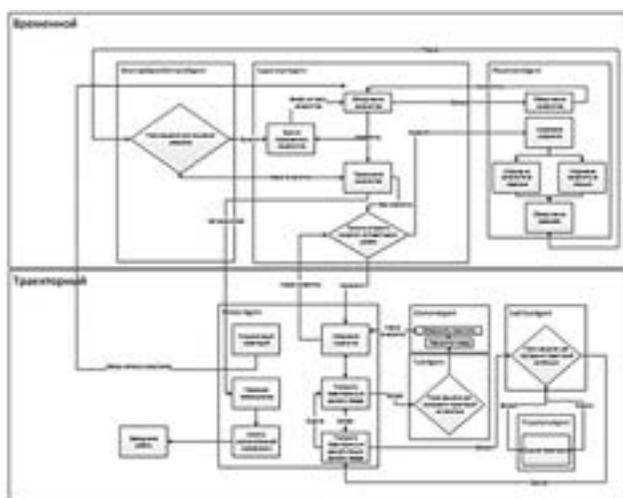


Рис. 1. Взаимодействие основных подсистем планирования, представленное диаграммой Event-driven Process Chain

Данная диаграмма описывает взаимодействие систем на высоком уровне абстракции. Блоки диаграммы в свою очередь могут являться подсистемами со сложной внутренней структурой.

Решение поставленной задачи базируется на методе сопряженных взаимодействий для управления распределением ресурсов в реальном времени [4]. Так,

если на траекторном уровне агенты поездов, интервалов и станций совместно определяют где и как будет проходить поезд, то на временном уровне агент поезда порождает подзадачи (операции) на проследование по перегону или стоянку на станции в определенном временном интервале.

Агент каждой такой подзадачи ищет для себя размещение на соответствующем ресурсе, пытаясь занять наиболее выгодное для себя место через переговоры с другими агентами подзадач. Агенты поездов с большим приоритетом ведут себя активнее при поиске лучшего размещения (имеют больше энергии для выталкивания других заявок с ресурсов).

Для исключения заикливания в ходе согласований и поиска решений, варианты представляются в виде ациклического ориентированного графа. Это исключает формирование переходов, формирующих циклы.

На уровне работы траекторного планировщика итогом работы является выбор траектории проследования поезда по маршруту, с детализацией до блок-участков [4, 5]. У временного планировщика результатом является план со временами стоянок и проследования по станциям и перегонам полигона.

3. Программная реализация

3.1. Реализационные характеристики

Рассмотрим реализационные характеристики подробнее на примере Невельского полигона и участка Байкало-Амурской магистрали. Длина Невельского полигона составляет около 475-километровому пути (около 387 км длины которого является однопутным). За сутки на нём активны в среднем 150 поездов различных назначений (высокоскоростные, грузовые, хозяйственные и др.).

У рассматриваемого участка Байкало-Амурской магистрали протяжённость пути составляет около 1805 км, из которых около 1036 км – «однопутка». В течение суток на рассматриваемом участке Байкало-Амурской магистрали активны около 160 поездов различных видов.

Значимые для планирования характеристики рассматриваемых полигонов представлены в таблице 1.

Учитывая, что в планировщике каждый поезд представлен своим агентом, и каждому поезду требуется в среднем около 45 операций (операции движения по перегону, стоянки на станции или следования по станции и др.), получаем только для поездов не менее 6750 агентов виртуального мира (для одного полигона). Кроме них в сцене мира присутствуют ещё агенты станций, блок-участков, маршрутов, ремонтных работ и занятости. Разделение этого большого количества агентов на слои и объединение в отдельные изолированные рои агентов, активные в определенные момен-

Таблица 1. Значимые характеристики полигонов

Полигон	Количество станций	Количество объектов инфраструктуры	Среднее время загрузки и подготовки инфраструктуры, с
Невельский полигон Октябрьской ЖД	47	5597	13,6
Участок Байкало-Амурской магистрали	105	22397	29,5

Таблица 2. Временные характеристики планирования в зависимости от числа задач

Полигон	Число дополнительных подходов	Среднее время пересчета (с)	Среднее время пересчета с добавлением 10 окон (с)
Невельский полигон Октябрьской ЖД	5	9,68	9,39
	10	9,41	10,76
	15	11,07	11,50
	20	12,36	10,88
	25	12,55	12,72
Участок Байкало-Амурской магистрали	5	22,50	23,21
	10	28,19	30,58
	15	34,75	42,16
	20	38,97	42,17
	25	48,20	46,40

ты времени, позволяет повысить общую производительность системы [2].

Для получения реализационных характеристик по каждому показателю было определено среднее значение на основании результатов 20 опытов для двух указанных выше полигонов. Учитывается решение не отдельного уровня планировщика, а совокупное.

В таблице 2 представлено изменение временных характеристик планирования в зависимости от числа планируемых подходов на полигонах. В рамках эксперимента, для увеличения точности первоначальный расчёт оставался одним, а оценки изменений производились на пересчётах. Из таблицы видно, что при сравнимом количестве поездов на полигонах (150 поездов для Невельского полигона и 160 поездов на участке Байкало-Амурской магистрали) время пересчёта различается в диапазоне от 2,3 до 3,9 раза, что связано со значительной разницей в объёме инфраструктуры, которую обрабатывает планировщик. Однако можно заметить близкую к линейной зависимость между количеством элементов инфраструктуры и временем пересчёта маршрутов поездов на каждом полигоне.

Время пересчёта на каждом полигоне проходит в среднем быстрее на 15–40% от первоначального времени расчёта. Это связано с тем, что при пересчёте, расписания поездов не пересчитываются заново, а адаптивно корректируются в соответствии с поступающими событиями.

Результаты расчёта подтвердили ранее полученные результаты вычислительных экспериментов для полигонов с многопутным движением [2].

Данный результат для полигонов с преобладающим однопутным движением получен впервые. Рост слож-

ности решения для диспетчера не всегда ведёт к увеличению времени на его нахождение адаптивным планировщиком (характерно для однопутных участков), а разница между скоростью получения результатов между диспетчером и мультиагентной системой огромна.

3.2. Показатели внедрения

К ожидаемым результатам от внедренной системы адаптивного управления движением поездов относятся: уменьшение затрат времени и ручного труда на прокладку поездов без жесткого расписания, уменьшение общего времени реакции на непредвиденное событие, автоматическая корректировка графика движения поезда при возникновении нештатной ситуации/конфликта с учетом всех норм и ограничений, возможность анализа прогнозного графика и показателей движения. Отсутствие необходимости держать все в голове или рисовать график на бумаге повышает качество работы оперативного поездного диспетчера, а также минимизирует количество нарушений в движении поездов за счет учета всех заданных ограничений и требований.

Прокладка нескольких поездов диспетчерским расписанием с разных направлений на однопутных участках требует не только правильно рассчитывать все нормативы для разгона и замедления поездов при остановке на стоянки, все занятости путей на станции, все длины свободных стоянок, а также учесть правила скрещивания поездов, в том числе с возможностями двухпутных вставок (разъезды) и без них. Дополнительная сложность прокладки маршрутов на однопутных участках заключается в том, что даже минимальное изменение приводит к необходимости полностью перестроить график, так как отсутствуют возможности использова-

ния второго пути для поездов обоих направлений (альтернативного пути нет). Все эти обстоятельства, как и увеличенные длины однопутных перегонов восточной части России (например, за Уралом средняя длина однопутного перегона больше на 40%, чем в европейской части России), усугубляются с появлением технологических работ на перегонах. Кроме этого, расписание не остается статичным и из-за внешних событий и может стать невыполнимым за считанные секунды. Например, занятость пути нужной длины на станции в связи с поломкой делает невозможным стоянку, запланированную министерским графиком у поезда, который уже начал движение по маршруту. Ему срочно нужно менять свое расписание: переносить данную стоянку на другую станцию. Учитывая, что отклонения от нормативного графика портят статистику диспетчера, такая ситуация вызывает повышенное внимание диспетчера и может отодвинуть задачу качественной прокладки поездов диспетчерским расписанием на второй план.

В свою очередь, планировщик, несмотря на многообразие событий, возмущений, условий и ограничений справляется с задачей прокладки поездов, в том числе и диспетчерским расписанием, за секунды и выдает диспетчеру готовое решение, удовлетворяющее всем ограничениям и требованиям, с минимальными отклонениями от нормативных графиков их движения и минимальным необходимым количеством стоянок (повышение энергоэффективности).

Так как рост эффективности и производительности диспетчеров связаны с переложением большей части механических функций по учёту огромного количества нормативов и стандартов на адаптивный планировщик, диспетчеру остаётся больше времени на контроль и корректировку слабо формализуемых требований, что не только снижает затраты времени на прежний объём работы, но и повышает качество решения и самооценку исполнителя (увеличение доли высокоинтеллектуального труда).

4. Заключение

Предлагаемая мультиагентная система адаптивного управления железнодорожным движением в реальном времени [2] разрабатывалась в рамках создания Единой интеллектуальной системы управления железнодорожным транспортом (ИСУЖТ) НИИАС ОАО «РЖД» [6].

Среди дальнейших направлений развития разработанной системы управления поездами можно выделить следующие: объяснение получаемых решений, визуализация пространства решений, демонстрация логики принятия решений диспетчеру; интерактивное взаимодействие с диспетчером для доводки качества плана, моделирование развития ситуации, обучение;

оценка качества решения по гибкому набору критериев и общему уровню «удовлетворенности» ресурсов; увеличение производительности за счет распараллеливания асинхронных процессов планирования.

Указанные разработки помогут улучшить качество решений и повысить эффективность работы для конечных пользователей, повысить экономическую эффективность.

Литература

1. A.A. Belousov, A.A. Goryachev, P.O. Skobelev, M.E. Stepanov A multi-agent method for adaptive real-time train scheduling with conflict limitations // In: Proceedings of Complex Systems 2015, New Forest, UK, 12-14 May 2015 – P 253-266.
2. Белоусов А.А., Скобелев П.О., Ефремов Г.А., Степанов М.Е., Горячев А.А., Шабунин А.Б. Мультиагентный подход к решению сложной задачи построения расписания в крупномасштабной системе управления железнодорожным движением // «Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2014)»: Сборник научных трудов / под общ. ред. С.Н.Васильева, А.Д.Цвиркуна; Ин-т проблем управления им. В.А.Трапезникова Рос. акад. наук. – М.: ИПУ РАН, 2014. – С. 252-263. – ISBN 978-5-91450-161-4.
3. Виттих В.А., Скобелев П.О. Метод сопряженных взаимодействий для управления распределением ресурсов в реальном времени // Автотметрия. – 2009. – №2. – с. 78-87.
4. Abbink, E.J.W., Mobach, D.G.A., Fioole, P.J., Kroon, L.G., van der Heijden, E.H.T., Wijngaards, N.J.E., Actor-Agent Application for Train Driver Rescheduling // In: Proceedings of AAMAS, Budapest, Hungary, 2009. – P 513-520.
5. П.О. Скобелев, А.А. Белоусов, С.О. Лисицын, А.В. Царев. Разработка интеллектуальной системы управления грузовыми перевозками для полигона «Восточный» // Труды XV Международной конференции «Проблемы управления и моделирования в сложных системах» Самара, 25-28 июня 2013г. – Самара: Самарский научный центр РАН, 2013. – С. 391-396. – ISBN 978-5-93424-662-5.
6. А.Б. Шабунин, Н.А. Кузнецов, П.О. Скобелев, И.О. Бабанин, С.С. Кожевников, Е.В. Симонова, М.Е. Степанов, А.В. Царев. Разработка мультиагентной системы адаптивного управления ресурсами ОАО «РЖД» // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2013. №1. – С. 23-29.
7. Белоусов А.А., Скобелев П.О., Ефремов Г.А., Степанов М.Е., Горячев А.А., Шабунин А.Б. Мультиагентный подход к решению сложной задачи построения расписаний в крупномасштабной системе управления железнодорожным движением // «Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2014)»: Сборник научных трудов / под общ. ред. С.Н.Васильева, А.Д.Цвиркуна; Ин-т проблем управления им. В.А.Трапезникова Рос. акад. наук. – М.: ИПУ РАН, 2014. – С. 252-263. – ISBN 978-5-91450-161-4.

Еремин А.С., НПК «Мультиагентные технологии», г. Самара

Автоматизация разработки нормативного графика движения поездов на однопутных полигонах

1. Введение

Разработка нормативного графика движения поездов – важнейший процесс долго- и среднесрочного планирования работы железнодорожного транспорта, напрямую влияющий на эксплуатационные характеристики железнодорожных полигонов: пропускную способность, скорости движения поездов, затраты на движение поездов и т.д.

Низкое качество разработки нормативного графика движения поездов может приводить к тому, что фактическая организация движения осуществляется оперативными работниками железнодорожного транспорта – диспетчерами. Диспетчер ответственен за оперативные показатели перевозочного процесса, поэтому при такой «организации» перевозочного процесса более долгосрочные показатели (в том числе затраты на перевозку) приносятся в жертву оперативной, сменно-суточной необходимости. И если в масштабах одного диспетчерского участка такой подход может приносить более-менее устойчивый результат, то в масштабах сети железных дорог, когда движение одного поезда занимает 7 и более дней, в течение которых необходима строгая синхронизация всех участников процесса его перевозки, оперативные работники в принципе не способны обеспечить приемлемых показателей эксплуатационной работы.

Особенностью так называемого «непараллельного» графика, когда на графике различные поезда прокладываются с различными скоростями, является объективный конфликт между скоростью движения быстрых пассажирских и количеством медленных грузовых поездов. Чем больше разница в скорости движения, тем меньшее общее количество поездов можно проложить. Один пассажирский поезд «снимает» 2-4 грузовых, в зависимости от его скорости. Чем больше пассажирских поездов, тем больше на график влияет их взаимное расположение. То есть, при одинаковой скорости один и тот же пассажирский поезд, в зависимости от конфигурации участка и расписаний других пассажирских поездов, может «снимать» различное количество грузовых поездов.

В связи с этим в последнее время федеральная пассажирская компания, пригородные пассажирские компании, а также другие крупные операторы пассажирского и грузового подвижного состава все чаще

и активнее участвуют в процессе разработки нормативного графика движения, защищая свои собственные интересы. В условиях все более ужесточающейся конкуренции с авиационным и автомобильным транспортом пользователи «ниток» графика не довольны параметрами выделяемых им «ниток» по скорости движения или времени отправления-прибытия и не готовы мириться с непрозрачной формулировкой «отсутствии технической возможности».

Каждый участник процесса разработки графика движения хочет четко понимать, где возможно изменение его «ниток» без ущерба для других участников перевозочного процесса, а где его «нитки» уже проложены оптимально, и их дальнейшее улучшение действительно приведет к существенному ухудшению параметров других участников перевозочного процесса. Сделать же это на текущем уровне организации и с текущей степенью автоматизации не представляется возможным.

Однопутные полигоны обостряют проблемы разработки графика движения до предела, поскольку на нем на нитку поезда влияют не только нитки попутных поездов, но и нитки встречных поездов, причем влияние ниток встречных поездов гораздо значительнее попутных – одна нитка встречного поезда «снимает» 2-3 нитки попутных поездов.

В настоящей статье рассматриваются подходы к автоматизации разработки нормативного графика движения поездов на однопутных полигонах, и предлагается мультиагентная система, решающая ряд возникающих при автоматизации задач.

2. Требования к разработке графика движения и ожидания от автоматизации процесса

Очевидно, процесс разработки нормативного графика движения поездов должен обеспечить своевременную подготовку, согласование и утверждение качественного нормативного графика движения поездов. Под качественным графиком подразумевается график, соответствующего явным и неявным его потребителям. Потребители нормативного графика движения можно разделить на четыре категории (см. таблица 1).

Как видно из таблицы, интересы различных категорий потребителей различны и зачастую взаимоисключающие. Постоянное увеличение скоростей движения

Таблица 1. Основные потребители процесса разработки нормативного графика движения поездов

№ п/п	Категория потребителей нормативного графика	Примеры потребителей	Основные требования потребителей
1	Участники пассажирского движения	ФПК, пригородные компании	Высокая скорость движения своих поездов (прежде всего маршрутная) Удобные периодичность, времена отправления и стоянок поезда
2	Участники грузового движения	Операторы вагонов, грузоотправители	Большое количество «ниток» (обеспечивающая высокую доступность ниток, низкую стоимость перевозки)
3	Подразделения ОАО «РЖД», участвующие в осуществлении перевозки	Подразделения дирекции управления движением (в особенности диспетчерских центров), дирекции тяги и др.	Выполнимость графика на существующей инфраструктуре и имеющимся объемом тягового и нетягового подвижного состава Равномерность потребности в тяговых ресурсах и станционных путях Наличие резервов для восстановления движения после сбоев различного характера
4	Подразделения ОАО «РЖД», осуществляющие разработку вариантных графиков движения	Отделы разработки вариантного графика движения дирекции управления движением	Наличие резервов для съема минимального количества поездов перед «окном» и максимально быстрого возобновления движения после проведения «окна»

и интенсивности поездопотока на железнодорожном транспорте приводят к все более возрастающей сложности и взаимосвязанности принимаемых решений при разработке нормативного графика.

Соответственно, необходимо изменить подход к разработке нормативного графика движения и роли основных участников процесса. В частности, совершенно очевидно, что инженеры-графисты, вынужденные балансировать противоречивые интересы потребителей процесса.

Высвобождение рабочего времени инженеров-графистов и автоматизация процесса позволит им сконцентрироваться на задачах повышения качественных и экономических показателей разрабатываемых графиков, рассматривать несколько альтернативных технологий организации перевозок. Таким образом, баланс затрат рабочего времени инженеров-графистов сместится от ручного труда к интеллектуальному.

Внедрение реализованных алгоритмов быстрой автоматической прокладки «ниток» графика позволит более точно выбирать параметры графика движения на каждом участке, определять оптимальный баланс между пропускной способностью и сроком доставки грузов.

3. Текущее состояние вопроса

Внедренные на сети железных дорог ОАО «РЖД» технологии организации и управления перевозочным процессом основаны на строгом соблюдении графика движения поездов. Современные тенденции развития бизнес-модели железнодорожных перевозок, необходимость усиления контроля за сроками доставки грузов и расходами на перевозку, приводят к необходимости дальнейшего повышения роли графика в организации движения поездов.

В последнее время значительные усилия в вертикали управления движением ОАО «РЖД» уделялись

вопросам управления движением грузовых поездов по расписанию:

- значительно увеличена доля маршрутных отправок грузовых поездов и арендованных «ниток» графика движения поездов;
- на ряде полигонов нескольких железных дорог успешно реализуется автоматизированная корректировка нормативных/вариантных графиков движения и согласование этой корректировки на железнодорожных стыках (система «Эльбрус», разработка ВНИИЖТ);
- автоматизированные оперативные корректировки графика движения эффективно реализуются в системе ИСУЖТ (разработка НИИАС);
- эффективно внедрена на сети система контроля за отклонениями в графике движения поездов КАСАНТ.

Предпринимаемые действия по улучшению организации и управления перевозочным процессом дали результат как в качественных, так и в количественных показателях. Однако, указанные меры не могут дать полной отдачи по очень простой причине – низкое качество исходного графика движения поездов (нормативный график). А повышению качества разработки и согласования нормативного графика движения поездов, внедрению новых технологий в сложившийся десятилетиями процесс уделялось недостаточно внимания.

Можно смело утверждать, что разрабатываемый нормативный график движения поездов на сети железных дорог очень далек от оптимального, поскольку:

Исходные данные для разработки графика, большей частью, не существуют в цифровом виде – компьютер используется только как средства для рисования.

Результаты разработки графика существуют в цифровом виде некоторыми фрагментами – по рисунку невозможно восстановить, что имел в виду инженер-

графист: отсутствует периодичность следования поездов, указания по корректировке графика на конкретные дни недели (имеющиеся на бумаге) и др.

Разработанный график движения не может быть использован ни в одной автоматизированной системе: в каждой осуществляются его доработки перед использованием, причем большая часть этих доработок – ручной труд.

Прозрачность разработанного графика движения очень низкая. Почти невозможно сказать, где заложены резервы, а где поезда проложены на грани или даже за гранью допустимого.

Соответственно, выполнимость графика заранее оценить невозможно (или очень трудно). Несмотря на то, что выполнить имитационное моделирование по разработанному графику и выявить его «узкие места» — достаточно простая вычислительная задача, в настоящий момент — это затруднительно, так как существуют сложности с получением исходных данных и самого графика в электронном виде.

При разработке графика движения поездов не применяется проектный подход (а, значит, и весь накопленный мировой опыт управления проектами из различных сфер бизнеса).

Совместная работа не поставлена: у каждого инженера-графиста свои файлы с графиками и по ходу разработки обмена промежуточными результатами не происходит.

Длительность и неупорядоченность согласований различных вариантов графика приводит к тому, что процесс разработки занимает несколько месяцев и рассмотреть более одного варианта при данном уровне организации процесса физически невозможно. Это значит, что разработанный график не с чем сравнивать и нельзя с уверенностью сказать, хороший он или нет – альтернативы не существует.

На качество разработки графика отрицательно влияет присутствие в процессе разработки значительного количества заинтересованных лиц, которые в дальнейшем будут его исполнять. Каждый из этих лиц заинтересован в закладывании в график определенных «резервов» на случай ошибок, организационных просчетов, возникновении различных проблем в движении поездов. В результате может оказаться, что на некоторых участках поезда поедут с заранее заниженной скоростью, будут стоять на станциях дольше положенного, станционная инфраструктура будет использоваться не полностью («резервные» пути) и т.п. А на смежных участках наоборот, поездам придется ухать на предельной скорости, с повышенным износом пути и поездных локомотивов.

Таким образом, повышение эффективности и результативности перевозочного процесса сдержи-

вается неавтоматизированным, недостаточно организованным процессом разработки нормативного графика движения поездов, и этому процессу необходимо в ближайшее время уделить самое пристальное внимание.

4. Целевое состояние разработки графика движения поездов

Целевое состояние разработки нормативного и вариантных графиков движения поездов должно характеризоваться следующими положениями:

1. Проектный подход к разработке графиков. Каждый новый график или его корректировка – отдельный проект, начинающийся с постановки целей и планирования, формирования команды проекта (в нашем случае – единой команды проекта с представителями различных дорог), организации взаимодействия в команде. Поскольку в работе одновременно находятся и график на следующий год, и корректировки существующего, и разработки вариантных графиков 1– управление проектами должно быть автоматизировано, желательно – за счет специализированного ПО, учитывающего особенности проектов разработки графиков. При этом система управления версиями должна поддерживать согласованность нормативного, вариантных и оперативных графиков, обеспечивая, что при корректировках нормативного графика не устаревают вариантные, а при корректировках вариантного – оперативные (но в принципе на первом этапе можно обойтись и любой распределенной системой управления проектами, такими как MS Project)

2. Единое информационное пространство исходных данных и результатов разработки графика движения. В рамках одного проекта все исходные данные у всех участников проекта должны быть едины, а результаты – не противоречивы. Это кажущееся очевидным требование приводит к необходимости централизованного хранения нормативно-справочной информации и графиков движения по каждому проекту по разработке графика. То есть система разработки графика должны быть сетевой, распределенной. При этом должна быть мощная система управления доступом и ограничения полномочий: график – предмет коммерческой тайны ОАО «РЖД».

3. Параллельная совместная работа на основе системы управления версиями (VCS1). Необходимо уйти от практики, когда каждый графист разрабатывает свой «кусочек» общего, не видя целой картины, и кто-то «сверху» осуществляет на основе этого формирование общего графика. Все графисты должны работать с единым большим графиком с учетом своих полномочий видеть, как их графисты-соседи наполняют единый график «нитками» с тем, чтобы как можно рань-

ше выявлять проблемы согласования и согласовывать свою работу на нижнем уровне. Системы управления версиями позволяют осуществлять «ветвление» для выполнения объемных работ, которые можно вести, не затрагивая основную версию графика, с последующим «слиянием» ветки с основным «стволом» проекта.

4. Отслеживание работы инженеров-графистов на основе фиксации изменений. Перед началом работы инженер-графист обновляет свою рабочую копию графика, над которым ведет работу, получая изменения, выполненные другими графистами. После завершения модификации графика инженер-графист выполняет фиксацию изменений в общем графике, указывая, что и зачем было изменено. Все фиксации изменений протоколируются автоматически, поэтому возможны автоматические отмены изменений в случае ошибок. За счет отслеживания работы на основе фиксации изменений достигаются три ключевых преимущества совместной работы: 1) графисты не мешают друг другу промежуточными изменениями; 2) графисты постоянно отслеживают изменения своих «соседей»; 3) графисты могут в любой момент выложить свои изменения в проект для того, чтобы их увидели «соседи».

5. Автоматическое выявление конфликтов и слияние графиков различных графистов. Все проверки на соответствие исходным данным, нормативам и интервалам безопасности, целостности графика и т.д. должны выполняться автоматически, без участия человека. Человек не должен тратить время на скрупулёзные проверки всех «ниток».

6. Максимальное использование имеющихся научных методов автоматической прокладки «ниток» графика движения. Различные школы разработки графика движения (ВНИИЖТ, НИИАС и др.) обладают различными алгоритмами автоматической прокладки «ниток» графика, каждый из которых имеет свои сильные и слабые стороны. Инженер-графист должен иметь возможность вызвать любой из алгоритмов, оценить визуально полученные результаты и выбрать вариант расчета, наиболее близкий к его задумке. Этого можно добиться, стандартизовав интерфейс расчетных модулей (т.н. «планировщиков») автоматизированной системы разработки графиков движения поездов, на уровне формат входных данных – формат выходных данных. Каждый планировщик может быть запущен на отдельном сервере ОАО «РЖД», выполняя запросы на расчет от серверов системы разработки графика.

7. Преемственность форматов данных между разработкой и использованием графиков движения. Результат разработки – электронные графики движения – должны содержать в себе все данные, необходимые для автоматического использования графиков во всех

имеющихся системах управления движением. Ручная доработка на этапе передачи графика должна быть исключена – только так можно оперативно передавать изменения из систем разработки графиков в системы их оперативного использования и контроля их исполнения.

5. Мультиагентная система построения сетевого графика движения поездов

Пусть дан некоторый участок инфраструктуры (в виде сети станций), состоящий из набора станций, станционных приемо-отправочных путей, путей и перегонов между станциями.

Необходимо максимально равномерно и с минимальным временем стоянок проложить по этому участку графики движения поездов (нити) исходя из требуемых объемов движения с учетом нормативных и инфраструктурных ограничений (требуемые времена хода, интервалы движения поездов, пути по станции, наклон рельефа и пр.). При прокладке нитей необходимо учитывать нити пассажирских поездов и окна ремонтных работ, адаптивно разрешая возникающие конфликты. В результате решения задачи должен быть получен планируемый график, обеспечивающий ритмичность, безопасность и эффективность движения поездов по участку.

Для решения задачи автоматической прокладки ниток грузовых поездов на участке (полигоне) в условиях уже проложенных пассажирских и пригородных поездов в настоящей статье предлагается использовать метод сопряженных взаимодействий [2], который позволяет решать задачи управления распределением неоднородных ресурсов большой размерности в реальном масштабе времени.

5.1. Выбор агентов ПВ-сети

В качестве основных (активных) агентов мультиагентной системы предлагается использовать агентов, отвечающих за занятие одного перегона поездом (далее – агенты поезд-перегонов). Эти агенты являются одновременно агентами потребностей и агентами возможностей:

- поезд не может считаться проложенным, пока на каждом перегоне, по которому он должен пройти, под него не выделен агент поезд-перегона (связь агента поезда с агентом поезд-перегона типа один ко многим) – роль агента возможности для агента поезда;
- агенты поезд-перегонов требуют выделения для себя определенного диапазона времени определенного пути перегона (если говорить более точно – между занятиями перегона агентами-перегонами должны соблюдаться определенные интервалы времени, в зависимости от типа агентов поезд-перегонов – так называемые станционные и перегонные

интервалы движения поездов) – роль агента потребности для агента перегона.

- агенты поездо-перегонов требуют выделения для себя определенного диапазона времени на определенном станционном пути – роль агента потребности для агента станции

Нетрудно видеть, что любой удовлетворяющий всем ограничениям график движения поездов может быть представлен в виде полной ПВ-сети агентов поездов, поездо-перегонов, перегонов и станций. Под ПВ-сетью подразумевается система агентов в мультиагентной системе, связанных отношениями «потребность-возможность», в которой на каждую потребность агента потребности имеется соответствующий агент возможности (то есть все потребности выполнены в той или иной степени), а для агента возможности все его связи с агентами потребностей взаимно непротиворечивы: не существует двух потребностей, занимающих возможность с нарушением установленных ограничений на возможность.

Наоборот, любой полной ПВ-сети агентов поездов, поездо-перегонов, перегонов и станций соответствует удовлетворяющий всем ограничениям график движения поездов. При этом этот график выполним, но конкретные показатели графика движения поездов могут быть очень далеки от оптимальных.

5.2. Целевые функции агентов

Поскольку желаемый результат работы мультиагентной системы – график движения поездов с высокими показателями – участковой и маршрутной скоростью, количеством остановок, равномерностью занятия перегонов, необходимо соответствующим образом определить целевые функции агентов.

В предлагаемой методе решения показатели, характеризующие движение поездов, отнесены на агентов поездов, а показатель равномерности занятия перегонов – на агентов перегонов. Такой выбор целевых функций очень удобен для мониторинга и управления работой мультиагентной системы, но имеет один существенный недостаток – наиболее активные агенты – агенты поездо-перегонов – фактически не имеют собственных показателей, и вынуждены для любого потенциального изменения своего состояния пересчитывать изменение целевой функции своего агента поезда и изменение целевой функции своего агента перегона. Однако, за счет аккуратного выбора состояния агента поездо-перегона (в частности, за счет запоминания им своих агентов-соседей по ходу поезда и на перегоне), можно обеспечить этот расчет достаточно локально (читай – эффективно), а фактически в подавляющем большинстве случаев – не обращаясь к другим агентам.

5.3. Организация поиска решения за счет управления очередностью введения агентов в сцену

Опыт разработки мультиагентных систем для решения задач распределения ресурсов показывает [3], что в случаях, когда удовлетворить все ограничения на ПВ-сеть можно достаточно легко, для метода сопряженных взаимодействий оказывается достаточно запустить процесс переговоров агентов, основанный на методе компенсаций, и подождать определенной стабилизации системы вокруг устойчивого равновесия. Эта схема, в частности, применима к разработке графика движения поездов по двупутным участкам, или для разработки текущих планов пропуска поездов [5].

Однако разработка графика движения на однопутных участках представляет собой тот случай, когда всего лишь удовлетворение всех ограничений на ПВ-сеть является в высшей степени нетривиальной задачей, а переход от одного годного решения к другому не всегда может быть осуществлен изменением состояния небольшого числа агентов. Например, ни один существующий алгоритм до сих пор не может точно ответить на вопрос, возможна ли для произвольного N в принципе прокладка заданного количества поездов или нет (хотя эта задача тривиальная для малых N и для больших N).

В связи с этим, на этапе построения (поиска) первого годного решения в приемлемое время необходимо ограничивать активность агентов поездо-перегонов, «включая» их активность в определенном порядке и запоминая состояния сцены «до» и «после» включения агента для возможного отката в случае получения негодного решения. Естественно, при включении агента он и уже включенные агенты взаимодействуют друг с другом без ограничений, в соответствии с методом компенсаций.

Для управления процессом «включения» активности агентов поездо-перегонов выбрана применяемая опытными инженерами-графистами схема, когда график движения строится от ограничивающего перегона, по 1 перегону за итерацию. При этом при «включении» очередного агента поездо-перегона его активность приводит к перестройке агентов на уже проложенных перегонах по методу компенсаций.

5.4. Элементы традиционных алгоритмов на микроуровне

В ходе поиска решения и его проактивной оптимизации постоянно возникает задача небольшого перестроения графика движения поездов таким образом, чтобы он по-прежнему удовлетворял всем ограничениям. Например, при смене очередности соседних агентов поездо-перегонов на одном перегоне, необходимо

выставить точные времена выхода-выхода на перегон второго агента, а также проверить на возникновение в расписании новых «конфликтов» между агентами поезда-перегонов.

Для решения этой задачи небольших корректировок графика движения (не приводящих к изменению порядка занятия агентами перегонов и к изменению занятия поездом агентов поезда-перегонов), и определения того, с каких агентов необходимо включить в протокол компенсаций, применяется модификация волнового алгоритма динамического программирования.

Решение применить на микроуровне классический алгоритм существенно снизило объем переговоров между агентами. С одной стороны, из переговоров исключены рутинные корректировки времени прибытия-отправления на 1-10 минут. С другой стороны, размер переговаривающихся групп агентов существенно снизился – теперь в них включаются только агенты, состояние которых действительно необходимо изменить.

5.5. Взаимодействие мультиагентных систем при стыковке графиков участков (полигонов)

Технологически при разработке нормативного графика движения поездов выделяются границы участков (полигонов), на которых подавляющее количество поездов переформируется и по которым нет никакой необходимости протягивать сквозные нитки.

В предлагаемом методе решения каждому такому участку соответствует отдельная мультиагентная система, и планирование различных участков осуществляется параллельно. По мере того, как в этих слабосвязанных мультиагентных системах формируются полные ПВ-сети, на более высоком уровне анализируется то, как отдельные решения согласуются друг с другом, и более подходящим решениям дается более высокий приоритет по машинному времени. За счет такой конструкции «системы систем» удается охватить даже на одном вычислительном сервере очень существенный полигон планирования.

6. Оценка экономического эффекта

Оценка экономического эффекта основана на сравнении результатов работы инженеров-графистов традиционными средствами с результатами полностью автоматической прокладки грузовых ниток поездов на выбранном однопутном участке. Однопутный участок выбран для оценки, поскольку он традиционно представляет собой самую сложную для машинного построения задачу, и результаты автоматической прокладки на двухпутных участках могут быть еще лучше.

На выбранном участке Лена-Северобайкальск протяженностью 1400 км выполнялось построение «ниток» грузовых поездов с нуля, и результат сравнивался с дей-

ствующим нормативным графиком движения (разработанным человеком). Ставилось два эксперимента:

- 1) По прокладке количества поездов, равного количеству поездов в нормативном графике. Машинный результат оказался с более высокой участковой скоростью – 38,25 км/ч (по сравнению с 35,00 км/ч в действующем нормативном графике). Расчетный экономический эффект – 9,6 млн. р. в год, в основном за счет сокращения поезда-часов грузового поезда (на 24,8 тыс. руб. в сутки), а также за счет снижения количества остановок грузового поезда (на 1,2 тыс. руб. в сутки).
- 2) По прокладке большего на 1 пару числа поездов. Машинный результат оказался с сопоставимой действующей участковой скоростью – 35,08 км/ч. Расчетный экономический эффект в данном случае составил 8,7 млн. руб. в год, за счет роста грузооборота (несмотря на то, что общие затраты выросли – за счет увеличения количества поездов увеличилось поезде-часы, поезде-километры и остановки поездов).

Длина выбранного участка – 1400 км, средний экономический эффект по двум расчетам (по увеличению пропускной способности участка и по повышению участковой скорости) – 9,05 млн. руб. в год. В РФ протяженность сети железных дорог общего пользования – 85300 км., то есть выбранный участок составляет 1,6% от общей протяженности сети железных дорог. Предполагая, что на всей сети железных дорог общего пользования эффект окажется сопоставим, получаем оценку экономического эффекта в 565 млн. руб. в год.

Оценка получена только по применению расчетного модуля, то есть ожидается дополнительный эффект от снижения потерь при разработке графика движения и повышения качества разработки за счет автоматизации согласования и стандартизации исходных данных и результатов разработки.

Дополнительно не учитывался экономический эффект от улучшения работы систем оперативного планирования и контроля исполнения графика движения (Эльбрус, ИСУЖТ и др.) за счет более информационно полного формата графика движения – основных исходных данных для их работы. Таким образом, общий экономический эффект может существенно превышать цифру 565 млн. руб. в год.

7. Заключение

Таким образом, реализация целевого состояния разработки графика движения поездов невозможна без внедрения централизованной системы управления версиями графиков движения, со стандартизированным форматом расчетных модулей. Также требуются существенные организационные изменения и формализация требований к процессу.

Применение мультиагентных технологий в задачах построения и оптимизации нормативных, вариантных и актуализированных графиков движения поездов позволит:

- учесть при планировании гораздо больше особенностей построения графиков, практикуемых инженерами-графистами, чем это возможно при применении классических алгоритмов математического программирования. В частности, могут быть заданы практически произвольные функции расходов, связанных с движением поездов;
- снять необходимость полной перестройки графика при съеме одной из докладываемых «ниток»;
- обеспечить лучшую связь человек-машина, объяснить диспетчеру, почему машина выбрала тот или иной вариант решения, а также полностью учесть частичные решения, принятые человеком;
- учесть при разработке графика результаты работы других мультиагентных систем: системы подвязки тяговых ресурсов, системы оптимизации плана формирования, системы прогнозирования грузопотоков и др.

В целом, это приведет к более качественному построению графиков движения поездов при одновременном повышении уровня автоматизации и позволит существенно расширить возможности сетцентрической мультиагентной технологической платформы управления железнодорожным транспортом.

Однако, реализация предложенных мероприятий позволит достичь прорывных улучшений в части организации и управления перевозочным процессом, причем эффект будет достигнут не только за счет непосредственного выполнения предложенных мероприятий, но и за счет того, что уже внедренное на текущий момент программное обеспечение и технологии будут опираться на надежные и проверенные входные данные – графики движения – и работать более эффективно.

Литература

1. А.Б. Шабунин, В.А.Чехов, П.О. Скобелев, Н.А. Кузнецов, Е.В. Симонова, И.О. Бабанин, С.С. Кожевников, М.Е. Степанов, А.В. Царев, С.В. Сазуров, Е.В. Курбатов, Д.В. Дмитриев. Сетцентрический подход к созданию распределенных систем управления ресурсами ОАО «РЖД» на основе мультиагентных технологий // Труды XIV Международной конференции «Проблемы управления и моделирования в сложных системах», Самара, 22-25 июня 2012г. – Самара: Самарский научный центр РАН, 2012. – С. 724-734.
2. Скобелев П. О. Мультиагентные технологии в промышленных применениях: к 20-летию основания Самарской научной школы мультиагентных систем // Мехатроника, автоматизация, управление. 2011. № 12. С.33-46.
3. Skobelev P. Multi-Agent Systems for Real Time Resource Allocation, Scheduling, Optimization and Controlling: Industrial Application // Proceedings of the 10th International Conference on Industrial Applications of Holonic and Multi-Agent Systems (HoloMAS 2011). – France, Toulouse. – Springer Verlag. – 2011, p. 5-14.
4. А.Б. Шабунин, Н.А. Кузнецов, П.О. Скобелев, И.О. Бабанин, С.С. Кожевников, Е.В. Симонова, М.Е. Степанов, А.В. Царев. Разработка мультиагентной системы адаптивного управления ресурсами ОАО «РЖД» // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2013. №1. – С. 23–29.
5. А.Б. Шабунин, С.Н. Марков, Д.В.Дмитриев, Н.А. Кузнецов, П.О. Скобелев, С.С. Кожевников, Е.В. Симонова, А.В. Царев. Интеграционная платформа для реализации сетцентрического подхода к созданию распределенных интеллектуальных систем управления ресурсами ОАО «РЖД» // Программная инженерия. – 2012. №9. – С. 23 – 28.



Андросюк К.В., ОАО «НИИАС», г. Москва

Построение нормативного графика движения пассажирских поездов, пригородных поездов и грузовых поездов, следующих специализированным расписанием

В условиях реформирования ОАО «РЖД» позиционируется на рынке транспортных услуг как инфраструктурная компания, предоставляющая свои основные фонды и обеспечивающая организацию перевозочного процесса.

Использование инфраструктуры, в том числе, выражается через предоставление ниток графика для перемещения по ним вагонов операторских компаний в составах организованных поездов. Таким образом, речь идет фактически о переходе на организацию движения грузовых поездов по твердым ниткам графика (специализированным расписаниям), с последующей возможной их продажей соответствующим операторским компаниям.

В этих условиях существенно возрастает роль разработки нормативного, вариантного и сменно-суточного графика движения поездов, включая планирование (разработку) специализированных расписаний, а также контроля и анализа их использования во временном периоде.

В настоящее время все эти процедуры имеют минимальный уровень автоматизации и по большей части производятся ручным способом, что увеличивает продолжительность данных операций, трудозатраты на их выполнение, снижает оперативность получения информации, увеличивает риск возникновения ошибок.

График движения поездов является основным документом, регламентирующим производственную деятельность всех подразделений, участвующих в организации перевозочного процесса, важнейшим из которых является локомотивное хозяйство.

При повышении роли специализированных расписаний существенно изменяется технология тягового обеспечения поездной работы в части планирования, контроля и анализа работы локомотивов и локомотивных бригад. Новая технология состоит в дифференцированном обеспечении грузовых поездов тяговыми ресурсами в связи с появлением приоритетности пропуска грузовых поездов различных категорий.

Должна быть скорректирована и работа диспетчерского аппарата дорог, которая в новых условиях нацелена на первоочередное обеспечение пропуска грузовых поездов по специализированным расписаниям. По аналогии с пассажирскими перевозками в от-

ношении грузовых поездов у диспетчерского аппарата появляется новая функция «ввод в график опаздывающих грузовых поездов, следующих по специализированным расписаниям».

Очевидно, что в этих условиях должны совершенствоваться и другие элементы перевозочного процесса, обеспечиваемые остальными хозяйствами, влияющими на общий режим пропуска грузовых поездов по специализированным расписаниям. Например, на технических станциях должна быть внедрена технология первоочередной обработки таких поездов со стороны работников вагонного хозяйства и т.д.

Основная цель создания комплексной автоматизированной системы разработки, контроля и анализа выполнения графика движения поездов состоит в максимальной автоматизации процесса разработки графиков движения поездов на любом уровне управления и по алгоритмам, обеспечивающим оптимальную прокладку ниток при заданных требованиях и ограничениях.

1. Задача разработки, согласования и актуализации нормативного графика движения поездов

Известна строгая процедура очередности прокладки на графике поездов разных категорий:

- пассажирские и ускоренные грузовые, следующие по специализированным расписаниям;
- пригородные;
- сборные;
- грузовые.

Представляется наиболее рациональным следующий алгоритм автоматизированного построения нормативного ГДП (рис.1,2).



Рис.1. Последовательность автоматизированного построения нормативного ГДП

1. Автоматизированное построение нормативного графика движения пассажирских, ускоренных и грузовых поездов, следующих по специализированным расписаниям.

Задача функционирует на уровне ЦД. Ее основные задачи:

- одновременная прокладка всех пассажирских поездов (по заявке ФПК) на сети железных дорог с учетом накладываемых требований и ограничений и при участии только одного инженера-графиста;
- автоматизированная прокладка дополнительных пассажирских поездов, имеющих разовые (или иные) назначения в процессе функционирования нормативного ГДП;



Рис. 2. Структура комплекса задач по разработке, контролю и анализу выполнения графика движения поездов

- автоматизированная прокладка ускоренных грузовых, а также грузовых поездов, следующих по специализированным расписаниям (включая тяжелые и длинносоставные маршруты);
- актуализация нормативного графика движения пассажирских поездов при изменении НСИ, или каких-либо других параметров.

Фактически речь идет о замене, существующей в настоящее время пониточной прокладки каждого пассажирского поезда графистами всех дорог, на автоматизированную **одновременную** прокладку всех пассажирских поездов с учетом накладываемых требований и ограничений.

На данной стадии аналогичным образом прокладываются нитки ускоренных грузовых поездов, а также грузовых поездов, следующих по специализированным расписаниям.

По итогам 1-го этапа нитки пассажирских и грузовых поездов автоматически «разносятся» по соответствующим листам графиков (или могут «нарезаться» в любом требуемом виде).

По результатам 1-го этапа на листах графиков бу-

дут отображены линии хода пассажирских, ускоренных грузовых и грузовых поездов, следующих по специализированным расписаниям.

2. Далее разработка графика переходит на уровень дорог, где графисты в ПО соответствующей задачи (входящей в новый АРМ графиста) производят прокладку пригородных поездов.

По окончании такой прокладки графики вновь поступают на верхний уровень (Центральной дирекции).

3. На третьем этапе производится прокладка сквозных ниток для грузовых поездов между важнейшими сортировочными станциями, а также районами массового зарождения и погашения транзитных вагонопотоков.

Данная задача решается на основе расчетов в системе организации вагонопотоков (отправительской и технической маршрутизации), т.е. сетевого плана формирования поездов.

Данная задача должна функционировать по принципу задачи одновременной прокладки ниток для пассажирских поездов.

Кроме того, также как и при прокладке пассажирских поездов, она должна иметь возможность актуализации графика движения грузовых (в процессе функционирования нормативного) в случаях, когда в годовом периоде поступают заявки на дополнительные специализированные расписания.

4. На завершающем этапе графики вновь поступают на дорожный уровень (в АРМ графиста), где осуществляется заключительная прокладка сборных и остальных грузовых поездов, рассчитанных на основе внутривидеорожного плана формирования.

На каждом последующем этапе автоматизированная прокладка ниток производится с учетом уже проложенных на предыдущих этапах.

После завершения разработки все листы графиков вновь поступают на уровень Центрального аппарата, где производится их утверждение установленным порядком.

Отдельно следует остановиться на модулях разработки графика движения грузовых поездов на двухпутных и однопутных участках.

Если алгоритмизация и формализация прокладки ниток грузовых поездов на двухпутных участках не представляет особой сложности, то этого нельзя сказать об однопутных участках.

В связи со сказанным, модуль построения графика на однопутных участках должен обеспечить наиболее оптимальную автоматизированную прокладку задан-

ного числа грузовых поездов (с минимальным числом пакетов), обеспечивающую достижение наивысшей участковой скорости.

2. Задача разработки вариантного графика движения поездов в условиях предоставления «окон» различной продолжительности

Вариантный график движения поездов разрабатывается в условиях предоставления «окон» большой продолжительности при проведении ремонтно-путевых работ.

Ежегодно на сети железных дорог предоставляется сотни тысяч «окон», документация на каждое из которых должна включать и вариантные графики движения «по окну».

Очевидно, что вручную качественно разработать такое количество графиков – задача сверх трудоемкая. Причем их желательно иметь уже на стадии годового планирования ремонтно-путевых работ.

Вариантные графики разрабатываются на основе нормативных (или максимальных) и на заданные размеры передачи поездов по стыкам.

В этой связи, основными компонентами задачи являются:

- разработка вариантных графиков на этапе годового планирования ремонтно-путевых работ для обоснования обеспечения требуемой продолжительности «окон»;
- разработка скорректированных вариантных графиков в процессе проведения путевой компании;
- разработка оперативных вариантных графиков при изменении оперативного плана ремонтно-путевых работ.

Задача должна решаться на дорожно-региональном уровне, как составляющая АРМ графиста, а разработанные вариантные графики должны «подниматься» на центральный уровень управления.

Одним из важнейших требований к подсистеме – возможность построения вариантного графика при предоставлении «окон» в створе, в целях снижения потерь, связанных с пропуском поездов.

3. Задача разработки сменно-суточного графика движения поездов

Такой график разрабатывается на предстоящие сутки (двое, трое) и служит основой для планирования работы локомотивов и локомотивных бригад.

Оперативный график, также как и вариантный, полностью разрабатывается в АРМ графиста.

Оперативный график разрабатывается на основе нормативного (если на полигоне отсутствуют «окна») или вариантного (если на полигоне планируется предоставление «окон» для ремонтно-путевых работ).

Для его разработки, помимо нормативного или вариантного графиков, требуется информация о подходе транзитных поездов на предстоящие сутки (двое, трое), а также о планируемом составообразовании.

При решении любой из задач разработки ГДП все они опираются на достоверную нормативно-справочную информацию.

А поскольку данная информация имеет тенденцию к постоянному изменению (по разным причинам, например, ввод или отмена предупреждений, строительство, консервация или занятие приемо-отправочных путей брошенными поездами и т.д.), то необходима подсистема поддержания НСИ в актуальном состоянии.

4. Задача планирования, контроля и анализа использования специализированных расписаний движения грузовых и контейнерных поездов

В настоящее время все процедуры разработки, контроля и анализа использования специализированных расписаний производятся ручным способом, что увеличивает продолжительность данных операций, трудозатраты на их выполнение, снижает оперативность получения информации, увеличивает риск возникновения ошибок.

В этой связи основной целью данной задачи является полная автоматизация процесса планирования, контроля и анализа специализированных расписаний грузовых и контейнерных поездов.



Лазарев А.А., Тарасов И.А., Мусатова Е.Г., Хуснуллин Н.Ф.,
ИПУ им. В.А.Трапезникова РАН, г. Москва

Алгоритмы построения расписаний движения поездов между двумя станциями на однопутной железной дороге *

Введение

Задача составления оптимального расписания на однопутных участках актуальна как для пассажирских, так и для грузовых поездов, так как такие участки составляют значительную часть любой железнодорожной сети. В основном железнодорожные линии мира – однопутные; общая длина двухпутных и многопутных дорог составляет около 180 тыс. км (около 13 % мировой сети), в том числе многопутных – около 10 тыс. км (менее 1%). В России протяженность путей общего пользования составляет 86 тыс. км (всего 120 тыс. км), из них двухколейных и многоколейных 43,8 тыс. км [1].

Рассмотрим постановку задачи поиска оптимального расписания движения поездов. Две станции соединены однопутной железной дорогой. Имеется два множества поездов, N_1 и N_2 . Поезда из множества N_1 следуют со станции 1 на станцию 2, поезда из N_2 следуют в обратном направлении со станции 2 на станцию 1. В данной работе исследуются две модели – без разъезда на пути между станциями и с разъездом. Разъезд – часть железнодорожной линии, на которой есть дополнительный путь, используемый для пропуска встречных поездов. Рассматривается разъезд, вмещающий один поезд. Необходимо для каждого поезда из N_1 и N_2 составить расписание, т.е. указать время отправления и время стоянки в разъезде (для модели с разъездом) в соответствии с заданными целевыми функциями.

В работе Оливейры [3] представлен литературный обзор по задачам планирования движения на однопутных линиях и метод программирования в ограничениях для их решения. Исследование задачи составления оптимального расписания поездов с равными и постоянными скоростями на однопутной линии между двумя станциями было представлено Гафаровым, Лазаревым и Долгим [2]. В работе задача сводится к одной из уже достаточно изученных задач в теории расписаний – к задаче одного прибора. Поезда рассмотрены как «работы», а путь – как «прибор». В работе Сотскова и Голами [4] для случая с несколькими станциями задача представлена как задача цеха и для нее предложен эвристический алгоритм.

Задачи составления оптимального расписания на однопутной железной дороге при исследовании в основном представляются как уже изученные задачи теории расписаний, для которых разработаны методы решения: динамическое программирование, метод ветвей и границ, «batching», эвристические алгоритмы. Для модели, исследуемой в данной работе, еще не было предложено точных алгоритмов решения. При определенных условиях полученные в работе алгоритмы можно сравнить с существующими эвристическими алгоритмами для более обобщенных моделей, например, для сети из нескольких станций.

Математическая постановка задачи

Исходными данными для задачи в общем случае являются параметры железной дороги и поездов:

- минимальное время между отправлением двух поездов с одной станции β (интервал безопасности);
- время прохождения поездом пути между станциями p (в модели без разъезда), отрезков пути слева и справа от разъезда p_1 и p_2 ;
- число поездов n_1 множества N_1 , и n_2 множества N_2 ;
- для каждого поезда, для $i = 1, n$, $s \in \{1, 2\}$, где i – номер поезда, а s – номер станции, указан директивный срок d_i^s .

В рассматриваемых задачах все поезда поступают на станции отправления одновременно в начальный момент времени $t=0$ и движутся с постоянной одинаковой скоростью.

Необходимо составить оптимальное расписание движения поездов, т.е. указать:

- время отправления поезда номер i с s -й станции S_i^s , $i = 1, n$, $s \in \{1, 2\}$;
- время стоянки в разъезде поезда i с s -й станции k_i^s , $i = 1, n$, $s \in \{1, 2\}$ (в модели с разъездом).

Обозначим время старта поезда номер i со станции s как S_i^s , а время прибытия поезда номер i со станции S как C_i^s . Исследуются следующие целевые функции:

- время завершения перевозок, т.е. $C_{\max} \rightarrow \min$, где $C_{\max} = \max_{i=1, n, s \in \{1, 2\}} \{C_i^s\}$;
- максимальное временное смещение $L_{\max} \rightarrow \min$, где
- $L_{\max} = \max_{i=1, n, s \in \{1, 2\}} \{L_i^s\}$, и $L_i^s = C_i^s - d_i^s$.

* Работа выполнена при финансовой поддержке грантов: РФФИ №13-01-12108, № 15-07-07489, № 15-07-03141, DAAD A/1400328.

Задача построения оптимального расписания движения поездов между двумя станциями, соединенными однопутной железной дорогой без разъезда

Введем множество допустимых интервалов отправления поездов со станций $U = \{[u_1; v_1], [u_2; v_2], \dots, [u_q; v_q]\}$, где q – количество интервалов. В остальное время отправка поезда с любой из станций запрещена (например, ведутся ремонтные работы, время зарезервировано для поездов дальнего следования и т.д.).

Будем рассматривать задачу построения расписания движения поездов, при котором максимальное временное смещение поездов L_{\max} будет минимальным.

Свойства задачи

Лемма 1. Существует оптимальное расписание, при котором поезда множеств N_1 и N_2 отправляются в порядке неубывания директивных сроков.

Далее будем рассматривать только расписания с упорядоченными по директивным срокам отправлениями поездов, т.е. отправление поездов с каждой станции происходит в следующем порядке:

$$d_1^s \leq d_2^s \leq \dots \leq d_{n_s}^s, s \in \{1, 2\}.$$

Также будем рассматривать только ранние расписания, т.е. когда движение поезда начинается в самый ранний из возможных моментов времени (нет простоев).

Лемма 2. Моменты отправления поездов со станций 1,2 принадлежат множеству

$$m \in \{0, 1, \dots, \min\{n_1, n_2\}\}, k + m \leq n_1 + n_2 - 1.$$

Мощность данного множества равна $O(qn^2)$, где $n = n_1 + n_2$.

Решение вспомогательной задачи

Сформулируем вспомогательную задачу:

Построить допустимое расписание, при котором выполняется $L_{\max} \leq u$. (1)

Ранее этот подход применялся для задач теории расписаний [5]. Необходимо построить, если это возможно, расписание, при котором каждый поезд $i \in N_s$ приходит на станцию назначения не позже своего дедлайна $D_i^s = d_i^s + u$. Поскольку, согласно лемме 2, множество моментов прибытия поездов на станции назначения имеет мощность $O(qn^2)$, то достаточно перебрать $O(qn^3)$ вариантов параметра u , чтобы решить исходную задачу.

Обозначим за $D^s = (D_1^s, D_2^s, \dots, D_{n_s}^s)$ вектор упорядоченных по неубыванию дедлайнов для поездов на станции $s \in \{1, 2\}$. Далее описан метод динамического программирования для решения задачи (1).

Определение 1. Будем называть состоянием системы тройку чисел (k_1, k_2, s) , где $k_1 \leq n_1, k_2 \leq n_2$ – количества оставшихся поездов на станциях 1 и 2 соответственно, $s \in \{1, 2\}$ – номер станции, с которой отправился последний из ушедших поездов.

Поскольку в самом начале нет поездов, покинувших одну из станций, в качестве начальных состояний будем рассматривать два состояния: $(n_1 - 1, n_2, 1)$ и p .

Отметим, что количество различных состояний системы равно $2(n_1 + 1)(n_2 + 1) - 2$.

Введем функцию состояний

$f(k_1, k_2, s)$, $k_1 + k_2 \leq n_1 + n_2 - 1, k_1 \leq n_1, k_2 \leq n_2, s \in \{1, 2\}$, значение которой равно максимально возможному времени отбытия поезда со станции s , при котором данный поезд приходит на станцию назначения без опоздания (не нарушает дедлайн) и можно построить допустимое расписание для оставшихся k_1 и k_2 поездов.

Поскольку, согласно лемме 1, поезда с каждой станции выходят в порядке неубывания директивных сроков (а значит, и дедлайнов), то зная исходные наборы $D^s, s \in \{1, 2\}$, всегда однозначно можно определить, какие дедлайны установлены для оставшихся k_1 и k_2 поездов.

Введем обозначение $\lfloor a \rfloor = \max\{t \mid t \leq a\}$.

Тогда значения функции f в конечных состояниях равны $f(0, 0, 1) = \lfloor D_{n_1}^1 - p \rfloor, f(0, 0, 2) = \lfloor D_{n_2}^2 - p \rfloor$, т.е. последний поезд должен выйти в допустимый для отправки момент времени и прийти на станцию назначения не позже своего дедлайна.

В случае, когда поезда остались только на одной станции, функция вычисляется по следующим правилам:

$$f(k_1, 0, s) = \min\{\lfloor D_{n_1-k_1}^s - p \rfloor; \lfloor f(k_1 - 1, 0, 1) - (s-1)p - s \lfloor_2 \beta \rfloor \}, k_1 \geq 1,$$

$$f(0, k_2, s) = \min\{\lfloor D_{n_2-k_2}^s - p \rfloor; \lfloor f(0, k_2 - 1, 0, 2) - s \lfloor_2 p - (s-1)\beta \rfloor \}, k_2 \geq 1.$$

Здесь запись $s \lfloor_2$ означает значение s по модулю 2. В остальных случаях получаем

$$f(k_1, k_2, s) = \min\{\lfloor D_{n_1-k_1}^s - p \rfloor; \max\{\lfloor f(k_1 - 1, k_2, 1) - (s-1)p - s \lfloor_2 \beta \rfloor; \lfloor f(k_1, k_2 - 1, 2) - s \lfloor_2 p - (s-1)\beta \rfloor \}\}.$$

Иными словами, крайний срок отправки текущего поезда со станции определяется его дедлайном и крайними сроками отправки следующих двух поездов (с первой и второй станции).

Алгоритм решения задачи (1) заключается в вычислении значений $f(n_1 - 1, n_2, 1)$ и $f(n_1, n_2 - 1, 2)$ по указанному выше рекуррентным соотношениям.

Предложение 1. Задача (1) имеет решение тогда и только тогда, когда

$$\max\{f(n_1 - 1, n_2, 1); f(n_1, n_2 - 1, 2)\} \geq 0. \quad (2)$$

В этом случае, начиная с момента времени $t=0$, мы успеем отправить все поезда в срок (не позже своих дедлайнов).

Поскольку сложность данного алгоритма, с учетом числа состояний, равна $O(n^2 \log q)$ операций, то сложность решения исходной задачи (с перебором различных значений u , например, методом дихотомии, в задаче (1)) составит $O(n^2 \log(q) \log(n^3 q))$ операций.

Задача построения оптимального расписания движения поездов между двумя станциями, соединенными однопутной железной дорогой с разъездом

Постановка задачи

Необходимо минимизировать общее время завершения перевозок, т.е. $C_{\max} \rightarrow \min$, где $C_{\max} = \max_{i=1, n, s \in \{1, 2\}} \{C_i^s\}$. Время прохождения поездом отрезков слева и справа от разъезда равно p_1 и p_2 . На станции 1 находятся n_1 поездов, на станции 2 – n_2 поездов. Для параметра β введено условие: $\beta \leq \min\{p_1, p_2\}$. Без потери общности будем полагать $p_1 \geq p_2$.

Исследование проблемы

Определение 2. Назовем поезд i со станции s активным в момент времени t , если в этот момент он либо движется между станциями с постоянной скоростью, либо находится в разъезде, т.е. справедливо неравенство $S_i^s \leq t < C_i^s$.

Расписание должно соответствовать ограничениям модели. Сформулируем эти ограничения.

- Одновременно на каждом отрезке пути (справа или слева от разъезда) не могут находиться два активных поезда с разных станций.
- Одновременно на всем пути могут находиться M_1 активных поездов со станции 1 и M_2 активных поездов со станции 2, при условии $\min\{M_1, M_2\} \leq 1$.
- Для нашей модели будем предполагать, что $0 < \beta \leq \min\{p_1, p_2\}$.

Определение 3. Будем называть расписания с описанными выше свойствами допустимыми расписаниями.

Определим необходимые свойства оптимального расписания для данной модели.

- Расписание должно быть допустимым.
- При оптимальном расписании нет искусственных перерывов в движении поездов, т.е. в любой момент $t \in [0, C_{\max})$ на всем пути число активных поездов больше нуля. Для любой регулярной функции в случае добавления перерыва в движении поездов целевая функция не убывает.
- При оптимальном расписании при остановке в разъезде поезд пропускает как минимум один встречный состав.
- При оптимальном расписании поезд, пропускающий в разъезде один или несколько встречных поездов, покидает разъезд сразу после того, как освободится путь.

Определение 4. Множество расписаний, удовлетворяющих необходимым свойствам оптимального расписания, назовем регулярными расписаниями.

Из определения регулярного расписания и допустимого расписания можно сделать вывод, что при регулярном расписании в любой момент $t \in [0, C_{\max})$

количество ситуаций с различным числом активных поездов с разных станций конечно.

Перечислим виды этих ситуаций:

- активны M_1 поездов со станции 1 и нет ни одного активного поезда со станции 2;
- активны M_2 поездов со станции 2 и нет ни одного активного поезда со станции 1;
- активны M_1 поездов со станции 1 и один поезд со станции 2;
- активны M_2 поездов со станции 2 и один поезд со станции 1.

Алгоритм решения

Любое регулярное расписание представляет собой набор из последовательностей сегментов, соответствующих одному из перечисленных выше четырех типов ситуаций. Можно представить подзадачи, оптимальные решения которых включают в себя каждый из четырех сегментов.

Сформулируем принципы, лежащие в основе алгоритма решения задачи:

- исходная проблема может быть представлена в виде набора подзадач с решениями, соответствующими одному из перечисленных четырех типов ситуаций;
- решение подзадач в различном порядке позволяет получить все возможные регулярные расписания;
- проблема преобразуется в задачу определения оптимального порядка выполнения подзадач и их структуры.

Далее формулируется набор правил комбинации подзадач и построения порядка решения. Выделяются три варианта структуры комбинации подзадач, удовлетворяющие полученным правилам. Для каждого варианта определяется формула целевой функции и ее зависимость от числа поездов, заходящих в разъезд при данной комбинации подзадач. Целевая функция возрастает с увеличением числа поездов, заходящих в разъезд. При выборе минимальных значений в каждом варианте определяется решение с минимальным значением целевой функции.

В результате для исходной задачи для любых значений n_1 и n_2 определена точная структура оптимального расписания. Если выполняется условие $\beta \leq 2(p_1 - p_2)$, то существуют два варианта решения с равными значениями целевой функции:

$$C_{\max} = 2(p_1 + p_2) + (n_1 + n_2 - 3)\beta \quad (3)$$

В одном варианте в разъезд заходит один поезд со станции 1, в другом – со станции 2. Если $\beta \leq 2(p_1 - p_2)$, то при оптимальном расписании в разъезд заходит один поезд со станции 1 и один поезд со станции 2, целевая функция имеет значение

$$C_{\max} = 4(p_1 - \beta) + (n_1 + n_2)\beta \quad (4)$$



Рис.1. Пример графика движения при оптимальном расписании для исходной задачи с $n_1 = 3$ и $n_2 = 7$, если $\beta \geq 2(p_1 - p_2)$.

Выводы

В данной работе рассмотрена задача построения оптимального расписания для модели с двумя станциями, соединенными однопутной железной дорогой с разъездом и без разъезда. Для модели без разъезда предложен алгоритм трудоемкости $O(n^2 \log(q) \log(n^3 q))$, где n – количество поездов, а q – количество допустимых интервалов отправления. Данный алгоритм позволяет построить расписание с минимальным значением максимального временного смещения. Отметим, что данный алгоритм может быть применен для задачи минимизации времени завершения перевозок с заданными произвольными моментами поступления поездов на станции отправления.

Для модели с разъездом построен алгоритм, позволяющий получить расписание с минимальным временем завершения перевозок за $O(1)$ операций. Для доказательства оптимальности полученных результа-

тов вводится метод разбиения на подзадачи, который может быть использован для построения алгоритмов решения или снижения их трудоемкости для других моделей и регулярных целевых функций.

В дальнейшем планируется исследовать задачу с несколькими разъездами и несколькими станциями.

Авторы выражают благодарность профессору Сиднейского Технологического Университета Я. Зиндеру за ценные комментарии и консультации.

Литература

1. Basic indicator of Transport in Russia. // Rosstat, 2010, 95 P.
2. Gafarov E.R., Dolgui A., Lazarev A.A. Two-station single track railway scheduling problem with trains of equal speed. // Computers and Industrial Engineering 2015, In Press, Accepted Manuscript.
3. Oliveira E.S. Solving Single-Track Railway Scheduling Problem Using Constraint Programming. PhD thesis, University of Leeds, 2001, 129 P.
4. Sotskov Y., Gholami O. Shifting bottleneck algorithm for train scheduling in a single-track railway. / In Proceedings of the 14th IFAC Symposium on Information Control Problems, Part 1, P. 87–92, 2012.
5. Lazarev A.A., Scheduling theory. Estimation of absolute errors and the scheme of the approached solution of scheduling problems.// Scientific and teaching edition – Moscow Institute of Physics and Technology, 2008, 222 P.



Рябых Н.Г., ООО «ПрограмПарк», г. Москва
Матюхин В.Г., ОАО «НИИАС», г. Москва
Шабунин А.Б., ОАО «НИИАС», г. Москва

Сравнительный анализ алгоритмов решения задачи о прикреплении тяговых ресурсов к поездам

Одной из задач, решаемых в рамках проекта ИСУЖТ, является задача о прикреплении тяговых ресурсов (локомотивов и локомотивных бригад) к поездам. В этой работе мы рассмотрим два алгоритма, которые использовались при решении этой задачи, рассмотрим причины, которыми было вызвано использование этих алгоритмов, и сравним получаемые результаты.

Постановка задачи

На вход модуля, который осуществляет подвязку тяговых ресурсов, поступает срез данных о местоположении поездов, локомотивов и бригад на момент начала планирования. Все объекты планирования могут либо находиться в пути (к поезду в этом случае уже прикреплены локомотив и бригада), либо находиться на станции – в этом случае для поезда нужна будет смена локомотива или бригады. Планировщик анализирует это исходное расположение, определяет, до каких станций поезд может доехать с текущими тяговыми ресурсами (без смены локомотива и бригады), и, как следствие, определяет станции, где потребуются подвязка новых тяговых ресурсов. Далее составляется список поездов, к которым требуется найти новые тяговые ресурсы, список доступных локомотивов и список доступных бригад. Далее модуль планирования должен оптимальным способом назначить на поезд новый локомотив и новую бригаду.

Сведение к задаче о назначениях

В качестве математической формализации этой задачи использовалось сведение к задаче о назначениях. Задача о назначениях – это стандартная математическая задача, она является типичным примером задачи комбинаторной оптимизации. В общей форме эта задача может быть сформулирована так:

- Имеется некоторое число работ (N) и некоторое число исполнителей (M) этих работ. Каждый исполнитель умеет выполнять некоторое количество P из этих работ ($0 \leq P \leq N$), причем эффективность выполнения «своих» работ у исполнителя разная: некоторые работы он умеет выполнять лучше, некоторые – хуже. Требуется распределить работы между исполнителями так, чтобы суммарная эффективность назначения была максимальной.

Для каждой пары <работа, исполнитель> вводится «функция полезности» U_{ij} – числовое выражение эффективности назначения данного исполнителя на данную работу. Таким образом, оптимизация в рамках данной задачи сводится к максимизации функции $\sum U_{ij}$ по всем назначениям исполнителей на работы при условии, что каждый исполнитель назначен не более, чем на одну работу.

Можно видеть, что задача прикрепления тяговых ресурсов к поездам сводится к задаче о назначениях. В качестве работ (объектов) можно считать поезда, к которым надо прикрепить тяговые ресурсы, а в качестве исполнителей (персон) – собственно тяговые ресурсы (локомотивы или бригады).

Мы не будем подробно останавливаться на расчете функции полезности для каждой возможной пары назначений <поезд, локомотив> (или <поезд, бригада>). Эти расчеты одинаковы для всех реализаций решения задачи о назначениях. Для вычисления функции полезности определяется ряд критериев, которые принимают во внимание диспетчеры при подборе локомотива или бригады под поезд: например, оставшееся рабочее время локомотива до ТО-2, очередность прихода локомотивов на станцию, направление движения поезда (в сторону депо приписки бригады или нет), приоритетность поездов и пр. Далее каждому из этих критериев ставится в соответствие нормированное численное значение u_k , а затем вычисляется значение функции полезности для пары как $U_{ij} = \sum_k c_k u_k$, где c_k – вес k -го критерия. Веса подбирались экспериментальным образом в ходе настройки системы и не менялись при анализе разных алгоритмов.

Алгоритм решения задачи о назначениях с помощью аукционов

Впервые метод решения задачи о назначениях с помощью аукционов был предложен Д. Бертсекасом (см. [2]). Алгоритм изначально предназначался для несимметричной задачи о назначениях, когда число работ меньше числа исполнителей. Но алгоритм может быть без труда модифицирован для обратного случая (число работ больше числа исполнителей), а также для симметричного случая. Основные идеи алгоритма заключаются в следующем:

1. Для каждой работы вводится понятие «цены». Это значение показывает «дополнительную стоимость», которую исполнитель (в данном случае – поезд или локомотив) должен «заплатить», чтобы оказаться назначенным на данную работу (локомотив или бригаду).
2. На первом шаге берется произвольный поезд и для него выбирается наилучший локомотив (локомотив с максимальной функцией полезности для данного поезда). На этом же шаге происходит изменение цены данного локомотива следующим образом. Выбирается «второй по полезности» локомотив для данного поезда – это локомотив, значение функции полезности (по данному поезду) для которого максимальное среди всех остальных, непривязанных поездов. В качестве цены назначенного локомотива устанавливается разность между максимальным и вторым значением полезности.
3. Смысл такой установки цены следующий. Допустим, для какого-то другого поезда максимальной функцией полезности также оказалась полезность, вычисленная для этого же локомотива. Тогда, чтобы назначить локомотив на этот новый поезд, его надо снять с предыдущего назначения – а значит, к предыдущему поезду потребуется прикрепить новый локомотив (второй по полезности). Но тогда суммарная полезность по всем назначениям понизится как раз на разность между максимальным и вторым значением функции полезности для первого поезда. Таким образом, чтобы суммарная полезность не стала меньше, от второго назначения требуется, чтобы это максимальное значение функции полезности для второго поезда (и первого локомотива) превышало «второе» значение функции полезности второго поезда не менее чем на цену уже занятого поезда.
4. Таким образом, можно сказать, что поезда начинают торговаться за локомотивы, предлагая фиксированные суммы, но цены на локомотивы постоянно изменяются.

Строгое доказательство сходимости данного алгоритма, а также обоснование выбора некоторых параметров алгоритма приведено в статье [2].

Алгоритм решения задачи о назначениях методом имитации отжига

Метод аукционов хорош тем, что он умеет находить точное оптимальное решение за сравнительно небольшое время. В то же время, он обладает рядом недостатков. Во-первых, его сложно модифицировать для решения многомерной задачи о назначениях. Во-вторых, для удовлетворения некоторых технологических требований необходимо получать не одно оптимальное

решение, а набор близких к оптимальному решений, из которых затем с помощью некоторой другой оценки выбирать итоговое назначение. Так, например, в оригинальной постановке метода аукционов невозможно учесть требование соблюдения процента заезда бригад по депо приписки: в этом случае итоговая полезность являлась бы не просто суммой элементарных полезностей в назначении, но и должна была учитывать распределение назначенных бригад по депо. Особенность метода аукционов состоит в том, что на каждом шаге решения у нас нет полного (пусть даже и не оптимального) назначения, поэтому учесть это дополнительное требование нельзя.

Поэтому был предложен другой алгоритм, который бы позволял получить на выходе набор допустимых решений. Алгоритм имитации отжига получил свое название от того, что его механизм напоминает поведение атомов металла в кристаллической решетке после нагрева и дальнейшего медленного охлаждения металла. Атомы при таких условиях стремятся постепенно занять состояния с минимальной энергией, что и соответствует поиску глобального минимума (или, аналогично, максимума) некоей целевой функции. При этом допустимы вероятностные переходы в состояние с более высокой энергией (что соответствует переходу к назначению с полезностью дальше от максимальной), это позволяет с большой вероятностью избежать застревания в локальном минимуме.

В общем виде алгоритм можно представить так:

1. Задаем на входе начальную и минимальную температуры, а также функцию изменения температуры (в простейшем случае – линейное убывание).
2. Случайно выбираем первое назначение, вычисляем для него полезность.
3. Пока температура больше минимального значения, вычисляем новое состояние (функцию перехода в новое состояние определим ниже) и полезность нового состояния. Если полезность нового состояния больше предыдущей, то фиксируем переход в новое состояние. Если нет, то осуществляем переход с некоторой вероятностью, которая зависит от температуры (например, $P = \exp(-\frac{\Delta}{t})$, где $\Delta = U_1 - U_0$ – разность между новым и предыдущим значениями полезности, t – температура).
4. Переходим к новой температуре.

Для перехода в новое состояние будем случайным образом выбирать координату матрицы полезностей («поезда» или «локомотивы»), выбирать два случайных значения на этой координате (два поезда или два локомотива) и менять местами назначения по этим координатам. Подробнее этот алгоритм описан в статье [3].

Сравнение двух алгоритмов решения и выводы

Исследования показали, что решать задачу оптимизации при планировании тяговых ресурсов под поезда можно любым из этих алгоритмов. Сравнительный анализ по некоторым критериям представлен в таблице ниже.

Критерий	Аукцион	Имитация отжига
Время работы	36 сек.	3 мин.
Возврат нескольких решений	Нет	Да
Работа с разреженными матрицами	Нужно отдельно проверять разные особые случаи	Непроизводительные расходы по времени
Работа с «узкими» матрицами	Хорошо	Непроизводительные расходы по времени
Настройка точности	Нет	Да
Размерность > 2	Нет	Да, со значительным увеличением времени

В качестве тестового набора данных были взяты приближенные к реальным объемы движения и распределение тяговых ресурсов на фрагменте Восточного полигона от станции Тайшет до станции Таксимо. Привязка локомотивов и бригад велась на горизонте в одни сутки от времени начала планирования.

По времени работы на этом тестовом наборе данных существенное преимущество имеет метод аукционов. Для сравнения было выполнено два запуска, в первом привязка бригад к локомотивам велась методом аукционов, во втором – методом имитации отжига. Как видим, время работы модуля планирования отличается почти в четыре раза. Это основное преимущество метода аукционов. Также он лучше себя показывает в тех случаях, когда количество «исполнителей» существенно больше количества «работ» (например, когда на какой-то итерации планирования доступно довольно много локомотивов и бригад, но надо вывезти сравнительно малое число поездов). В этих случаях матрица полезностей получается «вытянутой» (одна ее размерность значительно больше другой). В то же время, алгоритм имитации отжига позволяет

достаточно гибко регулировать точность итогового решения. В случае если среди допустимых решений есть много решений с близкими значениями функции полезности, то допустимо настройкой параметров понизить число итераций имитации отжига, существенно увеличив производительность с несущественными потерями в оптимальности. Это возможно, например, при подвязке бригад под поезда, когда есть несколько бригад, выходящих на явку в депо приписки примерно в одно и то же время – когда, по сути, все равно, какая именно бригада из этих будет подвязана под конкретный поезд.

Как уже было замечено выше, алгоритм имитации отжига способен выдавать несколько вариантов решения, чтобы затем по каким-то дополнительным соображениям из них можно было выбрать нужный. Главным же плюсом имитации отжига является то, что этот метод можно без труда расширить на случаи с числом координат большим 2. В частности, с помощью этого метода можно осуществлять одновременную подвязку и локомотива, и бригады под поезд, а также поиск нитки под поезд (четырёхмерная задача о назначениях). Минусом же будет являться тот факт, что в этом случае время работы алгоритма будет существенно увеличиваться (приблизительная оценка $O(n^m)$, где n – максимальная размерность по одной из координат, m – число координат) и потребуются вводить какие-то дополнительные эвристики для того, чтобы добиться приемлемой скорости.

Литература

1. Рябых Н.Г., Захарова Е.М., Минашина И.К., Корчагин Т.А., Реализация привязки поездов на нитки вариантного графика с помощью решения задачи о назначениях.
2. Bertsekas, D., & Castanon, D. (1992). A forward/reverse auction algorithm for asymmetric assignment problems. *Computational Optimization and Applications*, 1(3), 277–297.
3. Clemons, W.K., Grundel, D.A., Jeffcoat D.E.. Applying Simulated Annealing to the Multidimensional Assignment Problem. // *Theory and Algorithms for Cooperative Systems*. World Scientific, 2004, p. 45-61.



Григорьев Ф.Н., ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, г. Москва
Горбачев Р.А., МФТИ (Государственный университет), г. Москва
Кузнецов Н.А., ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, г. Москва

Математическая модель движения вагонов и метод оценки координат^{*}

Введение

К настоящему времени монорельсовые дороги имеются в наиболее технически развитых и богатых странах: США, Японии, Германии, Китае. Такие дороги строятся в Малайзии, Сингапуре, Объединенных Арабских Эмиратах.

Стоимость сооружения монорельсовых дорог примерно в два раза ниже стоимости подземного метрополитена. При наличии свободных пространств для установки эстакады они признаются эффективными в качестве средств городского и пригородного транспорта, а также в сильно пересеченной и горной местности. В теории скорость их движения может значительно превышать скорость традиционных рельсовых составов.

Несмотря на кажущуюся внешнюю простоту, монорельсовый путь сложен в устройстве и трудоемок в постройке. Несущая балка (собственно монорельс) на навесных дорогах изготавливается из монолитного или сборного железобетона, а на всех подвесных – из высокопрочной стали. Этот элемент конструкции должен выдерживать большие нагрузки во время разгона и торможения, а также при прохождении поездами криволинейных участков пути. Кроме того, монорельсовые дороги сложны в обслуживании пути и подвижного состава.

Вместе с тем монорельсовые дороги имеют свою экономически целесообразную сферу применения как полноценный вид городского и междугороднего транспорта, если принимаются оптимальные инженерные решения и максимально снижаются затраты при их постройке и эксплуатации.

В рамках проблемы безопасной и экономичной перевозки пассажиров на монорельсовом транспорте одной из главных является задача автоматизации управления движением состава.

Исходные данные. Предположения

Проблемы построения и эксплуатации монорельсовых дорог включают в качестве основных разработку алгоритмов для автоматизации управления движением вагона. Теоретическое обоснование и реализация отдельных алгоритмов для автоматической системы управления движением вагона по монорельсовой до-

роге изложены в [1]. В данной работе реализован вариант алгоритма, обеспечивающего успешное функционирование системы управления. Описание алгоритма изложено в виде последовательного выполнения его частей.

Для управления движением вагона между соседними станциями считаем заданными значения скорости движения вагона как функции расстояния, пройденного вагоном от предыдущей станции. Значение и изменение заданной скорости определяются из условий безопасности и экономичности перевозки пассажиров с учетом профиля полотна дороги (спуски, подъемы, повороты, разгон, остановка).

По измерениям местоположения вагона (расстояния, на котором находится вагон по отношению к предыдущей станции) в текущий момент времени определяем заданные значения скорости движения.

Целью управления будем считать совпадение или минимизацию отклонений текущих значений скорости движения вагона от заданных.

Для оценки процесса движения вагона и управления им предполагаем наличие датчиков-измерителей пройденного вагоном расстояния и текущей скорости движения вагона. Предполагаем также, что информация о процессе движения вагона включает измеренные значения сил тяги и торможения.

Математическая модель движения вагона

В [1] показано, что в качестве математической модели движения вагона может быть выбран случайный процесс, удовлетворяющий системе разностных уравнений

$$V_{n+1} = V_n + \frac{g}{1000} \left(\frac{F_n - B_n}{Pg} - A_0 - A_1 V_n - A_2 V_n^2 - i_n \right) \Delta t + \varepsilon_{1,n+1}, \quad (1)$$

$$X_{n+1} = X_n + V_n \Delta t, \quad n=0, 1, 2, 3, \dots, \quad V_0 = 0; \quad X_0 = 0.$$

где F_n – сила тяги, и B_n – тормозная сила, предполагаются известными величинами, V_n – скорость движения вагона, X_n – расстояние от вагона до предыдущей станции, Δt – шаг временной дискретизации, i_n – уклон пути, ‰, на расстоянии X_n от предыдущей станции, предполагается известным. $\varepsilon_{1,n}$, $n=1, 2, \dots$, – последовательность независимых гауссовских случайных величин с нулевыми средними $M\varepsilon_{1,n} = 0$ и равными дисперсиями $M\varepsilon_{1,n}^2 = \sigma^2$.

^{*} Прикладное научное исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации. Уникальный идентификатор прикладных научных исследований и экспериментальных разработок – RFMEFI 58214X003

Измеряемыми величинами являются V_n и X_n , априорно известными i_n – уклон пути, и g – ускорение свободного падения. Незвестными, требующими оценивания, являются параметры P, A_0, A_1, A_2 . Параметры A_0, A_1, A_2 могут изменяться при прохождении вагона между станциями: их значения зависят от геометрии участка пути и состояния рельса (балки), скорости и направления ветра и т.д. Скорость изменения этих параметров предполагается достаточно медленной. Масса вагона с пассажирами P при прохождении вагона между соседними станциями остается постоянной.

Оценивание параметров математической модели движения вагона

Для оценивания неизвестных параметров модели воспользуемся результатами метода наименьших квадратов (МНК) [2,3], реализация которого применительно к рассматриваемой задаче состоит в следующем. К вагону, находящемуся на станции ($V_0=0, X_0=0$), для набора скорости движения последовательно через равные промежутки времени Δt приложены известные силы $(F_n - B_n), n=0, 1, \dots, k-1$, и с этой же временной дискретностью произведены измерения скорости движения вагона $V_n^{uzm}, n=1, 2, \dots, k$.

Из первого уравнения системы (1) следует, что

$$\frac{1000}{g\Delta t} V_{n+1}^{uzm} + i_n = \frac{F_n - B_n}{Pg} - A_0 - \left(A_1 - \frac{1000}{g\Delta t} \right) V_n^{uzm} - A_2 (V_n^{uzm})^2 + \varepsilon_{2,n+1},$$

$n=0, 1, \dots, k-1$, (2), где $\varepsilon_{2,n} = \frac{1000}{g\Delta t} \varepsilon_{1,n} + \varepsilon_{3,n}$, $\varepsilon_{3,n}$ – составляющая ошибки в уравнении (2) от погрешности измерения скорости $(V_n - V_n^{uzm})$.

Для удобства изложения введем векторы (3):

$$\Theta = \left(\frac{1}{Pg}, A_0, A_1 - \frac{1000}{n\Delta t}, A_2 \right)^T,$$

$$\phi(n) = \left(F_n - B_n, -1, -V_n^{uzm}, -(V_n^{uzm})^2 \right),$$

$n=0, 1, \dots, k-1$ и

$$Y(k) = \left(1000 \frac{V_1^{uzm}}{g \cdot \Delta t} + i_0, 1000 \frac{V_2^{uzm}}{g \cdot \Delta t} + i_1, \dots, 1000 \frac{V_k^{uzm}}{g \cdot \Delta t} + i_{k-1} \right)^T = (y(1), y(2), \dots, y(k))^T$$

В новых переменных уравнения (2) будут иметь вид

$$y(n) = \phi(n) \cdot \Theta + \varepsilon_{2,n}, \quad n=1, 2, \dots, k. \tag{4}$$

МНК оценки $\hat{\Theta}_k$ вектора Θ на основе первых k измерений скорости и известных сил $(F_n - B_n), n=0, 1, \dots, k-1$, задаются равенством

$$\hat{\Theta}_k = (\Phi^T(k)\Phi(k))^{-1} \Phi^T(k)Y(k), \tag{5}$$

где

$$\Phi(k) = \begin{pmatrix} F_1 - B_1, 1, V_1^{uzm}, (V_1^{uzm})^2 \\ F_2 - B_2, 1, V_2^{uzm}, (V_2^{uzm})^2 \\ \dots \dots \dots \dots \\ F_k - B_k, 1, V_k^{uzm}, (V_k^{uzm})^2 \end{pmatrix} \quad \text{– регрессионная матрица.}$$

Из (5) получаем оценки параметров математической модели движения вагона:

$$\frac{1}{\hat{P}_k g}, \hat{A}_{0,k}, \hat{A}_{1,k}, \hat{A}_{2,k}$$

Последовательность оценок $\hat{\Theta}(n), n > k$ может быть записана рекурсивно [4,5].

$$\hat{\Theta}(n) = \hat{\Theta}(n-1) + \frac{1}{n} K(n) \cdot (y(n) - \hat{\Theta}(n-1)^T \phi(n)),$$

$$n=k+1, k+2, \dots \tag{6}$$

$$K(n) = \frac{R(n-1)^{-1} \phi(n)}{1 + \frac{1}{n} (\phi(n)^T R(n-1)^{-1} \phi(n))} \tag{7}$$

$$R(n) = R(n-1) + \frac{1}{n} (\phi(n)\phi(n)^T - R(n-1)), \tag{8}$$

$$R(k) = \frac{1}{k} \Phi^T(k) \cdot \Phi(k).$$

Уравнение (8) может быть записано в терминах $S(n) = R^{-1}(n)$ при $\mu(n) = 1/n$:

$$S(n) = \frac{1}{1 - \mu(n)} \left[S(n-1) - \frac{S(n-1)\phi(n)\phi^T(n)S(n-1)}{\frac{1 - \mu(n)}{\mu(n)} + \phi^T(n)S(n-1)\phi(n)} \right] \tag{9}$$

Дисперсия величины $\varepsilon(n)$, входящей в уравнение (4), оценивается остаточной дисперсией $s^2 = \frac{Q_e}{n-4}$, где Q_e – остаточная сумма квадратов

$$Q_e = \sum_{j=1}^n (y(j) - \Theta(n)\phi(j))^2,$$

n – число измерений, 4 – число оцениваемых параметров.

Остаточная дисперсия является несмещенной оценкой дисперсии ошибок $\varepsilon(n)$, $M[s^2] = M[\varepsilon^2(n)]$.

Таким образом получаются оценки всех неизвестных параметров системы (1), описывающей математическую модель движения вагона.

При замене $1/n$ в (6-8) общей последовательностью положительных чисел $\mu(n)$ последовательность $\mu(\cdot)$ изменяет вклад старых измерений в критерий МНК по сравнению с последовательностью $1/n$. В частности, $\mu(n) = \mu_0$ соответствует экспоненциальному забыванию старых данных с показателем $1 - \mu_0$. Использование константы μ_0 целесообразно, когда оцениваются медленно изменяющиеся параметры системы.

Фильтрация текущих значений скорости и координаты движения вагона

Для управления движением вагона необходимо знать текущие значения скорости и координаты вагона с возможно максимальной точностью по имеющейся к данному моменту априорной информации и проведенным измерениям. Воспользуемся результатами теории фильтрации [6] для уточнения оценок значений скорости движения и координаты вагона.

Уравнения (1) математической модели движения вагона разложим в ряд в окрестности заданной скорости движения до линейных членов и получим

$$\begin{cases} x_{n+1} = c_n + a_n \cdot x_n + \varepsilon_{n+1} \\ X_{n+1} = C_n + x_n \cdot \Delta t + X_n \end{cases} \quad (10)$$

где $x_n = V_n - V_n^{зад}$,

$$c_n = V_n^{зад} - V_{n+1}^{зад} + \frac{g}{1000} \left(\frac{F_n - B_n}{\hat{P}_n \cdot g} - \hat{A}_{0,n} - \hat{A}_{1,n} \cdot V_n^{зад} - \hat{A}_{2,n} (V_n^{зад})^2 - i_n \right) \Delta t$$

$$a_n = 1 + \frac{g}{1000} (-\hat{A}_{1,n} - 2\hat{A}_{2,n} \cdot V_n^{зад}) \Delta t, C_n = V_n^{зад} \cdot \Delta t.$$

Для решения задачи фильтрации в качестве математической модели движения вагона выбираем дискретный случайный процесс, удовлетворяющий системе (10), где x_n – отклонение скорости движения вагона от заданной, c_n – текущее расстояние вагона от предыдущей станции, Δt – шаг временной дискретизации, ε_n – независимая гауссовская последовательность с $M[\varepsilon_n]=0, M[\varepsilon_n^2]=\sigma^2$.

Когда система (10) находится в состоянии n , производятся измерения z_n . Они линейно связаны с состояниями $(x_n, X_n)^T$

$$z_n = \begin{pmatrix} z_n^1 \\ z_n^2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} V_n^{изм} - V_n^{зад} \\ X_n^{изм} \end{pmatrix} = H \begin{pmatrix} x_n \\ X_n \end{pmatrix} + v_n = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_n \\ X_n \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} v_n^1 \\ v_n^2 \end{pmatrix},$$

$n=0, 1, 2, \dots$ (11)

где $M \begin{pmatrix} v_n^1 \\ v_n^2 \end{pmatrix} = 0, M \begin{pmatrix} v_n^1 \\ v_n^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v_i^1 & v_i^2 \end{pmatrix} = \tilde{R}_i \delta_{ni},$

$$M \left(\varepsilon_n \begin{pmatrix} v_i^1 & v_i^2 \end{pmatrix} \right) = (0, 0).$$

Первая координата вектора z_n есть разность измеренного и заданного значений скорости, вторая координата – измеренное значение пройденного вагоном расстояния от предыдущей станции.

Оценку состояния $(x_k, X_k)^T$ по методу взвешенных наименьших квадратов или методу максимального правдоподобия, используя только измерения (z_0, \dots, z_k) , можно получить с помощью следующего фильтра

$$\begin{pmatrix} \hat{x}_n \\ \hat{X}_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \bar{x}_n \\ \bar{X}_n \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} k_n^{11} & k_n^{12} \\ k_n^{21} & k_n^{22} \end{pmatrix} \cdot \left[\begin{pmatrix} z_n^1 \\ z_n^2 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \bar{x}_n \\ \bar{X}_n \end{pmatrix} \right], \quad n=0, \dots, k \quad (12)$$

где $\begin{pmatrix} \bar{x}_{n+1} \\ \bar{X}_{n+1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_n \\ C_n \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} a_n & 0 \\ \Delta t & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \hat{x}_n \\ \hat{X}_n \end{pmatrix} - \text{задано} \quad (13)$

$$\begin{pmatrix} k_i^{11} & k_i^{12} \\ k_i^{21} & k_i^{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \tilde{P}_i^{11} & \tilde{P}_i^{12} \\ \tilde{P}_i^{21} & \tilde{P}_i^{22} \end{pmatrix} \cdot \tilde{R}_i^{-1} \quad (14)$$

$$\tilde{P}_i = \tilde{M}_i - \tilde{M}_i (\tilde{M}_i + \tilde{R}_i)^{-1} \tilde{M}_i \quad \tilde{P}_0 = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (15)$$

$$\tilde{M}_{i+1} = \begin{pmatrix} a_n & 0 \\ \Delta t & 1 \end{pmatrix} \tilde{P}_i \begin{pmatrix} a_n & \Delta t \\ 0 & 1 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \sigma^2 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (16)$$

Здесь $\tilde{P}_i, \tilde{M}_i, \tilde{R}_i$ – матрицы размера (2×2) . $\tilde{P}_0 = 0$ соответствует случаю, когда вагон стоял на предыдущей станции в начальный момент времени.

Полученные с помощью фильтра оценки вектора состояния подлежат использованию для определения значений управляющих воздействий, т.е. сил тяги и торможения.

Проведенное моделирование показало работоспособность и эффективность изложенных алгоритмов при выбранном графике набора скорости движения вагона.

Заключение

Проведен анализ сил, действующих на вагон моно-рельсовой дороги. Разработана математическая модель движения вагона.

Разработан алгоритм идентификации для оценки параметров модели.

Подтверждена работоспособность алгоритма идентификации моделированием при выбранном графике набора скорости движения вагона.

Получена линейризованная модель движения вагона. Разработан алгоритм оценивания (фильтрация) координат движения вагона.

Литература

1. Р.А. Горбачев, Гречишкина Н.А., Григорьев Ф.Н., Кузнецов Н.А. Идентификация параметров модели и фильтрация координат движения вагона моно-рельсовой дороги // Информационные процессы, Т.15, №3, 2015, с. 343-350
2. Линник Ю.В. Метод наименьших квадратов и основы математико-статистической теории обработки наблюдений. М.: Физматгиз, 1962. –349с.
3. Рао С.Р. Линейные статистические методы и их применения. М.: Наука. 1968. – 547с.
4. Альберт А. Регрессия, псевдоинверсия и рекуррентное оценивание. – М.: Наука, 1977 – 226с.
5. Хартман К., Лецкий Э., Шерер В. Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов. – М.: Мир, 1977. – 552с.
6. Брайсон А., Хо Ю-Ши. Прикладная теория оптимального управления. – М.: Мир, 1972. – 544с.

Макарова Е.А., ОАО «ВНИИЖТ», г. Москва

Информационно-аналитическое обеспечение процессов моделирования пассажирских транспортных потоков

В Транспортной стратегии Российской Федерации расширение сферы доступности транспортных услуг является приоритетной задачей для пассажирского комплекса. Транспорт играет важную роль в развитии страны, обеспечивая условия экономического роста и повышения качества жизни населения. В сегменте дальнего сообщения железнодорожный транспорт обеспечивает перевозки более 103 млн. пассажиров в год, средняя дальность поездки которых составляет около 950 км [1]. Поезда дальнего следования осваивают пассажиропотоки в 79 субъектах РФ и в перспективе за счет развития железнодорожной сети география обслуживания будет расширяться. Транспорт напрямую влияет на полноту реализации экономических связей, обеспечивая перемещение населения для удовлетворения производственных и социальных потребностей. Важной характеристикой пассажирских перевозок является величина реализованного спроса.

Спрос – это социально-экономическая характеристика, отражающая потребность в перемещениях, подкрепленную денежными средствами. Каждый сегмент транспортного рынка (железнодорожное направление, полигон сети) имеет свои особенности в процессе формирования транспортных потоков, полнота исследования которых зависит от уровня развития и возможностей информационно-аналитического обеспечения. Спрос на пассажирские перевозки постоянно меняется по периодам суток, дням недели, месяцам, сезонам и периодам года. Его конъюнктура зависит от множества факторов, которые тесно взаимосвязаны между собой. В регионе объемы спроса на железнодорожном транспорте зависят от сложившихся сфер использования видов пассажирского транспорта, наличия альтернативных транспортных возможностей, уровней платежеспособности населения, тарифно-ценовой политики [2]. Дифференцированный подход и всесторонний учет особенностей каждого региона на базе АСУ «Экспресс» позволяет исследовать факторы, влияющие на объемы пассажирских перевозок и с позиций регионалистики определить структуру пассажиропотоков в различных территориальных разрезах, уровни востребованности услуг по категориям поездов и типам вагонов, сегменты с устойчивым ростом (спадом) спроса.

Применение современных экономико-математических методов для изучения транспортных связей на общесетевом и региональных уровнях требуют привлечение большого объема данных и значительных программно-вычислительных ресурсов. Разработанная уникальная база данных по пассажирскому комплексу в рамках Автоматизированной системы управления пассажирскими перевозками «Экспресс-3» (сокращенно АСУ «Экспресс-3») обеспечила возможность исследования закономерностей формирования пассажирских транспортных потоков и построения моделей прогноза спроса на перспективу [3]. Автоматизация процессов прогнозирования пассажиропотоков включает поэтапное решение задач подготовки первичной информации, обработку статистических данных, программную реализацию моделей прогноза, выполнение расчетов, оценку полученных результатов, организацию доступа пользователей к итоговым аналитическим формам. Технические возможности системы «Экспресс-3» обеспечивают функционирование единой аналитической базы данных по пассажирским железнодорожным перевозкам, отражающей в реальном масштабе времени процессы динамики пассажиропотоков, количественные и качественные показатели использования подвижного состава, нормативные и фактические размеры движения, спрос в различные типы вагонов и категории поездов. Аналитическая база данных позволяет отслеживать динамику, структуру, цикличность, скорость изменения пассажирских потоков. На основе данного информационного ресурса разработаны программно-аналитические комплексы построения оперативного, среднесрочного, долгосрочного видов прогноза пассажиропотоков (сокращенно – информационная технология «Прогноз пассажиропотоков»).

Для построения моделей прогноза в информационной среде АСУ «Экспресс-3» разработано информационно-аналитическое обеспечение с учетом следующих требований (табл. 1). Во-первых, обеспечена регистрация первичной информации и расчет показателей о перевозках пассажиров по всей инфраструктуре ОАО «РЖД». Аналитические характеристики включают: корреспонденции пассажиропотоков, объемы отправок и перевозок пассажиров, среднюю дальность по-

Таблица 1. Функциональное назначение информационной технологии «Прогноз пассажиропотоков»

Виды прогноза	Глубина перспективы	Практическое значение	Цели	Объекты аналитики	Перечень первичной информации
Оперативный	7-10 суток	Информационно-аналитическое обеспечение процесса оперативного регулирования перевозок	Сохранение баланса между спросом и объемом предложений мест	Поезд дальнего следования	Отправлено и перевезено пассажиров, населенность и процент использования мест, число мест открытых для продажи
Среднесрочный	45 суток	Информационно-аналитическое обеспечение системы планирования	Эффективное использование производственных ресурсов железнодорожного пассажирского транспорта	Совокупность поездов на направлении	Отправлено и перевезено пассажиров, коэффициенты неравномерности спроса, сменяемости мест, число мест открытых для продажи
Долгосрочный	Один год	Информационно-аналитическое обеспечение процессов разработки графика движения поездов	Решение задач по стимулированию подвижности населения, повышению транспортной доступности, сохранению позиций в условиях конкуренции	Крупные железнодорожные направления (поезда прямые и местные)	Объемы перевозок пассажиров, динамика спроса, густота пассажиропотока, объемы посадки-высадки на промежуточных станциях

ездки пассажиров, показатели неравномерности и цикличности спроса. В рамках единой информационной платформы создаются массивы актуальных данных о факторах внешней среды пассажирского транспортного рынка. Структура базы данных для комплекса задач «Прогноз пассажиропотоков» представлена на рис. 1. Во-вторых, программно реализована функция агрегирования данных о суммарных объемах перевозок между городами-мегаполисами, крупными городскими агломерациями, кластерами станций, зонами тяготения аэропортов, курортными и административно-промышленными центрами. При этом единичные корреспонденции пассажиропотоков объединяют в единый массив данных, который характеризует укрупненный пассажиропоток между исследуемыми объектами. В третьих, для получения тенденций развития и определения закономерностей формирования спроса весь комплекс первичной информации и расчетных параметров хранится в течение длительного периода в базе данных и используется не только для построения моделей прогноза, но и для других практических задач пассажирского комплекса.

Созданная на основе АСУ «Экспресс-3» уникальная база данных по пассажирским перевозкам обеспечивает персонализированный учет каждой пассажиро-поездки и позволяет в режиме реального времени получить важнейшие индикаторы спроса, включая: объемы фактически отправленных и перевезенных пассажиров, число и величину корреспонденций транспортных потоков, среднюю дальность поездки. Наибольшая доля сетевого объема перевозок пассажиров концентрируется на магистральных направлениях, соединяющих города-мегаполисы, города-миллионы,

областные центры, курортные зоны. Разработан и утвержден ОАО «РЖД» перечень, включающий 124 железнодорожные магистрали, по которым ежедневно на базе АСУ «Экспресс-3» рассчитываются аналитические характеристики спроса и ожидаемый прирост пассажиропотока. Полученные расчетные значения заносятся в аналитическую базу данных и используются специалистами пассажирского комплекса при принятии решений о размерах движения поездов, базовых и факультативных схемах составов, при внесении сезонных изменений в расписание.



Рис. 1. Укрупненная схема информационного аналитического обеспечения

Корреспонденции пассажиропотоков представлены в системе «Экспресс» по всей совокупности отправленных пассажиров в дальнем следовании с детализацией по станциям посадки-высадки. На основе первичной информации база данных формирует корреспонденции межгосударственного уровня (Российская Федерация и зарубежные страны), внутренние междорожные и внутридорожные, маршрутные (между станциями на

маршруте следования поезда). Учитывая многочисленность станций, открытых для пассажирских операций, в процессе аналитической работы осуществляют агрегирование данных о корреспонденциях и рассматривают пассажиропотоки между крупными железнодорожными узлами и кластерами станций. Важным этапом является изучение закономерностей распределения спроса пассажиров в соответствии с ценовыми факторами. В схемы поездов дальнего следования включены вагоны разных типов. При этом тарифная стоимость проезда по одному маршруту имеет значительный интервал варибельности. В АСУ «Экспресс» обеспечена функция расчета корреспонденций по типам вагонов (спальные, купейные, плацкартные, общие) и категориям поездов (фирменные, скорые, пассажирские). Программное обеспечение позволяет: получить структуру распределения струй пассажиропотоков в «привязке» к композициям составов поездов, выполнить ранжирование пассажирообразующих направлений по фактической величине спроса, определить степень устойчивости географии маршрутов следования пассажиров, осуществить сегментацию транспортного рынка по признакам эластичности спроса (ценовой фактор).

Важной характеристикой удобства транспортного обслуживания населения является возможность беспересадочного проезда пассажиров между станциями отправления и назначения. При разработке графика движения поездов соблюдение требований по беспересадочной перевозке наиболее мощных по величине корреспонденций пассажиропотоков является одним из ключевых. Наличие на сети железных дорог большого числа станций зарождения и погашения пассажиропотоков не позволяет реализовать маршрутную сеть по условиям полного беспересадочного освоения спроса. В связи с этим многие пассажиры вынуждены совершать пересадку с поезда на поезд на промежуточной станции маршрута. Необходимость пересадки значительно снижает удобство и комфорт поездки, приводя к снижению скорости передвижения и вызывая

определенные потери времени в пунктах пересадки. На базе АСУ «Экспресс-3» впервые разработан механизм сбора первичной информации о реальных пассажиропотоках, при котором каждому пассажиру на этапе приобретения проездного документа присваивается уникальный идентификатор. Это позволяет зарегистрировать поездки с пересадкой. Данный подход обеспечивает получение реальной картины географии распределения пассажиропотоков на сети ОАО «РЖД» и на ее основе позволяет выполнить корректировку маршрутов курсирования вагонов беспересадочного сообщения.

Процесс построения модели, описывающей связь объемов перевозок от влияющих факторов, объединяет поэтапное решение задач подготовки первичной информации, обработку статистических данных, выполнение расчетов, оценку степени адекватности полученных итогов. Области практического применения результатов построения и расчета моделей прогноза на базе АСУ «Экспресс-3» включают технологические процессы по обоснованию размеров движения и составности пассажирских поездов, периодов ввода в эксплуатацию резервов вагонного парка, корректировки сроков курсирования факультативного подвижного состава.

Литература

1. Акулов М.П. Пассажирский комплекс // Железнодорожный транспорт. 2014. №2. С. 30-37
2. Лapidус Б.М., Пехтерев Ф.С., Терешина Н.П. Регионалистика: Учебн. пособие для вузов. – М.: УМК МПС России, 2000. – 422 с.
3. Макарова Е.А. Принципы построения аналитической отчетности для пассажирского комплекса ОАО «РЖД» на базе АСУ «Экспресс» // Железнодорожный транспорт на современном этапе развития: сб. трудов ученых ОАО «ВНИИЖТ» / под ред. Б.М. Лapidуса, Г.В. Гогричани – М.: ВМГ-ПРИНТ, 2014. С. 29-35



**Захарова Е.М., Минашина И.К., Такмазьян А.К., ООО «ПрограмПарк», г. Москва
Алтунин В.П., ОАО «НИИАС», г. Москва**

Планирование и прогноз содержания тягового подвижного состава для обеспечения перевозочного процесса

Вступление

Интеллектуализация сферы управления транспортными системами является одной из наиболее востребованных областей развития современной науки. Разработка систем поддержки принятия решений (СППР) для решения различных задач в данном направлении является одной из важнейших задач в данной области.

Основной целью создания данной системы является повышение экономической эффективности деятельности ОАО «РЖД» за счет автоматизации планирования и управления локомотивными парками путем повышения качества, достоверности и систематизации информации для принятия управленческих решений. В рамках данной работы решение поставленных задач управления тяговым хозяйством осуществляется с помощью комплекса подсистем, занимающихся задачей обеспечения перевозочного процесса требуемым количеством тягового подвижного состава (ТПС) и их эффективной работой по планированию содержания локомотивов на установленную потребность на заданный период. Объектом автоматизации являются производственные процессы годового, квартального и месячного планирования по управлению процессами содержания локомотивов на примере эксплуатационных локомотивных депо Восточного полигона.

Постановка задачи

Формальная постановка задачи выглядит следующим образом: необходимо сравнить ожидаемое на плановый период количество содержания ТПС в эксплуатируемом парке с установленным по норме количеством по данной региональной дирекции для каждого вида тяги и грузового вида движения. Если ожидаемое количество ТПС не соответствует норме содержания, алгоритм начинает работу по исправлению данной ситуации за счет перевода ТПС из неэксплуатируемого парка в одно из состояний эксплуатируемого парка и наоборот.

Мультиагентные системы

Данная задача реализуемости потока запросов при ограниченных ресурсах характеризуется наличием трудностей, связанных с анализом и прогнозированием динамических характеристик данной системы. Наиболее эффективный метод решения в таком слу-

чае обеспечивается методами имитационного моделирования. При этом использование мультиагентных систем, как одного из инструментов данного подхода, позволяет реализовать гибкие механизмы динамического поведения, автономности и адаптации отдельных компонентов имитационной модели. Основной особенностью использования мультиагентных систем является то, что каждый логический объект сопоставляется с соответствующим ему программным агентом, который в свою очередь представляет интересы данного объекта. Каждый агент стремится достигнуть определенной цели, используя при этом заложенные в него стратегии их достижения, при этом, не противореча основным ограничениям всей системы.

Данная подсистема содержит в себе несколько типов агентов, обеспечивающих достижение решения поставленной задачи планированию содержания локомотивов на установленную потребность на заданный период. Агент верхнего уровня служит интерфейсом между «пользователем» (которым, зачастую, является другой агент) и рабочей средой, состоящей из множества агентов нижнего уровня, взаимодействующих между собой для поиска решения задачи. Кроме того, главный агент координирует работу агентов нижнего уровня, а также служит для них хранилищем общих данных. Агенты регионов предназначены для основных расчетных действий алгоритма: расчет состояния эксплуатируемого парка на начало и на заданный период планирования, решение проблем нехватки или избытка локомотивного парка в каждой из региональных дирекций. Агенты путей и агенты станций предназначены для расчета оптимального маршрута и соответствующего ему кратчайшего времени движения между двумя определенными станциями.

Алгоритм решения

В рамках данной подсистемы автоматизированы следующие процессы управления тяговым хозяйством в составе комплексной задачи «Содержания тягового подвижного состава для обеспечения перевозочного процесса»:

- Годовое планирование содержания локомотивов на установленную потребность;
- Квартальное планирование содержания локомотивов на установленную потребность;

- Месячное планирование содержания локомотивов на установленную потребность.

Все модули планирования данного комплекса подсистем разработаны с целью обеспечения необходимого содержания ТПС в заданном периоде для обеспечения перевозочного процесса. Все расчеты проводятся отдельно для каждой региональной дирекции. При этом парк ТПС разделяется по следующим критериям:

- Вид движения
- Вид тяги – электро- или тепло-
 - ТПС с электрическим видом тяги дополнительно делятся по роду тока

Все расчеты и операции проводятся посекционно. Для решения задачи дислокации планировщик использует внешний модуль для решения транспортной задачи, а также требует на вход подачи информации о графе Восточного полигона с временами движения между соседними станциями.

Общая схема алгоритмов планирования каждой из подсистем комплекса состоит из следующих этапов:

1. Расчет потребного парка ТПС на начало расчетного периода на основе коэффициента неисправных ТПС текущего периода

Для годового планировщика: на вход планировщика поступает информация о план-задании содержания ТПС *Plan* и коэффициент неисправных *Coefficient* для текущего периода для каждой региональной дирекции определенного вида тяги и движения, а также рода тока с указанием числа секций *N*. Полученные данные передаются соответствующим агентам регионов. Потребный парк ТПС *PlanInventory* на начало расчетного периода вычисляется следующим образом:

$$PlanInventory = Plan * N(1 + Coefficient)$$

Данный расчет осуществляется параллельно в агентах региональных дирекций.

- 1.2 На вход планировщика поступает информация о план-задании содержания ТПС *plan* и коэффициент неисправных *coefficient* для текущего периода для каждой региональной дирекции с указанием числа секций *N*, вида тяги и движения, а также рода тока. Полученные данные передаются соответствующим объектам регионов. Потребный парк ТПС *requiredPark* на начало расчетного периода вычисляется следующим образом:

$$requiredPark = plan * N(1 + coefficient)$$

Данный расчет осуществляется в объектах региональных дирекций для каждого вида тяги и движения, а также рода тока.

- 1.3 На вход планировщика поступает информация о план-задании содержания ТПС *Plan* и

коэффициент неисправных *Coefficient* для текущего периода для каждой региональной дирекции определенного вида тяги и движения, а также рода тока с указанием числа секций *N*. Полученные данные передаются соответствующим агентам регионов. Потребный парк ТПС *PlanInventory* на начало расчетного периода вычисляется следующим образом:

$$PlanInventory = Plan * N(1 + Coefficient)$$

Данный расчет осуществляется параллельно в агентах региональных дирекций.

2. Расчет фактического парка на начало планируемого периода.

- 2.1 Для годового планирования: на вход планировщика поступает план закупок ТПС *PlanBought* до конца текущего периода и в расчетном периоде с указанием количества секций *N*, план взятия ТПС в аренду у собственника *FromRent* с указанием количества секций *N*, информация о максимальной продолжительности работы секций с разбивкой по сериям, список ТПС, передаваемых в аренду третьим лицам *ToRent*, список ТПС на продажу в течение расчетного периода *Sell*, а также пономерной список всех секций со своими параметрами:

Полученные данные передаются соответствующим агентам регионов. Далее расчет осуществляется параллельно в агентах региональных дирекций.

В каждой дирекции вычисляется количество секций с разделением по виду тяги и роду тока *SectionsQuantity*, находящихся на данный момент в эксплуатации. При этом проверяется срок службы секций на предмет списания: если сумма года постройки и максимального срока службы секции равна году планируемого периода такие секции меняют статус «В эксплуатации» на статус «Списание» и не учитываются при вычислении *SectionsQuantity*.

Из списка ТПС, передаваемых в аренду третьим лицам *ToRent* формируется список секций, передаваемых в аренду *ToRentSections*, а из списка ТПС на продажу *Sell* – список секций, предназначенных для продажи, *SellSections*.

Фактический парк ТПС *FactInventory* на начало расчетного периода вычисляется следующим образом:

$$FactInventory = SectionsQuantity + PlanBought * NPlanBought + FromRent * NFromRent - ToRentSections - SellSections$$

- 2.2 Для квартального планирования: на вход планировщика поступает план закупок ТПС

boughtPlan на планируемый период, а также на период, предшествующий планируемому кварталу, план взятия ТПС в аренду у собственника *fromRent* в планируемом квартале, данные по плану списания секций *cancellation* на окончание текущего квартала и на планируемый период, а также пономерной список всех секций с указанием информации о текущем статусе каждой секции и об их параметрах:

Полученные данные передаются соответствующим объектам регионов. Далее расчет фактического парка осуществляется в объектах региональных дирекций.

В каждой дирекции вычисляется фактическое количество секций с разделением по виду тяги и роду тока *factLocoPark*, находящихся в эксплуатации в планируемом квартале – *explSections*. При этом проверяется статус каждой секции в парке ТПС:

- если секция планируется к списанию ее статус «exploitation» сменяется на статус «cancellation» и не учитываются при вычислении *factLocoPark*;
- если секция находится в статусе «tr», но максимальный срок пребывания секции в тех. резерве уже истек, статус секции сменяется на статус «exploitation». Такие секции учитываются при вычислении *factLocoPark*;
- если секция планируется к передаче в аренду в планируемом квартале и находится в статусе «rent», то она не учитывается учитываются при вычислении *factLocoPark*;
- если секция находится в тех. резерве в планируемом квартале и находится в статусе «tr», и максимальный срок пребывания секции в тех. резерве еще не истек, то она не учитывается учитываются при вычислении *factLocoPark*;
- если секция находится в консервации в планируемом квартале и находится в статусе «conservation», то она не учитывается учитываются при вычислении *factLocoPark*;
- если секция планируется на продажу в планируемом квартале и находится в статусе «sell», то она не учитывается учитываются при вычислении *factLocoPark*.

Также из общего плана закупок ТПС *boughtPlan* выделяется количество еще не купленных в предшествующем периоде секций, и формируется оставшийся на окончание текущего квартала и на планируемый период план закупок *boughtPlanRemain*.

Фактический парк ТПС *factLocoPark* на начало расчетного периода вычисляется следующим образом:

$$\begin{aligned} factLocoPark &= explSections + \\ &+ boughtPlanRemain + fromRent \end{aligned}$$

- 2.3 Для месячного планирования: на вход планировщика поступает план закупок ТПС *PlanBought* до конца текущего периода и в расчетном периоде с указанием количества секций N, план взятия ТПС в аренду у собственника *FromRent* с указанием количества секций N, информация о максимальной продолжительности работы секций с разбивкой по сериям, список ТПС, передаваемых в аренду третьим лицам *ToRent*, список ТПС на продажу в течение расчетного периода *Sell*, а также пономерной список всех секций со своими параметрами:

Полученные данные передаются соответствующим агентам регионов. Далее расчет осуществляется параллельно в агентах региональных дирекций.

В каждой дирекции вычисляется количество секций с разделением по виду тяги и роду тока *SectionsQuantity*, находящихся на данный момент в эксплуатации. При этом проверяется срок службы секций на предмет списания: если сумма года постройки и максимального срока службы секции равна году планируемого периода, а месяц постройки равен расчетному, то такие секции меняют статус «В эксплуатации» на статус «Списание» и не учитываются при вычислении *SectionsQuantity*.

Из списка ТПС, передаваемых в аренду третьим лицам *ToRent* формируется список секций, передаваемых в аренду *ToRentSections*, а из списка ТПС на продажу *Sell* – список секций, предназначенных для продажи, *SellSections*.

Фактический парк ТПС *FactInventory* на начало расчетного периода вычисляется следующим образом:

$$\begin{aligned} FactInventory &= SectionsQuantity + \\ &+ PlanBought * NPlanBought + \\ &+ FromRent * NFromRent - \\ &- ToRentSections - SellSections \end{aligned}$$

3. Сравнение фактического и потребного парка ТПС
4. Устранение дефицита или профицита парка ТПС

Для каждого модуля существует свой набор операций:

- 4.1 Для годового при дефиците: дислокация, проведение ПСС, проведение ПСС с последующей дислокацией, вывод из консервации, вывод из консервации с последующей дислокацией. По-

сле выполнения операций по исправлению ситуации недостатка в региональных депо главный агент планировщика смотрит, остались ли при этом региональные дирекции с профицитом. Если да – то весь оставшийся профицит секций переводится в консервацию.

- 4.2 Для квартального при дефиците: вывод из технического резерва, передислокация, вывод из технического резерва с последующей дислокацией, вывод из консервации, вывод из консервации с последующей дислокацией. После выполнения операций по исправлению ситуации недостатка в региональных депо главный объект планировщика смотрит, остались ли при этом региональные дирекции с профицитом. Если да – то весь оставшийся профицит секций переводится в консервацию.
- 4.3 Для месячного планирования: при профиците: при дефиците: вывод из технического резерва, передислокация, вывод из технического резерва с последующей дислокацией, вывод из консервации, вывод из консервации с последующей дислокацией. После выполнения операций по исправлению ситуации недостатка в региональных депо главный агент планировщика смотрит, остались ли при этом региональные дирекции с профицитом. Если да – то весь оставшийся профицит секций переводится в технический резерв.

5. Вывод конечного решения.

Передислокация ТПС

Одной из операций по восполнению дефицита в какой-либо региональной дирекции является дислокация избыточных ТПС из других регионов зачастую сводимой к решению транспортной задачи. Формально, ее постановка выглядит следующим образом: необходимо составить оптимальный план перевозок однородного продукта из однородных пунктов наличия в однородные пункты потребления на однородных транспортных средствах (предопределённом количестве) со статичными данными и линейном подходе (это основные условия задачи). Для решения поставленной задачи был использован алгоритм асинхронных параллельных аукционов с учетом однотипности ресурсов, описанный в работах [1], реализованный на языке *AgentSpeak Jason*[2]. Данный метод определяет потоки, максимизирующие суммарную полезность передислокации однотипных существей – секций локомотивов определённого вида между региональными дирекциями, при заданной полезности (стоимости) перевозки одной единицы от поставщика i (депо с избытком ТПС) к потребителю j (депо с недостатком ТПС), варьируя потоки.

Метод аукционов

Каждому поставщику и каждому потребителю ставится в соответствие интеллектуальный агент, отвечающий за хранение внутренней для данного агента информации и информационный обмен с другими агентами. Кроме того, вводится управляющий агент, координирующий работу остальных агентов. Агенты подразделяются на тех, кто назначает ставки и на тех, что принимает и обслуживает эти заявки-ставки.

► **Инициализация**

Каждый респондент в каждый момент времени содержит набор пар (поток-цена) в котором содержатся распределенные уже потоки по заявителям, вместе со значением цены, которая была назначена при данном распределении. При неполном распределении мощности респондента, в наборе присутствует пара из остаточного (нераспределенного) количества и нулевой (стартовой) цены. В начальный момент времени в наборе есть только одна пара, состоящая из нулевой цены и полной вместимости респондента. При любом изменении (а также начальном возникновении) этого набора респондент рассылает всем заявителям его обновленный вариант, ассоциированный с собственным идентификатором (то есть подписанный).

► **Формирование заявок**

Каждый заявитель при получении любого такого набора от любого респондента, прежде всего, проверяет наличие нераспределенных единиц своей мощности. При их отсутствии заявитель не производит никаких дальнейших действий. Если какие-то единицы еще не распределены по респондентам, иницируется процесс создания и рассылки заявок всем респондентам. После того, как сформированы потоки, для них формируются значения заявочной цены, таким образом, чтобы перебить существующую цену. В результате формируется список заявок, которые рассылаются респондентам из этого списка с подписью агента-заявителя.

► **Обработка заявок**

Каждый респондент при получении любой заявки иницирует процесс выбора заявок для распределения своей мощности по заявителям. После чего, весь процесс, описанный в данном разделе, повторяется: респондент рассылает всем заявителям обновленную информацию о своих потоках и ценах за них, и т.д., до тех пор, пока у заявителей (суммарная мощность которых, по построению, меньше суммарной мощности респондентов) не останется неразмещенных единиц мощности.

► **Метод Хуана для определения завершения работы алгоритма.**

Для определения фазы завершения работы была использована идея метода весов (Huang's algorithm).

В методе аукционов алгоритм Хуана применяется следующим образом: в начале агент-диспетчер, после порождения и инициализации агентов-заявителей и агентов-респондентов, рассылает заявителям команду к началу аукциона, присоединяя к ней долю своего веса, обратно пропорциональную количеству заявителей плюс константа. Агенты-заявители, при рассылке заявок, присоединяют к ним долю своего веса, обратно пропорциональную количеству респондентов плюс константа. Агент-респондент, после обработки заявок и формирования и рассылки новых потоков всем заявителям, формирует список заявителей, которым отказано в размещении всей или части их заявки. Заявителям из сформированного списка рассылается дополнительное сообщение об отказе, вместе с долей своего веса респондента, обратно пропорциональную количеству заявителей плюс константа. Обнуление и отсылка своего веса диспетчеру у заявителя происходит при отсутствии неразмещенных единиц своей мощности, а у респондента, при отсутствии необработанных заявок в очереди поступивших сообщений.

Результаты

Для оценки эффективности работы было проведено тестирование на данных Восточного полигона с получением характеристик для качественной оценки построенного комплекса. Для двух региональных дирекций при условии размерности парка около 1000 секций были получены следующие результаты:

Качественные показатели	Период расчета			
	Дирекции	Год	Квартал	Месяц
Норма содержания секций	2000035040	608	906	814
	2000035041	661	900	645
Прогнозное расчетное содержание секций (С учетом списания, закупок и аренды)	2000035040	561	832	844
	2000035041	589	997	546
Прогнозное содержание секций после вмешательства планировщика	2000035040	608	906	814
	2000035041	589	900	645

Результаты тестирования показали, что при использовании данного комплекса подсистем для прогноза и планирования содержания тягового подвижного состава для обеспечения перевозочного процесса на заданный период разница между фактическим и потребными парками или сокращается или фактический парк становится равен потребному.

Выводы

Данная работа посвящена разработке комплекса подсистем, решающих задачу планирования содержания тягового подвижного состава для обеспечения перевозочного процесса на заданный период – год, квартал или месяц. Для обеспечения гибких механизмов динамического поведения, автономности и адаптации отдельных компонентов имитационной модели было предложено использование мультиагентного подхода и основанных на нем алгоритмов. Для осуществления планирования и управления процессами содержания ТПС на установленную потребность, на языке *Jason* и *JAVA* был реализован комплекс подсистем, осуществляющий решение задачи обеспечения перевозочного процесса требуемым количеством ТПС и их эффективной работой по планированию содержания локомотивов на установленную потребность на заданный период.

Литература

1. D.P. Bertsekas & D.A.Castanon. «The auction algorithm for the transportation problem.» *Annals of Operations Research* 20(1989), pp.67-96.
2. R. H. Bordini, J. F. Hübner, M. Wooldridge. «Programming Multi-Agent Systems in AgentSpeak using Jason». Wiley. 2007. 268 pp.



Такмазян А.К., Рябых Н.Г., ООО «Програмпарк», г. Москва
Матвиенко В.А., ОАО «НИИАС», г. Москва
Стешкин В.И., ООО «Програмпарк», г. Москва

Мультиагентное решение задачи о суточном планировании назначения локомотивных бригад на явку в депо с помощью метода аукционов

Одной из подзадач, которая возникает в процессе решения задачи грузоперевозок, является задача сменно-суточного планирования содержания локомотивных бригад на установленную потребность. Эта задача является одной из базовых и «обеспечивающих» задач: результаты, полученные в результате её решения, используются в дальнейшем при составлении расписания поездов и выборе локомотивной бригады, назначаемой на конкретный поезд в задаче оперативного планирования перевозок. В настоящей работе предложено расширение стандартного подхода назначения локомотивных бригад на явку в депо с помощью использования алгоритма асинхронных параллельных аукционов с однотипными сущностями, предложенным в работе [1] и позволяющий реализацию в распределенных системах (например, в мультиагентной парадигме). Ранее данная задача была решена авторами мультиагентным методом локальной оптимизации в работе [2]. Метод настоящей работы имеет преимущество в быстродействии (требуется меньше операций для достижения оптимума), и универсальности (не зависит от монотонности функции полезности).

В докладе представлена реализация метода работы [1] на языке AgentSpeak в среде Jason [3], выполненная в рамках разработки программного обеспечения для автоматизированной подсистемы «Управления тяговым хозяйством на Восточном полигоне» (УТХ ВП) Интеллектуальной системы управления движением на железнодорожном транспорте (ИСУЖТ).

Введение

Локомотивная бригада (ЛБ) — группа работников, назначаемая после определенной подготовки и стажировки для обслуживания поездных или маневровых локомотивов, а также моторовагонных поездов. ЛБ состоит из машиниста и его помощника, а на паровозах и кочегара. Разрешается обслуживать электровозы и тепловозы, занятые на маневровой и хозяйственной работе, а также электропоезда одному машинисту, то есть обслуживать в одно лицо. В этом случае локомотивы должны быть оборудованы специальными устройствами бдительности машиниста. Машинисты локомотивов и их помощники — одна из ведущих профессий на железнодорожном транспорте. От организации их работы в значительной степени зависит безопасный и бесперебойный пропуск поездопотока

на направлениях. Локомотивные бригады составляют довольно многочисленную группу работников — примерно 10% эксплуатационного контингента рабочих и служащих железнодорожного транспорта. Организация и планирование работы ЛБ является важным фактором роста производительности их труда. Решение задач по организации работы ЛБ имеет большое социальное значение. Поэтому важным является дальнейшее совершенствование системы организации работы ЛБ. Она включает в себя широкий круг вопросов: оптимизацию схем и длин участков работы бригад, порядок явки на работу, методы регулирования ЛБ и способы расчета их потребностей. "Потребность" в применении к бригадам — это количество бригад, которое должно выйти на работу на конкретной станции в следующие железнодорожные сутки (или двое суток), чтобы вывезти все поезда с данной станции. "Успешно вывезти" — это значит, что поезда не должны простаивать из-за отсутствия бригад. Потребности, рассчитываются по формулам, исходя из планируемого объема движения по данной станции на следующие сутки (эти планируемые объемы рассчитывает специальный человек, который смотрит, какие поезда в данный момент находятся в движении и в следующие сутки пройдут через эту станцию и какие поезда будут сформированы в следующие сутки на этой станции).

На данный момент нет единой системы управления и автоматизации производственных процессов на железнодорожном транспорте. Есть несколько разрозненных систем, которые автоматизируют разные процессы, поэтому стоит задача свести отдельные модули воедино с расчетом на будущее масштабирование. Для моделирования взят участок в Сибири и на Дальнем Востоке приблизительно от Красноярска до Владивостока. Восточный полигон довольно прост для моделирования. Эта сеть не так сильно разветвлена, как в европейской части России, в ней менее интенсивное пассажирское движение. Для опытной эксплуатации задачи составления сменно-суточного плана бригад выбрано депо Иркутск, поскольку оно является довольно крупным и на его примере можно проверить работу всех алгоритмов и учет всех критериев.

Для обеспечения вывоза поездов на участке необходимо обеспечить локомотивы требуемым количеством ЛБ. Для каждого депо на участке имеется

наряд-задание по явке приписанных бригад в депо в течение планируемых суток. Наряд-задание — это и есть то количество бригад, которое должно выйти на работу на станции на следующие сутки. Каждое наряд-задание для депо разделяется по участкам работы (оборота) локомотивных бригад (УОЛБ). Кроме того, наряд-задания для каждого УОЛБ разделяются по трехчасовым интервалам в течение железнодорожных суток. Трехчасовой интервал — это некий баланс в плане точности. С одной стороны, не нужно рассчитывать явку бригады с точностью до минуты или часа, поскольку на момент расчета точно неизвестно, когда именно подойдет и будет готов к отправлению поезд (это рассчитывается в модуле оперативного планирования ОУЭР ИСУЖТ). С другой стороны, интервал в 6 часов уже слишком большой для самой бригады, ей желательно, иметь точное время явки (чем точнее, тем лучше). Таким образом, задача сводится к назначению потребного количества бригад на явку по каждому трехчасовому интервалу в течение планируемых железнодорожных суток для каждого УОЛБ.

Анализ существующего решения

В текущей реализации сменно-суточного планировщика есть алгоритмический недостаток: описанный в [2] модуль работает по принципу изолированной локальной оптимизации. То есть оптимизируется локальная для интервала полезность назначения бригады на каждый трехчасовой интервал. Этот подход дает глобальное решение только при монотонности функции полезности бригады по трехчасовым интервалам. При данной постановке задачи эти недостатки практически никак не сказываются. Исключением является, например, случай, когда бригада уже отработала 2 ночи подряд, её можно поставить на явку утром, так что она отработает день и уйдет спать, но нельзя ставить на явку вечером — будет третья «рабочая» ночь, что запрещено по законодательству [4]. Таким образом, полезность вывода бригады будет немонотонной (сначала большой, потом отрицательной – вечером, а на следующий день — опять большой).

Кроме того, в существующем подходе [2], требуется второй проход оптимизационного алгоритма, чтобы оптимально учесть количество разрешений у бригады на работу по разным участкам обслуживания. Второй проход заменял бригады с большим количеством разрешений на бригады с меньшим количеством разрешенных участков. Таким образом, бригады с большим количеством оказывались свободными и снова "искали" себе назначение. Если где-то оставались незанятые участки, они назначались на эти участки.

Метод аукционов в транспортной задаче

Можно изменить алгоритм так, чтобы глобальная сумма всех полезностей при назначении бригад была

оптимальной вне зависимости от монотонности (и вообще вида) функции полезности. Для этого можно использовать алгоритм асинхронных параллельных аукционов с учетом однотипности ресурсов, описанный в работах [1,5]. Необходимая постановка полностью укладывается в формализм транспортной задачи, где истоками единичной мощности служат бригады, стоками – трехчасовые интервалы по каждому УОЛБ данного депо, с мощностями, определяемыми наряд-заданием на данный интервал данного УОЛБ.

Мультиагентная структура, реализующая данный алгоритм, представлена на рисунке 1. Интерфейс с внешними системами и управление всем потоком данных обеспечивает главный агент (main). Поскольку задача расслаивается на независимые подзадачи для каждого депо, то агентом main порождаются подагенты депо (depot), куда передаются все касающиеся их локальные данные и которых контролируется процесс вычислений для депо.

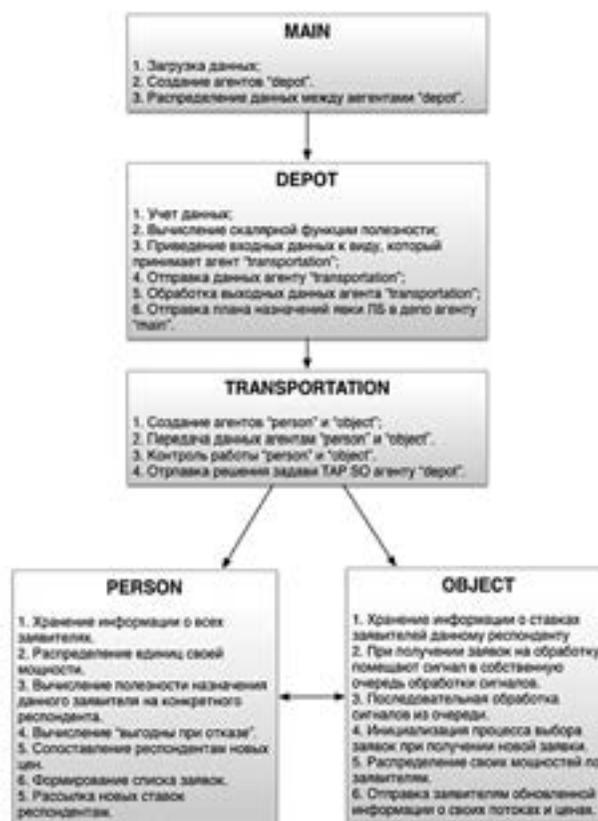


Рис. 1

Каждому истоку и каждому стоку ставится в соответствие интеллектуальный агент (person или object), отвечающий за хранение внутренних для данного агента данных и информационный обмен с другими агентами. Кроме того, вводится управляющий агент (transportation), координирующий работу остальных под-агентов. Агенты подразделяются проактив-

ные (person) – те, кто назначает ставки, и реактивные (object) – те, кто принимает и обслуживает эти заявки-ставки. Подробное описание работы алгоритма аукционов см. в работе [5]. Приведем здесь лишь краткое описание процесса.

Каждый респондент в каждый момент времени содержит набор пар {поток-цена}, в котором содержатся распределенные уже потоки по заявителям, вместе со значением цены, которая была назначена при данном распределении. При неполном распределении мощности респондента, в наборе присутствует пара из остаточного (нераспределенного) количества и нулевой (стартовой) цены. Каждый заявитель при получении любого такого набора от любого респондента, прежде всего, проверяет наличие нераспределенных единиц своей мощности. По итогам проверки формируются новые значения потоков и цен для новой заявки на основе данных о распределении мощностей у респондента по остальным (конкурирующим) заявителям, цена которых может быть «перебита» текущим заявителем, исходя из данных о полезности назначения единиц заявителя этому респонденту.

Каждый респондент при получении любой заявки инициирует процесс выбора заявок для распределения своей мощности по заявителям, исходя из наибольшей предложенной ставки. Весь процесс повторяется до тех пор, пока у заявителей не останется возможности для формирования ставки (нет размещенных единиц мощности либо нет положительных выгод от «перебивания» чужой ставки). В работе [1] показано, что каждый шаг данного процесса улучшает суммарную полезность потоков системы, и алгоритм сходится.

Для определения фазы завершения работы была использован метод весов Хуана (Huang's algorithm). В методе аукционов алгоритм Хуана применяется следующим образом: в начале агент-диспетчер, после порождения и инициализации агентов-заявителей и агентов-респондентов, рассылает заявителям команду к началу аукциона, присоединяя к ней долю своего веса. Агенты-заявители, при рассылке заявок, присоединяют к ним также долю своего веса. Агент-респондент, после обработки заявок и формирования и рассылки новых потоков всем заявителям, формирует список заявителей, которым отказано в размещении всей или части их заявки. Заявителям из сформированного списка рассылается дополнительное сообщение об отказе, вместе с долей своего веса респондента. Обнуление и отсылка своего веса диспетчеру у заявителя происходит при отсутствии размещенных единиц своей мощности, а у респондента, при отсутствии необработанных заявок в очереди поступивших сообщений.

График №1 — коэффициент эффективности, старый планировщик



График №2 — коэффициент эффективности, новый планировщик



Рис. 2

Результаты расчетов

Для оценки работы нового планировщика проводились эксперименты на тренажерном комплексе, использующем реальные данные Восточного полигона ОАО «РЖД». В качестве критерия эффективности работы алгоритма было выбрано отношение запланированной продолжительности отдыха бригад к отработанному в предыдущую смену времени, называемое коэффициентом отдыха бригад. Оптимальным является нормативное значение 2.6. Новый модуль показал некоторое улучшение данного показателя в среднем по депо, и уменьшение разброса данного показателя. Отношение запланированного времени отдыха бригад к нормативному приведено на рисунке 2 для новой и старой версии модуля планирования (расчет проведен Т. Корчагиным).

Литература

1. D.P. Bertsekas & D.A. Castanon. "The auction algorithm for the transportation problem." *Annals of Operations Research* 20(1989), pp.67-96.
2. Ю.А. Машталер, В.А. Матвиенко, В.П. Алтунин, А.К. Такмазян. «Мультиагентное решение задачи о суточном планировании назначения локомотивных бригад на явку в депо». ТРУДЫ Третьей научно-технической конференции с международным участием Интеллектуальные системы управления

на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование. ИСУЖТ-2014, т. 1, сс. 39–42. Москва, 2014.

3. R. H. Bordini, J. F. Hübner, M. Wooldridge. "Programming Multi-Agent Systems in AgentSpeak using Jason". Wiley. 2007. 268 pp.
4. «Положение об особенностях режима рабочего времени и времени отдыха, условий труда отдельных категорий работников железнодорожного транспорта, непосредственно связанных с движением поездов». Утверждено приказом МПС России от 5 марта 2004 г. N 7.
5. А.К. Такмазян, А.В. Шелудяков. Мультиагентное решение методом аукционов многопродуктовой транспортной задачи с объединенными потребностями. (Настоящий сборник).



Гайнанов Д.Н., Кибзун А.И., Иванов С.В., Осокин А.В., МАИ, г. Москва

Модель оптимального назначения локомотивов при формировании грузовых составов

Введение

Как отмечается в [1], в настоящее время значительное внимание уделяется повышению эффективности использования ресурсов на железнодорожном транспорте. При этом значительные потери ресурсов связаны с неэффективностью организации грузовых перевозок.

В последнее время во многих работах рассматриваются различные методы и алгоритмы оптимизации грузоперевозок на железнодорожном транспорте:

- исследованы особенности функционирования транспортных компаний;
- рассмотрен комплекс информационно-логистических моделей и методов управления железнодорожными перевозками;
- показаны основные теоретические и практические аспекты организации железнодорожных перевозок на основе информационных технологий;
- предложены различные средства совершенствования организации грузовых перевозок.

В данной работе рассматривается математическая модель оптимизации назначения локомотивов для организации перевозки грузовых составов. Данная математическая модель является развитием модели, сформулированной в [2]. Однако в отличие от модели [2], при построении данной математической модели формализованы понятия «плеча» и «нитки». Также формализованы понятия допустимого маршрута локомотива и допустимого маршрута состава. В качестве критерия

при оптимизации назначения локомотивов выбрано минимальное число задействованных локомотивов. Оптимизация осуществляется за счёт выбора «ниток» для движения составов и локомотивов. Выбор данных «ниток» позволяет полностью определить маршруты следования составов и локомотивов.

Основные определения

Пусть задан ориентированный граф $G = (V, A)$, где V – множество вершин (значимых станций), A – множество дуг (перегонов, соединяющих значимые станции). Пусть выделено подмножество D вершин, соответствующих станциям-депо. Будем называть плечом P последовательность вершин графа v_1, \dots, v_{I_p} , удовлетворяющую следующим условиям:

- 1) каждая из вершин, образующих последовательность, соединена дугой с предыдущей вершиной: $(v_{i-1}, v_i) \in A$;
- 2) все дуги, соединяющие соседние вершины последовательности, различны;
- 3) первая станция последовательности является станцией-депо $v_1 \in D$;
- 4) первая и последняя вершины последовательности совпадают и отличны от всех промежуточных вершин последовательности: $v_1 = v_{I_p}$, $v_i \neq v_1$ для $i = 2, I_p - 1$;
- 5) вершина $v_1 = v_{I_p}$ отлична от всех промежуточных вершин последовательности v_1, \dots, v_{I_p} .

Любую подпоследовательность соседних вершин v_i, v_{i+1}, \dots, v_j ($i < j$), образующих плечо, будем называть подплечом данного плеча. Любую упорядоченную пару вершин (v_{i-1}, v_i) , входящих в некоторое плечо P будем называть простым подплечом плеча P .

Пусть L – множество локомотивов. Для каждого локомотива $l \in L$ задано множество допустимых плечей \overline{P}_l и множество соответствующих простых подплечей P_l . На множестве локомотивов введём отношение эквивалентности, отнеся к одному классу эквивалентности локомотивы с одинаковым набором простых подплечей. Множество полученных классов эквивалентности обозначим через L и назовём множеством применимых типов локомотивов.

Ниткой N будем называть последовательность четвёрок $(v_1, t_1, v_2, \tau_2), (v_2, t_2, v_3, \tau_3), \dots, (v_{I_N-1}, t_{I_N-1}, v_{I_N}, \tau_{I_N})$, где $v_i \in V$, $(v_i, v_{i+1}) \in A$, $i = 1, I_N - 1$, $t_i, \tau_i \in \mathbb{R}$, $t_i < \tau_{i+1}$, $i = 1, I_N - 1$, $\tau_i \leq t_i$, $i = 2, I_N$. Величина t_i соответствует времени отправления со станции v_i , а τ_{i+1} – времени прибытия на станцию v_{i+1} . Каждую подпоследовательность соседних четвёрок будем называть подниткой. Каждую четвёрку $(v_i, t_i, v_{i+1}, \tau_{i+1})$, составляющую нитку N , будем называть простой подниткой.

Пусть имеется множество \overline{N} ниток. Сопоставим каждому элементу N данного множества множество $f(N)$, являющееся неупорядоченным множеством простых подниток, составляющих нитку N . Множество всех простых подниток, полученных из множества ниток \overline{N} , обозначим через N , т.е.

$$N = \bigcup_{N \in \overline{N}} f(N).$$

Допустимым маршрутом M_l локомотива l относительно множества плечей \overline{P}_l назовём последовательность простых подниток $(v_1, t_1, v_2, \tau_2), (v_2, t_2, v_3, \tau_3), \dots, (v_{I_l-1}, t_{I_l-1}, v_{I_l}, \tau_{I_l})$, удовлетворяющую условиям

- 1) $\tau_i \leq t_i$, $i = 2, I_l - 1$;
- 2) $(v_i, v_{i+1}) \in P_l$, $i = 1, I_l - 1$.

Множество допустимых маршрутов локомотива l обозначим через M_l . Начальную и конечную станции маршрута M_l обозначим через $v_0(M_l)$ и $v_j(M_l)$ соответственно, время начала первой нитки данного маршрута обозначим через $t_0(M_l)$, время прибытия на станцию назначения – через $\tau_f(M_l)$.

Пусть S – множество составов. Каждый состав характеризуется начальной станцией v^s , станцией назначения v^f , временем формирования t^s , временем τ^f , до которого необходимо прибыть на станцию назначения, т.е. каждому составу соответствует четвёрка (v^s, t^s, v^f, τ^f) . По сути данные характеристики определяют план перевозок. Допустимым маршрутом R_s со-

става $s \in S$ назовём последовательность простых подниток $(v_1, t_1, v_2, \tau_2), (v_2, t_2, v_3, \tau_3), \dots, (v_{I_s-1}, t_{I_s-1}, v_{I_s}, \tau_{I_s})$, удовлетворяющую условиям

- 1) $v_1 = v^s$;
- 2) $v_{I_s} = v^f$;
- 3) $t^s \leq t_1$;
- 4) $\tau^f \geq \tau_{I_s}$;
- 5) $\tau_i \leq t_i$, $i = 2, I_s - 1$.

Множество допустимых маршрутов состава S обозначим через R_s .

Заметим, что введённые определения допустимого маршрута локомотива и допустимого маршрута состава, по сути являются частными случаями определения нитки, поэтому можно определить множество $F(M_l)$ всех простых подниток, составляющих маршрут M_l локомотива l , и множество $F(R_s)$ всех простых подниток, составляющих маршрут R_s состава s .

Задача планирования движения локомотивов и составов

Пусть задано множество локомотивов L , множество составов S , множество ниток \overline{N} и соответствующих простых подниток N . Для каждого локомотива $l \in L$ определено множество плечей \overline{P}_l и простых подплечей P_l .

В начальный момент времени некоторые локомотивы могут находиться в движении, поэтому будем считать, что локомотив $l \in L$ можно отправить только с некоторой фиксированной станции v_0^l после момента времени t_0^l .

Пусть для каждого локомотива $l \in L$ и для каждого состава $s \in S$ заданы множества допустимых маршрутов M_l и R_s соответственно согласно введённому выше определению. Пусть $|L|$ – количество локомотивов во множестве L , имеющих непустой маршрут.

Пусть $M = \{M_l\}_{l \in L}$ – набор всех допустимых маршрутов всех локомотивов, $R = \{R_s\}_{s \in S}$ – набор всех допустимых маршрутов всех составов.

Требуется найти такой набор M маршрутов локомотивов и такой набор R маршрутов составов, при котором общее число $|L|$ локомотивов, используемых для перевозки составов, будет минимальным, при этом все маршруты составов будут покрыты маршрутами локомотивов, т.е. необходимо решить следующую комбинаторную задачу:

$$|L| \rightarrow \min_{M, R} \tag{1}$$

при ограничениях

$$M_l \in M_l, l \in L, \tag{2}$$

$$R_s \in R_s, s \in S, \tag{3}$$

$$R \triangleq \bigcup_{s \in S} F(R_s) \subset M \triangleq \bigcup_{l \in L} F(M_l), \tag{4}$$

$$F(R_s) \cap F(R_{s'}) = \emptyset, s \neq s', s, s' \in S, \quad (5)$$

$$F(M_l) \subset N, l \in L, \quad (6)$$

$$F(R_s) \subset N, s \in S, \quad (7)$$

$$v_0(M_l) = v_0^l, \quad (8)$$

$$t_0(M_l) \geq t_0^l. \quad (9)$$

Условия (2), (3) значат, что рассматриваются только допустимые маршруты локомотивов и составов, в частности те, для которых существуют допустимые плечи. Также заметим, что допустимость маршрутов составов требует, чтобы был выполнен план перевозок в установленный срок.

Условия (6) и (7) требуют, чтобы допустимые маршруты составлялись только из простых подниток, поэтому, что множества $R \subset N$ и $M \subset N$ составлены из простых подниток, входящих в какой-либо маршрут состава или локомотива соответственно. Условие (4) значит, что все простые поднитки, образующие маршрут любого локомотива, используются для движения некоторого локомотива, т.е. все составы перевозятся некоторым локомотивом. Также из этого условия следует, что локомотивы могут передвигаться по простым подниткам, по которым не движутся составы. Таким образом, каждой задействованной нитке соответствует либо состав с локомотивом (возможно, с несколькими локомотивами), либо локомотив, движущийся порожником.

Условие (5) значит, что маршруты передвижений составов не могут пересекаться, т.е. одну простую поднитку нельзя использовать для передвижения двух со-

ставов. Поскольку локомотивы могут ехать в сплотке или с составом (вспомогательный пробег), то подобное условие для локомотивов отсутствует.

Условия (8), (9) задают начальное состояние локомотивов.

Заметим также, что множество составов S и множество ниток \overline{N} определяется суточным планом перевозок и количеством суток, на которые осуществляется планирование.

Для сформулированной задачи предложен алгоритм поиска приближённого решения. Проведён численный эксперимент на некоторых модельных данных. Эти данные основаны на реальном движении грузовых составов на некотором участке железнодорожной сети в течение десяти суток. Проанализирована эффективность полученного решения. На основе разработанного алгоритма формализована процедура принятия решений для назначения локомотивов для перевозки грузовых составов.

Литература

1. Гапанович В.А., Епифанцев С.Н., Овсейчук В.А. Экономическая стратегия и электрофикация российских железных дорог // Под редакцией Г.П. Куртового — М.: Эко-Пресс, 2012.
2. Кан Ю.С., Кибзун А.И., Иванов С.В. Оптимизационная модель назначения локомотивов для перевозки грузовых составов // Труды третьей научно-технической конференции с международным участием «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование. (ИСУЖТ-2014) 18 ноября 2014. — М.: ОАО «НИИАС», 2014. С. 54-57.



Тарасов М.В., МФТИ, г. Москва

Хоботов Е.Н., МФТИ, МГТУ им. Н.Э. Баумана, ИПУ РАН, г. Москва

Кузнецова А.Ю., ИПУ РАН им. В.А. Трапезникова, г. Москва

Шавин М. Ю., МФТИ, г. Москва

Построение расписаний движения грузовых поездов в железнодорожной сети

Введение

Созданию методов планирования перевозок железнодорожным транспортом и построения расписаний движения грузовых поездов в последние годы уделяется повышенное внимание, которое вызвано тем, что удачно построенное расписание движения позволит сократить затраты и время на доставку грузов потребителям и заметно повысить эффективность использования железнодорожной сети.

Однако задачи построения расписаний движения поездов являются сложными комбинаторными задачами, и создание эффективных моделей и методов их решения вызывает значительные затруднения.

Для планирования грузовых перевозок и построения расписаний движения поездов по железнодорожной сети предлагались различные методы. Среди них следует отметить методы, основанные на использовании идей метода динамического программирования [1], методы [2-3], позволяющие сводить расчеты этих задач к решению задач целочисленного и смешанного линейного программирования, а также методы, основанные на использовании мультиагентных технологий [4-6].

В данном докладе предлагаются модели и методы построения расписаний движения поездов в железнодорожной сети заданной конфигурации, основанные на других идеях и принципах. Идеи предлагаемых методов основаны на использовании принципов построения расписания работ в промышленных системах и участках с дискретным характером производства.

Разработанные методы были запрограммированы и с ними проводились вычислительные эксперименты, которые подтвердили их достаточно высокую эффективность.

1. Постановка задачи

Рассмотрим более подробно постановку задач, для которых предложены методы построения расписаний движения поездов.

В одной из задач задана железнодорожная сеть G , включающая M сортировочных станций, которые связаны друг с другом железнодорожными путями по известной схеме с двухпутными участками движения. Задана также информация о маршрутах S поездов, которые должны проходить по этой сети и развозить заказанную продукцию потребителям.

В информацию о маршруте каждого поезда $s (s = 1, \dots, S)$ входят данные о станции отправления и времени готовности поезда к отправке, о сортировочных станциях, через которые поезд проходит по маршруту, о количестве «стояночных» путей на каждой сортировочной станции сети. Кроме того, в информацию о маршруте каждого поезда входит информация о времени движения поезда между всеми смежными станциями по маршруту движения и обо всех временах стоянок поезда на тех станциях, где стоянки должны быть. Между следующими друг за другом поездами в целях безопасности должен соблюдаться технический интервал времени.

Стоянка поездов на путях между станциями в нормальном режиме работы железнодорожной сети не допускается. Поезда могут ожидать своей очереди на отправку только на «стояночных» путях сортировочной станции. Стоимость ожидания поезда каждого типа на каждой сортировочной станции в единицу времени известна.

В задаче требуется так сформировать расписание движения каждого поезда, чтобы при выполнении всех требований к движению поездов сократить время доставки грузов потребителям и стоимость ожидания отправки поездов на «стояночных» путях сортировочных станций.

В другой задаче кроме всех указанных выше условий движения поездов добавляется требование о том, что через некоторые станции поезда определенных типов могут проходить только в течение «временных окон», параметры которых заданы индивидуально для каждой из этих станций.

В этой задаче требуется так сформировать расписание движения каждого поезда, чтобы при заданных параметрах «временных окон» на станциях сети G сократить время доставки грузов потребителям и стоимость ожидания отправки поездов на «стояночных» путях сортировочных станций.

В следующей задаче наряду с указанными выше условиями движения поездов в железнодорожной сети заданной конфигурации с уже заданным расписанием движения поездов возникла «нештатная» ситуация, в результате которой на время ΔT произошла остановка

движения части поездов. Устранение проблем, задерживающих движение поездов, занимает время \bar{t} . Для некоторой части остановившихся поездов известны «обходные» маршруты движения, которые позволят продолжить движение этих поездов без остановки на ожидание устранения возникших препятствий движению.

В задаче требуется выбрать стратегию дальнейших действий и на ее основе сформировать расписание движения остановившихся поездов так, чтобы, не нарушая расписания двигающихся по сети поездов, сократить время доставки грузов потребителям и стоимость ожидания отправки остановленных поездов.

2. Принципы построения расписаний движения

Рассмотрим основные идеи и принципы, на основе которых в данной работе предлагается строить расписания движения поездов в железнодорожной сети.

Областью, в которой наиболее широко и эффективно использовались модели и методы построения расписаний, является машиностроительное производство. Одним из наиболее эффективных методов построения расписаний в промышленных системах и участках является метод, основанный на использовании решающих правил [7-8]. При использовании этого метода последовательно с помощью решающего правила, выбранного из сформированного множества правил, определяется порядок запуска деталей на обработку системе или на участке. С помощью каждого правила из этого множества строится свое расписание работ, из которых потом в соответствии с заданным критерием выбирается лучшее.

Для построения расписаний движения поездов по железнодорожной сети также используются подобные идеи. Сначала формируется множество решающих правил, которые приходится строить на других идеях и принципах, чем правила, используемые для построения расписаний обработки деталей. Затем с помощью каждого правила последовательно определяется порядок отправления каждого поезда и строится его расписание по маршруту движения. После построения расписаний движения поездов с использованием всех решающих правил из заданного множества выбирается лучшее расписание.

Обычно приоритетные правила должны формироваться на основе опыта и знаний наиболее квалифицированных специалистов в области планирования перевозок и формирования расписаний движения поездов. В машиностроительном производстве с их помощью удается строить весьма эффективные расписания работ.

Рассмотрим принципы построения расписаний движения поездов с помощью методов, построенных на основе указанных выше идей и принципов, для первой задачи, постановка которой описана в предыдущем пункте.

При построении расписания движения поездов в этом случае с помощью каждого приоритетного правила строится «свое» расписание движения поездов в железнодорожной сети. Из построенных расписаний в соответствии с заданным критерием выбирается лучшее расписание поездов.

Расписание движения поездов в железнодорожной сети предлагается строить последовательно для каждого поезда в соответствии с приоритетом, который для поезда задается с помощью решающего правила. Сначала строится расписание движения поезда, имеющего наиболее высокий приоритет, по заданному для него маршруту. Движение поезда начинается со станции его отправления в момент готовности поезда к отправке и заканчивается в момент прибытия на конечную станцию маршрута. В процессе построения расписания движения определяются времена прибытия поезда на каждую станцию маршрута и отправления с учетом времени стоянки поезда на станциях маршрута. Затем строится расписание движения поезда, имеющего следующий по убыванию рейтинг. Построение расписания движения поезда также начинается со станции его отправления и с момента его готовности к отправке.

Если маршрут поезда не пересекается с маршрутом поезда, имеющего более высокий приоритет, то расчет расписания заканчивается на конечной станции маршрута поезда.

Если маршрут поезда пересекается с маршрутом поезда, имеющего более высокий приоритет, на некоторых станциях, то производится проверка моментов времени прохождения поездами этих станций.

Если поезд, имеющий более низкий приоритет, по строящемуся расписанию должен проходить каждую из этих станций либо до технического интервала времени от момента их прохождения поездом, имеющим более высокий приоритет, либо после такого интервала, то построение расписания движения поезда продолжается и заканчивается на конечной станции маршрута поезда.

Если поезд, имеющий более низкий приоритет, в соответствии со строящимся расписанием движения должен приходиться на какие-либо станции ранее или позже допустимого интервала от момента прибытия на эти станции поезда, имеющего более высокий приоритет, то производится необходимая задержка поезда с более низким приоритетом. Такая задержка обеспечивается стоянкой поезда на предыдущих станциях маршрута, на которых такую стоянку можно обеспечить.

После этого строится расписание движения следующего поезда, имеющего наибольший рейтинг среди поездов, для которых еще не построено расписание движения т. д.

В качестве примера приоритетных или решающих

правил для построения расписаний движения поездов можно привести следующие правила.

1. Если стоимость доставляемых поездом вагонов с грузами наибольшая, то поезду присваивается наивысший приоритет.
2. Если количество станций по маршруту поезда больше, то поезду присваивается больший приоритет.
3. Если количество станций по маршруту поезда меньше, то поезду присваивается больший приоритет.
4. Если стоимость доставляемых поездом вагонов с грузами наибольшая и при этом время стоянок поезда на станциях по маршруту минимальное, то поезду присваивается наибольший приоритет.
5. Если количество станций по маршруту поезда большее и при этом время стоянок поезда на станциях по маршруту максимальное и при этом номер поезда меньший, то поезду присваивается наибольший приоритет.

На каждой итерации построения расписаний движения поездов из множества поездов, для которых еще не построено расписание движения, выбирается поезд с наибольшим приоритетом и для него строится расписание движения. Поезд, для которого построено расписание движения, вычеркивается из множества поездов с еще не построенным расписанием. После того как для всех поездов из заданного множества по сформированному порядку запуска будут построены расписания движения определяются все времена прибытия на конечные станции их маршрутов и вычисляется величина соответствующего критерия, которая сравнивается с рекордным значением критерия.

Если данное правило не является последним, то выбирается следующее правило и весь описанный выше процесс повторяется. Если правило оказывается последним, то в качестве расписания движения поездов выбирается расписание с лучшим значением критерия.

Правила 2 и 3 в приведенном выше примере являются антитетическими [7-8].

В качестве критериев, по которым оценивается построение расписаний движения поездов по сети, могут рассматриваться, например, следующие.

1. Минимизация времени доставки грузов всеми поездами по железнодорожной сети.
2. Минимизация задержек в завершении доставок определенных грузов на станции назначения к назначенным срокам.
3. Минимизация задержек в прибытии определенных поездов на конечные станции маршрутов движения к назначенным срокам.

Рассмотрим теперь алгоритм построения расписаний движения поездов при наличии требований о том, что через некоторые станции поезда определенных

типов могут проходить только в течение «временных окон», параметры которых заданы индивидуально для каждой из этих станций. Более подробно постановка этой задачи описана в первом пункте статьи.

В этом случае, как и в рассмотренном выше случае, с помощью решающих правил определяются приоритеты запуска поездов. Однако при построении расписания движения каждого поезда к станции, на которой задано «временное окно» запрещающее или разрешающее движение, производится проверка возможности прибытия поезда на станцию. Если прибытие поезда в рассчитываемый момент времени разрешено, то расписание движения поезда продолжается. Если прибытие поезда в рассчитываемый момент времени недопустимо, то производится необходимая задержка поезда. Такая задержка обеспечивается стоянкой поезда на предыдущих станциях маршрута, на которых такую стоянку можно обеспечить. После завершения построения расписания движения поезда до конечной станции маршрута по такой же схеме строится расписание движения следующего поезда и т. д. Выбор лучшего расписания движения поездов также производится по результатам сравнения расписаний, построенных с использованием всех используемых решающих правил.

Рассмотрим алгоритмы диспетчеризации, которые предназначены для формирования стратегий, предназначенных для разрешения возникающих возмущений и «нештатных» ситуаций, когда построенное расписание движения не может далее выполняться.

В таких случаях предлагается строить расписания движения поездов с учетом изменившихся условий, а также с учетом возможного временного изменения конфигурации железнодорожной сети.

Для изменившихся условий формируются возможные стратегии разрешения возникших возмущений и «нештатных» ситуаций. Затем для каждой стратегии разрешения ситуации строится расписание движения поездов. При построении расписаний движения приоритеты поездов могут задаваться как с помощью решающих правил, как и диспетчерами. Расписания поездов строятся по описанной выше схеме, и из построенных расписаний выбирается лучшее в соответствии с заданным критерием.

3. Результаты вычислительных экспериментов

Для проведения вычислительных экспериментов с данной системой была разработана компьютерная программа, состоящая из двух основных модулей. В первом модуле запрограммирован генератор исходных данных, позволяющий строить случайным образом конфигурацию железнодорожной сети и задавать количество поездов и маршруты их движения по сети. Функция второго модуля связана с построением расписаний движения поездов в сети заданной конфи-

гурации согласно описанным алгоритмам. При этом конфигурация может быть построена как с помощью первого модуля, так и задана вручную. В результате расчета получаем расписание движения для каждого состава в табличном виде и в виде диаграммы Ганта.

С использованием рассмотренных в статье алгоритмов и моделей было решено более двух десятков тестовых задач по построению расписаний движения поездов в сетях сформированной конфигурации. Решение этих задач показало, что с использованием описанных выше моделей и методов удавалось весьма быстро строить расписания движения поездов для железнодорожной сети задаваемой конфигурации. Ниже приведена таблица времени расчета ряда тестовых задач, связанных с построением расписаний движения поездов.

Заданные параметры	Среднее время расчета
20 станций, 20 поездов	0.3 секунды
30 станций, 30 поездов	1.5 секунды
40 станций, 40 поездов	3.1 секунды
50 станций, 50 поездов	11.8 секунд
60 станций, 60 поездов	13.8 секунд
70 станций, 70 поездов	63.1 секунды
80 станций, 80 поездов	81.3 секунды
90 станций, 90 поездов	118.6 секунды
99 станций, 99 поездов	430.7 секунд

Литература

1. Лазарев А.А., Мусатова Е.Г., Хуснуллин Н.Ф., Задача формирования железнодорожных составов и расписания их движения. // Труды Второй научно-технической конференции «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте» (ИСУЖТ-2013), 21-22 октября 2013 г., Москва, С. 58- 63.
2. Лазарев А. А., Мусатова Е. Г. Целочисленные постановки задачи формирования железнодорожных составов и расписания их движения // Сб. «Управление большими системами». 2012. № 38. С. 161–169.
3. Лазарев А. А., Мусатова Е. Г., Кварацхелия А. Г., Гафаров Е. Р. Теория расписаний. Задачи управления транспортными системами. – М.: МГУ, 2012. – 160 с.
4. Ефремов Г.А., Ефремова А.П., Управление движением поездов на полигонах Октябрьской дороги с помощью интеллектуальных многоагентных систем. Труды Третьей научно-технической конференции с международным участием «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование» (ИСУЖТ-2014), 18 ноября 2014 г., Москва, Ч. 1. С. 43 – 47.
5. Абрамов А.А., Скобелев П.О., Белоусов А.А., Еремин А.С., Белов М.В., Мультиагентные технологии адаптивного построения графика движения поездов. Труды Второй научно-технической конференции «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте» (ИСУЖТ-2013), 21-22 октября 2013 г., Москва, С. 87-88.
6. Абрамов А.А., Немцов Э.Ф., Еремин А.С., Автоматизация разработки графиков движения поездов на основе мультиагентных технологий // Труды Третьей научно-технической конференции с международным участием «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование» (ИСУЖТ-2014), 18 ноября 2014 г., Москва, Ч. 1. С. 34-39.
7. Конвей Р.В., Максвелл В.А., Миллер Л.В. Теория расписаний. М.: Наука, 1975.
8. Зак Ю.А. Прикладные задачи теории расписаний и маршрутизации перевозок. М.: Книжный дом «Либроком», 2011.



Капустин Н.И., Фрольцов В.Д., ОАО «НИИАС», г. Москва
Капустина Е.П., МГУПС (МИИТ), г. Москва

Технологическая архитектура принципов управления тяговыми ресурсами на железных дорогах ВП и их реализация в ПТК ИСУЖТ (восточный полигон)

К основным архитектурным принципам управления тяговыми ресурсами на железных дорогах Восточного Полигона и в ПТК ИСУЖТ (*Программно-технический комплекс единой интеллектуальной системы управления и автоматизации производственных процессов на железнодорожном транспорте*) относятся:

- многосуточное, сменно-суточное, текущее планирование эксплуатационной работы и своевременное обеспечение ее тяговыми ресурсами;
- адаптивное перепланирование при возникновении конфликтов в эксплуатационной обстановке;
- управление полным циклом производственного процесса в реальном масштабе времени для выполнения принятого плана перевозок, соблюдая комплексную технологию;
- высокий уровень технологической дисциплины, за счет средств предупреждения конфликтов, в противовес традиционно принятым средствам учета уже произошедших нарушений;
- ситуационная осведомленность каждого производственного узла о происходящих производственных процессах.

Краткая характеристика ВП:

Полигон состоит из четырёх железных дорог: Красноярской, Восточно-Сибирской, Забайкальской и Дальневосточной, включающий в себя более 350 станций планирования (смены локомотивов / локомотивных бригад), в т.ч. более 30 погрузочных станций, 7 сортировочных станций, 9 стыковых станций, 5 станций погран-переходов;

- 34-х эксплуатационных локомотивных депо, 16 (сервисных) депо ТЧР, 12 сетевых пунктов технического осмотра локомотивов (ПТОЛ), 10 региональных ПТОЛ;
- на полигоне эксплуатируется более 2000 локомотивов грузового движения (*1500 ед. электровозов 500 ед. тепловозов*). В штате локомотивных депо ВП находится более 15 000 локомотивных бригад грузового движения.

Общая протяженность ж.д. линий Восточного полигона составляет более 11 000 км, электрифицированных линий около 8000 км, автономных около 3000 км.

- 120 поездо-участков протяженностью от 250 до 450 км.

Сегодня эксплуатационная работа на сети железных дорог продолжает оставаться сложной. При общем спаде грузооборота на сети железных дорог, на Восточном полигоне наблюдается её рост и составляет +102,1% к прошлому году.

Основные показатели работы полигона за 10 месяцев текущего года продолжают расти (производительность локомотива +3,3%, участковая скорость +1,3%) выше уровня прошлого года, вес поезда +1,0%. Среднее время локомотивов в движении составляет 13,61, что выше сетевых на 2 часа.

Несомненно, этому способствовало создание региональных ЦУТРов, первым из которых был ЦУТР ВП, а так же разработанная и сданная в опытную эксплуатацию автоматизация производственных процессов в ПТК ИСУЖТ.

Основная цель ИСУЖТ – реализовать единое информационное пространство для управления процессом перевозок без административных, технологических, информационных стыков, которая достигается за счет:

- автоматизации сквозных производственных процессов, а не отдельных операций, во взаимодействии вертикальных структур управления ОАО «РЖД»;
- создания динамической модели производственного процесса, обеспечения высокой ситуационной осведомленности с максимальной детализацией, оперативностью и достоверностью информации;
- создания контура эффективного управления ресурсами на базе комплексных автоматизированных рабочих мест на всех уровнях управления;
- создания системы интеллектуальных планировщиков реального времени, обеспечивающих проактивное управление производственным процессом.

Это способствует увеличению производительности труда и соответственно, оптимизации бизнес-процессов в целом.

В основу проекта ИСУЖТ заложены основные действующие технологии по управлению перевозочным процессом, тяговыми ресурсами во взаимодействии с действующими информационными системами, которые в последующем будут интегрированы в ИСУЖТ.

Модули ПТК ИСУЖТ, находящиеся сегодня в опытной эксплуатации позволяют решать задачи, которые совсем недавно решались кулуарно и их решения порой противоречили друг другу:

- планирование продвижения поездопотока на 5-7 суток вперед;
- разработка сменно-суточного вариантного графика с предоставлением «ОКОН» в едином створе и организация отправления грузовых поездов со станции по расписанию вариантного графика;
- автоматизированное сменно-суточное планирование потребности эксплуатируемого парка локомотивов на предъявляемые размеры движения и разработка регулировочных заданий по передислокации локомотивов на станции их потребности (обеспечение баланса);
- обеспечение содержания на решающих технических и сортировочных станциях неснижаемого норматива тяговых ресурсов (в целях уменьшения рисков отправления поездов по расписанию);
- автоматизированное планирование наряд – задания по заставке локомотивных бригад и регулировочных мероприятий по передислокации локомотивных бригад пассажиром по регулировке;
- организация работы локомотивного парка по техническим нормативам;
- организация труда и отдыха локомотивных бригад, согласно трудового соглашения;
- разработка нового интерактивного табло коллективного пользования, которое в автоматизированном режиме отображает в реальном времени поездное положение и функционирует параллельно с АРМами диспетчерского аппарата ЦУТР и ДЦУП по управлению тяговыми ресурсами на полигоне. Возможно, это относится к разделу ТКП.

В основу решения задач планирования эксплуатационной работы на полигоне заложен вариантный график движения с предоставлением «окон» по ремонту инфраструктуры в едином створе, который является организующей и технологической основой работы всех производственных подразделений железных дорог, участвующих в перевозочном процессе. Движение поездов строго по расписанию графика обеспечивается согласованной организацией и безусловным соблюдением технологического процесса работы станций, депо, тяговых подстанций, пунктов технического обслуживания и других подразделений, связанных с движением поездов.

На текущий момент в ИСУЖТ разработаны и сданы в эксплуатацию три крупных модуля интеллектуальной системы – Задания, Оперативное нормирование и Оперативное регулирование.

Модуль «Задания» является основным инструментом взаимодействия между ПТК ИСУЖТ и всеми пользователями интеллектуальной системы. Модуль позволяет выдать задания пользователям ПТК ИСУЖТ на выполнение шагов технологического про-

цесса, отследить состояние технологического процесса, согласовать и утвердить управленческое решение, предложенное интеллектуальной системой.

Модуль «Оперативное нормирование» позволяет с высокой точностью рассчитать потребность эксплуатируемого парка локомотивов на предъявляемые сменно-суточные размеры движения по выделенным участкам обращения локомотивов с разбивкой их по эксплуатационным депо приписки. *Данный расчет выполняется на основе «Методики оперативного нормирования парка локомотивов грузового движения (сменно-суточное планирование)», утвержденной 30 декабря 2012 года начальником Центральной дирекции управления движением филиала ОАО «РЖД» Ивановым П. А.*

В модуле «Оперативное нормирование» впервые разработана и реализована функция автоматизированного формирования и рассылки причастным оперативных приказов на содержание локомотивов по участкам и депо приписки. Перед тем как приказы автоматически отправляются на линию они проходят визуирование диспетчерским аппаратом и руководителями ЦУТР, ДЦУП.

Модуль «Оперативное регулирование» разработан для исключения случаев разбалансирования парка локомотивов, в границах выделенных участков тягового полигона (железных дорог Восточного полигона), без нарушения технологии их работы. Модуль автоматизировано производит расчет регулирования локомотивов по стыковым станциям железных дорог внутри участка обращения. Диспетчерскому аппарату ЦУТР остается только согласовать расчет модуля ИСУЖТ. После согласования формируется оперативный приказ, который автоматически отправляется на линию причастным оперативным работникам на исполнение. Данный модуль организует взаимодействие оперативных работников станций, локомотивных эксплуатационных и сервисных ремонтных депо, диспетчерского аппарата региональных дирекций управления движением, центра управления тяговыми ресурсами и других подразделений ОАО «РЖД», участвующих и обеспечивающих тягой перевозочный процесс.

По настоящему, интеллектуальной задачей является подвязка поездов к ниткам графика, локомотивов и локомотивных бригад к составам поездов с учетом их массы, технологических, технических и конструктивных критериев для решения задач оптимизации производственных процессов.

В модуле «Оперативное планирование» по подвязке поездов на нитки вариантного графика существуют следующие ограничения:

- полнота и достоверность исходных данных из АСОУП-2 о подходах поездов к станциям планирования;

- своевременная готовность отправления поездов своего формирования на выделенную нитку графика;
- подбор категории поезда под соответствующую нитку графика.

При заданных ограничениях планировщик:

- обеспечивает ритмичное продвижение запланированного поездопотока по расписанию графика в течение суток;
- планирует отправку локомотивов резервом по выделенным ниткам графика.

Результаты работы модуля представляются пользователю в виде объемной таблицы с учетом анализа перерабатывающей способности всех станций полигона.

На сегодня, инновационным подходом, реализованным в ИСУЖТ, является построение объемного сменно-суточного (многосуточного) плана подвязки поездов на нитки графика. Хочется отметить, что пользователь может видеть работу не только по конкретной станции, но и при желании на всем полигоне (на сменно-суточном и многосуточном горизонте), а так же порядок и ритм прибытия поездов на станцию назначения. Такой подход, на текущий момент, не применяется ни в одной автоматизированной системе, работающей в ОАО «РЖД».

Планирование отправления поездов на нитку графика не есть догма, что они действительно смогут отправиться в установленное время без подвязки к ним тяговых ресурсов.

При подвязке локомотивов под поезда планировщик производит:

Расчет дефицита/избытка локомотивов по станциям планирования;

- Планирование пересылки локомотивов резервом по регулировке;
- Расчет оптимальной подвязки локомотивов под поезда с учетом силы тяги и мощности, сроков периодичности ТО-2;
- Оптимизация подвязки локомотивов под поезда с истекающими сроками на ТО-2, ТР;
- При дефиците локомотивов под поезда своевременная подсылка высвободившихся локомотивов с ближайших станций.

После оптимизации расчета подвязки локомотивов под поезда в таблицу вносятся числовые значения почасовой потребности парка локомотивов под поезда по всем станциям планирования на суточном горизонте. Параллельно строится график оборота локомотивов в границах УОЛ. Где в плане подвязки пользователь может отследить планируемую работу локомотива (его оборот) на сменно-суточном и многосуточном горизонте. Кроме того, в модуле реализована функция, позволяющая пользователю выбрать различные варианты просмотра разработанного планировщиком про-

гнозного плана подвязки локомотивов под поезда и их оборот в различных вариациях: по типам поездов, по видам тяги, по тяговым плечам. Пользователь сам настраивает себе наилучшее для него отображение. Еще в модуле реализована разработка ведомости оборота локомотивов в границах УОЛ.

Самым сложным этапом работы интеллектуальной системы ПТК ИСУЖТ модуля «Планирование» является оптимальная подвязка локомотивных бригад под локомотивы и поезда с соблюдением всех критериев и трудового законодательства их работы. На данном этапе в стадии завершения дорабатываются алгоритмы оптимальной подвязки локомотивных бригад к составам поездов с учетом профессиональной деятельности, минимизации пересылки пассажирами (исключения случаев встречного следования пассажиром), а так же исключения случаев работы локомотивных бригад более установленной нормы, равномерной загрузки соседних депо без переработок. В случаях дефицита локомотивных бригад в депо – подсылка пассажирами из соседнего депо и исключение случаев переотдыха локомотивных бригад в пунктах оборота.

После результатов расчета оптимальной подвязки локомотивов под поезда с обеспечением отправления локомотивов резервом по регулировке по ниткам графика со станций избытка на станции дефицита, разрабатывается объемная таблица сменно-суточной потребности контингента локомотивных бригад по депо приписки (наряд-задание), с учетом соблюдения долевого участия и ритмичной загрузки ЛБ соседних депо. Сменно-суточный план (по 3-х часовым периодам) потребности ЛБ в сопряжении с модулем УТХ обеспечивает корректировку существующего пообъектного наряда под прогнозный план отправления поездов. В прогнозном сменно-суточном плане подвязки ЛБ под поезда, пользователь может отследить работу каждой локомотивной бригады, как по депо приписки, так и по категориям поездов.

Учитывая, что ИСУЖТ – это интеллектуальная система, обеспечивающая разработку, оценку и контроль качества разработанного плана поездной работы, в системе реализован алгоритм расчета основных показателей плана на сменно-суточном горизонте, такие как: маршрутная, участковая скорость грузовых поездов, производительность локомотива, среднесуточный пробег, время отдыха локомотивных бригад в пунктах оборота более 10, 11, 12 часов, и т.д. *Эти нормативные показатели в текущем времени (в течение суток) отображаются на ТКП, информируя пользователей, как выполняется план.*

Для анализа эксплуатационной работы в ИСУЖТ разработан модуль «Отчеты», где выведено более 25 отчетных форм ЦУТР ВП, что составляет около 90%

от всех отчетных форм. Первым отчетом, которым начали руководствоваться пользователи ЦУТР ВП, это отчеты 02-1 и 02-2 о планировании парка локомотивов и фактической его дислокации по выделенным участкам железных дорог и по депо приписки. Отчет формируется два раза в сутки на 18:00 и на 6:00 мск.

Хорошим подспорьем в управлении тяговыми ресурсами, в том числе по контролю поездной работой, на железных дорогах Восточного полигона является разработка мнемосхемы полигона на ТКП, где в режиме реального времени отображается текущее поездное положение по дислокации поездов, локомотивов, локомотивных бригад на участках, станциях полигона, проводимые профилактические и ремонтные работы на инфраструктуре. На ТКП выделена зона контроля выполнения плановых, сменно-суточных качественных показателей, разработанных модулями ПТК ИСУЖТ. Владение в реальном режиме времени поездной ситуацией полигона и выполнение принятых качественных показателей в текущем времени позволяет оперативным работникам ЦУТР ВП принимать превентивные решения по предупреждению конфликтных ситуаций.

Для оперативных работников ЦУТР, ДЦУП контуры мнемосхемы с едиными значениями по кругу и горизонту ведения вопросов отображаются в настольных АРМах ИСУЖТ, где пользователь может каждое цифровое значение детализировать и увидеть его историю состояния.

Сегодня планировщик тяговых ресурсов автоматически, с учетом всех критериев и ограничений, может подвязывать локомотивы и бригады к составам поездов для полигона в целом.

В заключение хочется отметить технологические эффекты внедрения ПТК ИСУЖТ на Восточном полигоне. А именно:

- консолидированная работа диспетчерского аппарата ЦУТР, ДЦУП по организации планирования ритмичного пропуска поездопотока на полигонах сети;
- повышается качество диспетчерского управления движением поездов за счет автоматизации процессов нормирования тяговых ресурсов на предъявленные размеры движения подвязки и снижения трудоемкости планирования оптимальной подвязки локомотивов и локомотивных бригад к поездам;
- снижается влияние человеческого фактора (опыт, психофизическое состояние) на управление движением поездов;
- реализуется поэтапный переход выполнения всеми участниками перевозочного процесса сменно-суточного плана в текущем исполнении.

Сегодня, мы уже прогнозируем, что дальнейшая разработка и внедрение всех компонентов ИСУЖТ позволит значительно повысить эксплуатационные показатели работы Восточного полигона при продолжающемся росте объемов перевозок, увеличить производительность локомотива, улучшить условия работы локомотивных бригад и обеспечить содержание инфраструктуры в исправном состоянии.

Согласно прогнозному плану внедрения к 2018 году доработанные и усовершенствованные модули ПТК ИСУЖТ должны распространиться на всю сеть ОАО «РЖД», что позволит в целом:

1. Увеличить объемы перевозок в рамках существующих пропускных способностей;
2. Осуществлять пропуск поездов с соблюдением сроков доставки на любые расстояния;
3. Выполнять ремонтно-путевые работы с оптимальными сроками и максимальными объемами;
4. Обеспечить оптимальную ритмичность продвижения поездопотока;
5. Сократить содержание эксплуатируемого парка локомотивов;
6. Оптимизировать контингент локомотивных бригад;
7. Существенно улучшить показатели работы технических станций;
8. Сократить эксплуатационные затраты.



Давыдов Б. И., ДВ ГУПС, г. Хабаровск

Стохастическое моделирование потока поездов при решении задач диспетчерского управления

1. Введение

Движение поездов на участке железнодорожной дороги подвержено внутренним и внешним возмущениям. Причиной внутренних (в границах участка) отклонений от графика являются технические, технологические отказы, а также неблагоприятные погодные условия. Внешние влияния приводят к задержкам поездов, прибывающих на участок, или к изменению их фактических пунктов входа на рассматриваемую часть сети.

График движения в условиях возникновения возмущений (сбоев) оперативно корректируется для максимально возможного исключения конфликтов между поездами и ликвидации больших задержек, накопленных некоторыми из них на предшествующей части маршрута. Под конфликтом понимается ситуация, когда две подвижных единицы стремятся одновременно использовать один или несколько элементов пути. Выбор рациональной корректировки графика основан на информации о реальной ситуации и прогнозе ее развития на ближайшую перспективу. Оперативное регулирование позволяет устранить возникшие отклонения в движении, а также реализовать профилактические мероприятия, которые снижают вероятность возникновения новых конфликтов.

Определение совокупности рациональных регулировок, направленных на ликвидацию отклонений от графика, рассматривают в одном из двух аспектов:

- как детерминированную задачу, когда откорректированный график определяется на основе фиксированного состояния инфраструктуры, точно известных координат поездов и имеется возможность его полной реализации;
- как стохастическую задачу, результат решения которой априори является приближенным (вероятностным) из-за недостаточности исходных данных, малого времени, отпускаемого на расчет, и несовершенства системы регулирования.

При расчете нового графика с помощью детерминированного алгоритма определяются точки, где возможно возникновение конфликтов. Чтобы избежать задержек, производится смещение линий хода по шкале времени или изменение скорости следования, по крайней мере, одного из поездов – иногда до полной

остановки. В случае появления значительных опозданий, используют другую эффективную регулировку – смену порядка следования поездов (обгон).

Детерминированный подход при поиске оптимальных регулировочных мер обладает двумя недостатками:

- в реальных условиях, когда поток отказов интенсивен, процесс оперативного перепланирования приходится производить, нередко, с интервалом в несколько минут;
- значительное число прогнозируемых актов взаимовлияния поездов определить расчетным путем не удастся, что обусловлено случайной природой отказов и других факторов, вызывающих рассеяние операционных интервалов.

Стохастическое прогнозирование при поиске оптимального графического решения предполагает возможность возникновения внезапных событий на участке в плановом периоде. В основе прогнозирования, помимо точной информации о текущей ситуации, лежит совокупность статистических характеристик отказов, полученная на основе анализа исторических данных. Результатами расчета являются распределения вероятностей моментов прибытия поездов в ключевые точки (в частности, на станции плановых остановок) или интервалов следования поездов. На этой основе определяются места конфликтов, их вероятностные характеристики, а также меры по предупреждению опозданий.

В настоящей работе излагается общий взгляд на проблему стохастического прогнозирования движения поездов в условиях возникновения отклонений от графика. Предлагается обобщенная вероятностная модель развития процесса на участке дороги, которая используется при обнаружении конфликтов между поездами и их устранении путем корректировки траекторий их движения. В разделе 4 описывается задача оптимального фрагментирования потока грузовых поездов. При определении границы между интенсивным и экономичным режимами следования поездов используются результаты вероятностного моделирования процесса размножения неграфических остановок. Приводятся результаты моделирования с использованием данных о реальном движении грузовых поездов, которые позволяют обоснованно установить граничный межпоездный интервал.

2. Обзор публикаций по проблеме моделирования движения поездов

Большинство опубликованных работ по проблеме оперативного перепланирования движения поездов при возникновении нарушений графика основано на детерминированных моделях функционирования участка дороги. Основными видами задач, которые решаются в процессе поиска оптимальных регулировок, являются задача обнаружения и разрешения конфликтов (CDR) и задача согласования скорости движения поездов (TSC) [1-3]. В этих задачах определяется наилучший порядок пропуска совокупности поездов при условии, что уже возникли отклонения их следования по графику или отказы инфраструктуры, приводящие к конфликтам.

Поскольку большинство работ исследует алгоритмы корректировки пассажирского движения на загруженных линиях, в качестве критерия при решении оптимизационных задач используют показатели пунктуальности – задержки поездов относительно графиковых точек прихода их на станции или платформы. Как правило, рассматривается суммарная величина опоздания по всем поездам в заданный период (чаще всего, в часовой период). Поиск перепланировочных графиковых решений, минимизирующих опоздания поездов, производится на основе дискретных моделей движения, применения методов целочисленного или частично-целочисленного линейного программирования.

Основным недостатком детерминированных моделей, используемых при поиске рациональных диспетчерских решений, является отсутствие учета риска возникновения случайных возмущений. Это приводит к исключению таких регулировок, которые позволяют наилучшим образом осуществлять профилактику возможных отклонений от графика и экономических потерь. Указанный недостаток в значительной степени компенсируется, если использовать стохастические модели. Прогнозирование процесса возникновения случайных задержек и их распространения по цепи поездов дает возможность назначить рациональные регулировки и смоделировать вероятные их последствия. В одной из первых работ, рассматривающих эту задачу, Muhlans [4] предложил аналитический метод для определения опозданий путем свертки распределений исходных (на входе участка) и вновь возникающих задержек. Анализ носит ограниченный характер, так как используется допущение о равномерном распределении вторичных задержек. В реальности это допущение не подтверждается.

На раннем этапе разработки методов адаптивного управления предложена статистическая (регрессионная) модель управления поездной работой

железнодорожного направления [5]. Формирование нормативно-статистической модели участка и станции осуществляется по алгоритмам, вытекающим из метода группового учета аргументов (МГУА). Этот метод основан на регрессионных моделях, построенных с использованием обучающих последовательностей для основных показателей: скорости движения, продолжительности обработки поездов на станциях и др. Дальнейшим развитием метода МГУА является ситуационно-эвристическое нормирование (СЭМН) [6, 7]. Нормами авторы метода СЭМН называют длительность выполнения операций – элементов графика движения или процесса обработки поездов. Целями моделирования служат (а) выявление затруднений при реализации плана поездной работы и (б) рациональная стыковка процессов на станции и на прилегающем участке.

Недостатком предложенного метода является сведение возникающих ситуаций к усредненным, не учитывающим уникального сочетания влияющих факторов при реализации каждого события. Это нередко приводит к ошибочным регулировочным решениям, а также к неверным выводам о качестве работы диспетчера. Кроме того, использование фактических данных, не подкрепленное содержательным анализом, может привести к консервированию проблем.

Модель формирования задержки при следовании пакета поездов по участку железной дороги с использованием вероятностного подхода, предложенная Carey, Kwiecinski [8], определяет полное время хода как сумму частных интервалов следования по элементам участка. Каждый из интервалов рассматривается как случайная величина, распределения условно принимаются экспоненциальным или равномерным. Производится численное моделирование процесса реализации движения пары поездов с малым межпоездным интервалом, в результате чего определяется математическое ожидание времени хода поезда, следующего сзади. На некоторых секциях замедление первого поезда приводит ко вторичной задержке второго, что приводит к опозданию последнего по прибытию на станцию. В указанной работе отсутствуют методики анализа накопления задержек по цепи поездов и определения функции распределения вероятностей межпоездного интервала на выходе участка.

К основным современным работам, развивающим вероятностный подход к анализу движения поездов с задержками, можно отнести [9-11]. В указанных статьях используют различные модели, описывающие частоту возникновения и продолжительность неграфиковых задержек. Производят аналитический расчет распределения вторичных задержек как композиции индивидуальных распределений. Наиболее часто в

моделях применяют экспоненциальное распределение времен хода в качестве вероятностной модели при наличии «внутренних» причин. Оптимизационная задача в анализируемых работах нацелена на поиск наиболее эффективного графика движения поездов долговременного действия на большой сети. Поэтому применить разработанные алгоритмы для решения диспетчерских задач локального управления не представляется возможным.

3. Обобщенная стохастическая модель движения поезда

Для определения вероятностного прогноза развития поезда ситуации необходимо иметь следующую информацию:

- параметры нормативного графика: минимальные времена хода по элементам пути, плановые моменты отправления поездов и станционные интервалы;
- прогнозируемое расписание реального отправления поездов со станций;
- статистический показатель состояния станций: средний ожидаемый интервал приема поездов (возможно, с разбивкой по часам);
- показатели фактического состояния инфраструктуры, в частности, установленные ограничения скорости, и статистический прогноз изменения ситуации из-за устранения ограничений – в виде соответствующих распределений.

Кроме того, должны быть известны статистические характеристики рассеяния времен хода на различных элементах участка и для поездов разного типа. Основным критерием качества пропуска смешанного потока является степень пунктуальности движения пассажирских и графиковых грузовых поездов.

Железнодорожным оператором пунктуальность рассматривается как качество относительное, а именно, как инструмент синхронизации выполнения операций с поездами. Синхронизация в условиях случайных отказов служит устранению конфликтов между поездами, а также между подвижным составом и сервисными структурами. При этом сохраняются заданная пропускная способность линии, количество перевозимых пассажиров и грузов.

Рассмотрим обобщенную модель движения поездов по участку железной дороги, в которой учитывается случайный характер технических, технологических отказов, времен хода и длительности плановых остановок. Предлагаемая модель является основой решения задачи поиска конфликтов и их устранения.

Стохастическая модель отражает процесс движения по участку на мезауровне [1]. При построении модели абстрагируются от детального описания дви-

жения поезда по блок-участкам. Движение поезда представляется как цепочка операций движения по укрупненным участкам и остановок на станциях или на перегонах. Этот процесс отражается графической структурой, показанной на рисунке 1. Плановые интервалы выполнения операций включают минимально допустимое время (для соответствующих операций t_0^x и t_0^{ocm}) и дополнительное (буферное) время (соответственно $t_{буф}^x$ и $t_{буф}^{ocm}$). При этом:

$$t^x = t_0^x + t_{буф}^x, \quad t^{ост} = t_0^{ocm} + t_{буф}^{ост}$$

Всегда должны соблюдаться требования безопасности: $t^x \geq t_0^x$, $t^{ост} \geq t_0^{ост}$.

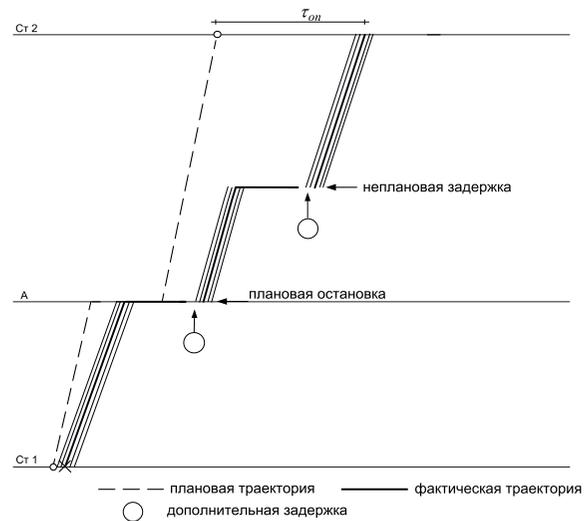


Рис. 1. Обобщенная стохастическая модель движения поезда

Если текущий межпоездный интервал снижается до величины, меньшей, чем t_0^x , появляется задержка заднего поезда, вызванная влиянием поезда-лидера. Дополнительные времена служат для компенсации части отклонений в движении поезда от графика. Интервал отправления поездов на участок включает минимально допустимое время (по условиям безопасности) и буферную добавку: $\tau^{отпр} = \tau_{без}^{отпр} + \tau_{буф}^{отпр}$.

На элементе пути в реальности наблюдаются времена хода, отличные от графиковых $t_{граф}^x$. Причиной служат ограничения по состоянию инфраструктуры, замедление поезда, следующего впереди, или своеобразный стиль работы машиниста. Отклонения в движении ведут к увеличению времени хода ($t_{граф}^x$) или к полной (кратковременной) остановке поезда на время $\tau_{факт}^{ост}$.

Траектория каждого k -го поезда может иметь как входные отклонения от графика (внешние – по отношению к рассматриваемому участку), так и внутренние задержки Δt_{ik} в границах данного участка. В границах сети могут возникнуть первичные и вторичные задержки. Причиной, вызывающими первичные задержки, являются отказы техники, технологические

сбои на станциях или ошибки машинистов. Вторичная задержка возникает, если поезд получает сигнал о занятости другим поездом блок-участков, которые лежат по ходу его следования.

Отклонения Δt_i операционных интервалов от нормативных значений, несмотря на различие причин их возникновения, вносят свой вклад в результирующее опоздание идентичным образом. Итоговое опоздание поезда τ^{on} по прибытию в контрольную точку является аддитивной величиной: $\tau^{on} = \sum \Delta t_p$, а рассеяние величины опоздания есть композиция из частных распределений.

Исследования показывают, что на участке протяженностью 100 километров режимы тяги изменяются, как минимум, двадцать раз. Значения скорости на каждом из элементов пути рассеяны относительно некоторого среднего (даже у однопутных поездов), что обусловлено как объективными факторами – сопротивлением движению, состоянием погоды и др., – так и индивидуальным стилем работы машиниста. Поэтому распределение вероятностей момента прибытия поезда в конечную точку участка формируется путем суммирования десятков независимых случайных величин. Основываясь на центральной предельной теореме, можно утверждать, что плотность распределения близка гауссовской. Соответственно, и рассеяние величины межпоездного интервала на выходе участка подчиняется нормальному закону.

Оценка параметров выходных распределений необходима при регулировании движения пассажирских поездов, так как она отражает пунктуальность движения. Показатель рассеяния интервалов прибытия грузовых поездов играет большую роль в определении тактики их обработки на узловых станциях, обеспечивающей наиболее рациональное использование станционной инфраструктуры, снижение эксплуатационных расходов.

В адаптивной системе управления обеспечиваются непрерывный контроль текущих координат каждого поезда и корректировка моментов проследования им ключевых точек траектории. Высокая эффективность тонкого регулирования достигается в случае, если при построении прогноза развития ситуации учитывается устойчивый (вероятностный) характер возникновения отклонений.

4. Задача оптимального фрагментирования потока поездов

Интенсивность потока грузовых поездов претерпевает значительные изменения от часа к часу. Причинами этому служат вариации потока грузов, особенности технологии работы железнодорожного оператора, а

также плановые и неплановые перерывы в движении. В периоды ослабления потока появляются дополнительные резервы времени, которые необходимо использовать для повышения эффективности работы участка. Когда же интенсивность потока возрастает, характер оперативного диспетчерского управления должен изменяться в сторону обеспечения пропуска максимально возможного числа поездов. Описанные режимы функционирования можно охарактеризовать, соответственно, как **экономичное** и **интенсивное** оперативное управление.

В грузовом движении, где локальная пунктуальность отступает на второй план, требуется использовать критерий, адекватный экономическим интересам компании-оператора. В качестве такого критерия целесообразно использовать затраты по пропуску, обработке поездов или часть прибыли, которая соотносится с продвижением грузопотока [12]. Основной выигрыш от рационального диспетчерского управления поездами в процессе движения получается при уменьшении числа неграфиковых остановок.

Задачей поездного диспетчера является принятие решения о том, в каком периоде должен быть реализован режим интенсивного, в каком – экономичного управления. Признаком, который служит границей между указанными периодами, является такое значение $\tau_{кр}$ межпоездного интервала, при котором вероятность возникновения неграфиковых задержек $P(\tau_{зад})$ не превышает заданного значения. Без нарушения общности, в качестве типовой задержки можно рассматривать кратковременную неграфиковую остановку. Определение указанного межпоездного интервала производится на основе статистики остановок и актов вступления поездов на участок, полученной в ранние периоды.

При формулировании задачи поиска величины $\tau_{кр}$ граничного интервала полагается, что все поезда физически одинаковы, то есть обладают идентичными динамическими характеристиками. Модель формирования вторичных задержек учитывает два источника случайных отклонений: рассеяние моментов отправления с исходной станции участка и случайную продолжительность неграфиковой остановки поезда-лидера. Это приближает исследуемую задачу к общей стохастической задаче, которая учитывает множество случайных величин, характеризующих движение по элементам участка (см. раздел 3). Такой подход более реалистичен по сравнению с методикой, описанной в работе [13].

Анализ показывает, что произойдет m вторичных задержек с вероятностью p , если выбрать средний интервал $\tau_{cp} = (T_{om} + \tau_{ces})$ отправления поездов на участок с начальной станции, удовлетворяющий следующему условию:

$$T_{om} \geq T(m, \lambda) + \frac{\lambda \sigma^2}{2},$$

где $\tau_{без}$ – минимальный безопасный межпоездной интервал;

$T(m, \lambda) = \frac{1}{m\lambda} \ln \frac{1}{p}$ – значение интервала T_{om} при отсутствии рассеяния моментов отправления;

λ и σ^2 – параметры распределений соответственно протяженности первичной остановки и интервалов отправления поездов.

Графики величины граничного интервала отправления $\tau_{без}$, разделяющего интенсивный и экономичный режимы, для типового значения $t_0 = 4$ мин (для грузовых поездов), приведены на рисунке 2. При таком интервале вероятность возникновения вторичных задержек на превышает $p = 0,05$.

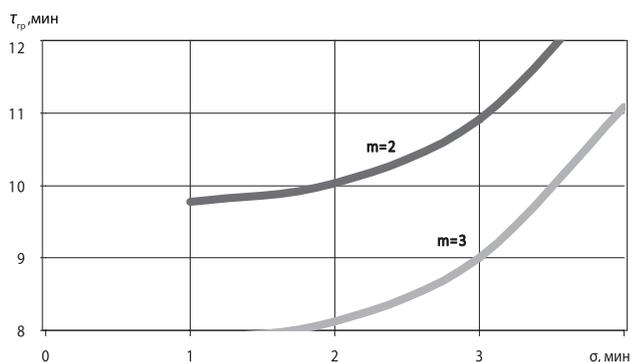


Рис.2. Зависимость минимальных интервалов отправления второго и третьего поездов пакета от показателя рассеяния при вероятности $p = 0,05$

Как видим, при увеличении рассеяния моментов выхода поездов с исходной станции необходимо увеличивать интервал отправления не менее, чем в 1,5 раза (до 12 мин.), чтобы минимизировать риск появления вторичных задержек.

Заключение

Предлагаемая обобщенная стохастическая модель позволяет спрогнозировать развитие поездной ситуации с максимально полным учетом информации, полученной в предшествующие периоды. Это повышает эффективность диспетчерских регулировок, в том числе, при разделении потока грузовых поездов на интенсивный и экономичный сегменты. В работе дана методика определения основного условия реализации экономичного режима – назначения межпоездного интервала, минимизирующего риск опозданий.

Литература

1. Hansen, I., and Pachl, J. (2008) Conclusions / Railway Timetable and Traffic. Analysis, Modelling, Simulation, Hamburg: Eurailpress, ISBN 978-3-7771-0371-6. – pp. 209-211
2. Cordeau, J., Toth, P., and Vigo, D. (1998) A survey of optimization models for train routing and scheduling / Transportation Science, 32(4). – pp. 380–404
3. Törnquist, J. (2005) Computer-based decision support for railway traffic scheduling and dispatching: A review of models and algorithms / Proceedings of ATMOS 2005, Palma de Mallorca, Spain, October 2005
4. Muhlhans, E. (1990) Berechnung der Verspätungsentwicklung bei Zugfahrten / Eisenbahntechnik Rundschau, 39 (7/8). – pp. 465–468.
5. Никифоров, Б. Д. Управление поездной работой на направлении / Б. Д. Никифоров, Е. М. Тишкин, В. М. Макаров, В. С. Климанов // Железнодорожный транспорт. – 1982. – №2. – С. 17-24
6. Тулупов, Л. П. Многофакторное оперативное нормирование времени выполнения технологических процессов / Л. П. Тулупов, Юйлиан Ян // Вестник ВНИИЖТ. – 1997. – №5. – С. 20-24
7. Шапкин, И. Н., Моделирование поездной работы на основе многофакторного нормирования технологических операций / И. Н. Шапкин, Р. А. Юсипов, Е. М. Кожанов // Вестник ВНИИЖТ. – 2006. – №4. – С. 30-36
8. Carey, M., and Kwiecinski, A. (1994) Stochastic approximation to the effects of headways on knock-on delays of trains / Transportation Research, Part B, 28 (4). – pp. 251-267
9. Vansteenwegen, P., and Van Oudheusden, D. (2007) Decreasing the passenger waiting time for an intercity rail network / Transportation Research, Part B: Methodological, Vol. 41, Issue 4. – pp. 478-492.
10. Ho, T. K. and He, Y. Q. (2008) Evaluation on service quality of railway timetable / In: Traffic and Transportation Studies: Proceedings of the 6-th International Conference on Traffic and Transportation Studies, Nanning, China.
11. Bueker, T., and Seybold, B. (2012) Stochastic modelling of delay propagation in large networks / Journal of Rail Transport Planning and Management, 2(12). – pp. 34-50.
12. Давыдов, Б. И. Экономически эффективное управление движением поездов / Б. И. Давыдов // Экономика железных дорог. – 2012. – №3. – С. 28-37
13. Давыдов, Б. И. Оптимальные режимы движения потока грузовых поездов / Б. И. Давыдов, В. И. Чеботарев // Транспорт: наука, техника, управление. – 2015. – №1. – С. 65-67

Осьминин А.Т., ОАО «ВНИИЖТ», г. Москва
Бадецкий А.П., ФГБОУ ВПО ПГУПС, г. Москва

Многоагентная система расчета адаптивного плана формирования поездов

Работа направлена на разработку теории и создание методических основ расчета адаптивного плана формирования поездов (АПФП) на основе многоагентных систем и вычислительных технологий, а также на автоматизацию процессов принятия решений оперативными работниками железных дорог в процессе управления поездо- и вагонопотоками и программную реализацию разработанных методов.

1. Введение

Общегосударственная транспортная политика многих развитых стран в настоящее время базируется на разработке и продвижении интеллектуальных транспортных систем (ИТС). Интеллектуальная транспортная система (ИТС, англ. *Intelligent transportation system*) — это интеллектуальная система, использующая инновационные разработки в моделировании транспортных систем и регулировании транспортных потоков, предоставляющая конечным потребителям большую информативность и безопасность, а также качественно повышающая уровень взаимодействия участников рынка железнодорожных грузовых перевозок по сравнению с обычными транспортными системами [1].

В России развитие ИТС на железнодорожном транспорте определено в Стратегии развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года.

Важной особенностью ИТС является формальный логико-математический инструментарий для решения задач с позиций общесистемного подхода к анализу и управлению всеми системами и процессами на железнодорожном транспорте. Целями создания железнодорожных ИТС являются снижение транспортных издержек в сфере экономики, бизнеса и услуг, интенсификация экономических и социальных процессов, снижение отрицательного влияния человеческого фактора на качество управления, увеличение привлекательности железнодорожного транспорта для грузовладельцев и пассажиров.

Организация перевозочного процесса на железнодорожном транспорте является сверхсложной задачей. ПФП, как основа перевозочного процесса, должен обеспечивать его эффективность, что в условиях динамично изменяющейся обстановки и рыночной экономики достаточно сложно сделать с учетом устаревше-

го подхода к его разработке – раз в год. Организация вагонопотоков должна быть адаптивной, способной приспосабливаться к быстро меняющимся условиям внешней среды [2]. С учетом сложности такой задачи использование классического, иерархического подхода к созданию программного обеспечения неприменимо. В современных условиях построение таких систем возможно лишь на базе многоагентного подхода.

Многоагентные системы (МАС) в настоящее время являются передовым и наиболее динамично развивающимся направлением в области искусственного интеллекта. Очевидными плюсами многоагентного подхода к построению сложных систем являются распараллеливание вычислений и распределенное решение задач, что повышает скорость функционирования по сравнению с обычными, «жестко» организованными системами. Кроме того, МАС способны функционировать в сложной среде, где высока неопределенность и случаются незапланированные события.

Многоагентная система расчета АПФП предназначена для повышения эффективности перевозочного процесса путем сокращения затрат на переработку вагонопотоков на сортировочных горках, снижения времени на накопление составов на сортировочных станциях, направления вагонопотоков по экономически эффективным ходам, ускорения продвижения грузовых отправок за счет сбалансированной загрузки сортировочных станций и узлов. Организация АПФП в отличие от существующего порядка позволит на основе интеллектуальных технологий обеспечить регулярную адаптацию плана формирования на основе анализа существующей поездной обстановки с учетом временно отставленных от движения поездов, ситуации с составообразованием на сортировочных станциях и прогноза зарождения груженых и порожних вагонопотоков на основе заявок грузоотправителей на перевозку грузов и порожних вагонов. При этом загрузка инфраструктуры рассматривается в динамическом аспекте с учетом хода реализации директивного плана производства ремонтно-строительных работ.

Многоагентная система расчета АПФП позволит обеспечить существенное повышение экономической эффективности организации вагонопотоков за счет создания неприменимого до сих пор функционала при планировании – «А что, если...?», с проведением

интерактивных расчетов экономической эффективности принятия того или иного решения на основе моделирования работы сортировочных станций и железнодорожных узлов.

При этом планируется автоматизация процесса доведения АПФП до сортировочных станций путем подготовки сортировочных листков на расформирование поездов без участия человека, повысить качество аналитической информации, разработать и внедрить новейшие графические формы представления и анализа информации о вагонопотоках в интерактивном режиме с учетом заявок грузоотправителей, вести расчет АПФП в увязке с построением вариантных энергооптимальных графиков движения поездов и техническим нормированием показателей эксплуатационной работы полигонов.

2. Выбор моделей и методов реализации адаптивного плана формирования поездов

2.1. Современное состояние вопроса организации вагонопотоков

В условиях глобальной экономики нового времени растет сложность принятия управленческих решений, что обуславливает необходимость применения новых методов, средств и подходов к решению задачи организации вагонопотоков.

Текущее состояние организации вагонопотоков и автоматизированных систем, обеспечивающих ее функционирование, характеризуется:

- 1) отсутствием достаточной информационно – аналитической поддержки по ряду процессов, связанных с подготовкой исходных материалов и оптимизацией исходных параметров организации вагонопотоков в поезда; разработкой межгосударственного плана формирования грузовых поездов; оформлением результатов разработки технологии организации вагонопотоков в поезда и оценкой ее эффективности; подготовкой и внесением изменений в организацию маршрутных перевозок, в том числе по запросам операторов подвижного состава; мониторингом функционирования и актуализацией технологии организации вагонопотоков в поезда;
- 2) необходимостью работы специалистов по ПФП с большим количеством отдельных прикладных программных средств, с использованием в ряде случаев промежуточных записей и вычислений в стандартных офисных программах;
- 3) изолированностью оптимизационных расчетов отдельных компонентов системы организации вагонопотоков как друг от друга, так и от средств доставки результатов разработки ПФП до исполнительских АСУ, а также от аналитики исполненной работы по организации вагонопотоков в поезда;
- 4) недостаточным развитием человеко-машинных методов решения задач организации вагонопотоков, позволяющих объединить моделирование и оптимизацию с вводом в расчет в сложных ситуациях неформализуемых знаний технологов.

При этом план формирования поездов:

- составляется на базе исполненных, а не плановых вагонопотоков;
- разрабатывается один раз в год и вводится одновременно с нормативным графиком движения поездов, в дальнейшем лишь корректируется по отдельным станциям формирования без должной взаимной увязки работы всех станций формирования;
- не упреждает колебания вагонопотоков, корректировки ПФП происходят «post factum»;
- не осуществляет расчет расстановки вагонов в составах с учетом потребностей грузополучателей и требований безопасности при возможном соединении двух грузовых поездов как действенной меры пропуска поездопотоков при ремонте инфраструктуры.

В рамках реализации проекта по созданию Единой интеллектуальной системы управления и автоматизации производственных процессов на железнодорожном транспорте (ИСУЖТ) разрабатываемые многоагентные системы идут по пути интеграции с уже существующими АСУ. Поэтому многоагентную систему для расчета АПФП целесообразно создавать на базе уже существующих систем. В настоящее время в ОАО «РЖД» эксплуатируется ряд автоматизированных систем, обеспечивающих организацию вагонопотоков в поезда и порядок их следования по направлениям. Анализ процессов обеспечения функционала специалистов по ПФП региональных дирекций показывает, что востребованы и используются специалистами следующие системы, входящие в АСОВ:

- Автоматизированная система расчета плана формирования поездов (АС РПФП), разработанная ПГУПС;
- Единая автоматизированная система плана формирования поездов (АРМ оперативной корректировки плана формирования) ЕАС ПФП (АРМ ОКПФ),
- Корпоративная база плана формирования (КБПФ) и малая энциклопедия ПФП, разработанные ГВЦ ОАО «РЖД»;
- СЕТЬ-3 Комплекс задач «Расчет экономически целесообразных направлений вагонопотоков на полигонах сети железных дорог» (ОАО «НИИАС»).

Порядок их использования и развития в рамках ИСУЖТ выходит за пределы данного доклада и подлежит отдельному изучению. Однако очевидно, что автоматизированная система, в рамках которой будет обеспечена реализация МАС, должна обеспечивать, прежде всего, целостность всего процесса расчета плана формирования – от подготовки исходных данных до выдачи готового решения [3].

2.2. Выбор типов агентов в МАС расчета адаптивного плана формирования поездов

Используемые в создаваемых в рамках ИСУЖТ МАС агенты, согласно классификации [4], приведенной в таблице 1, являются просто смыслеными (smart).

Таблица 1. Классификация агентов

Типы агентов \ Характеристики	Простые	Смысленные (smart)	Интеллектуальные (intelligent)	Действительно интеллектуальные (truly intelligent)
Автономное выполнение	+		+	+
Взаимодействие с другими агентами и/или пользователями	+	+	+	+
Слежение за окружением	+	+	+	+
Способность использования абстракций		+	+	+
Способность использования предметных знаний		+	+	
Способность адаптивного поведения для достижения целей			+	+
Обучение из окружения			+	+
Толерантность к ошибкам и/или неверным входным сигналам			+	
Real-time выполнение			+	
ER-взаимодействие			+	



Рис. 1. Области знаний и технологии, используемые интеллектуальными агентами

Это означает, что они способны решать задачи только во взаимодействии с другими агентами. Для решения задачи АПФП предлагается строить МАС на основе более сложных агентов – интеллектуальных и действительно интеллектуальных, поскольку целесоо-

бразное поведение появляется только на этом уровне. Кроме того, такие агенты могут использовать достаточно сложные знания об окружающей среде, партнерах (других агентах) и себе.

Области знаний и технологии, используемые интеллектуальными агентами, приведены на рисунке 1.

2.3. Выбор технологий реализации агентов

Для проектирования интеллектуальных агентов в МАС расчета адаптивного плана формирования предлагается использовать искусственные нейронные сети и нечеткие множества.

Искусственные нейронные сети (ИНС). В общем случае, нейронная сеть представляет собой машину, моделирующую способ обработки мозгом конкретной задачи. Особое сходство с человеческим мозгом ИНС придают еще и те свойства, что она не программируется в прямом смысле этого слова, а обучается по примерам. Искусственные нейронные сети являются универсальным аппроксиматором. ИНС обеспечивают множество полезных свойств для систем, важнейшими из которых являются:

1. Нелинейность;
2. Отображение входной информации в выходную;
3. Адаптивность;
4. Контекстная информация;
5. Масштабируемость;
6. Единообразии анализа и проектирования;

С точки зрения использования при расчете АПФП удобно использовать для прогноза всех видов – долгосрочного, среднесрочного, краткосрочного вагоно- и поездопотоков со сколь угодно точной детализацией – даже по 3-х часовым периодам. Прогнозировать можно с высокой точностью как изменение средних значений вагонопотока, так и фактический вагонопоток, что немаловажно для определения загрузки направлений или станций (в работе [5] прогноз, составленный с помощью нейронной сети, показал высокую точность – среднеквадратическая ошибка составила 0,065%, средняя абсолютная ошибка – 5,45%). Возможно прогнозирование вагоно- и поездопотоков отдельно по назначениям ПФП. Результаты прогноза можно использовать в качестве исходных данных для расчета АПФП. Кроме того, с помощью ИНС можно также прогнозировать моменты прибытия на станцию поездов с учетом влияющих на движение поездов факторов.

Нечеткие множества. Так же, как и нейронные сети, нечеткие множества являются универсальным аппроксиматором. Одним из главных их свойств является формализация и представление неопределенной, неполной информации или информации, выраженной в лингвистической форме, которой часто пользуются инженеры по ПФП.

Нечеткие множества при расчете АПФП могут использоваться следующим образом:

1. В качестве инструмента, который позволяет учитывать неравномерность вагонопотоков, связанных с ними расчетных нормативов. То есть производится замена средних значений нечеткими числами, учитывающими крайние значения нормативов, и расчет производится непосредственно с ними. Такой подход позволяет добиться следующих результатов: точнее учитывать загрузку направлений и станций, определять потребность в локомотивах и бригадах и графические размеры движения. В настоящее время неравномерность вагонопотоков учитывается путем умножения среднего значения вагонопотока на коэффициенты неравномерности, но таким образом получаются все равно средние значения. И если для маломощных назначений разброс не так велик и критичен, то для крупных назначений при среднем вагонопотоке в 400 вагонов разброс может достигать 250-300 вагонов в сутки. Как показали расчеты на имитационной модели, проведенные ОАО «ВНИИЖТ», для загруженных линий с интенсивным движением (загрузка более 0.8) «лишние» 2-3 состава даже одного назначения могут оказаться критическими. При использовании в расчете нечетких чисел такую ситуацию можно предвидеть и заранее выработать на этот случай управленческое решение, тогда как при расчете по средним вагонопотокам это невозможно.

2. Автоматизация процесса корректировки ПФП на основании опыта и эвристик экспертов и разработки на этой основе системы поддержки принятия решений [6] на основе нечеткой ассоциативной памяти (fuzzy associative memory, FAM). В процессе ее функционирования на основании числовых данных извлекаются знания о системе в виде правил (ассоциаций). При подаче на вход системы новых данных (или «образа») система сверяет его с запомненными, и выдает наиболее близкий к нему по сочетанию определенных признаков.

Суть проектирования такой системы состоит в следующем. На первом этапе на основании знаний и опыта эксперта определяется форма и количество лингвистических термов, описывающих входные и выходные переменные системы и устанавливается связь между ними на основе правил «ЕСЛИ-ТО».

Все правила работают параллельно. Чем больше сходство данных на входе с запомненным образом, тем больше сходство решения, которое должно приниматься в этом случае, с решением, сформулированным экспертом. К примеру, если рассматривать задачу корректировки только в случае спада или всплеска вагонопотока, то можно вывести правило вида: «ЕСЛИ вагонопоток выше порогового значения И динамика

колебаний вагонопотока положительная И продолжительность динамики высокая ТО выделить в отдельное назначение ПФП».

FAM аппроксимирует функцию, покрывая ее графом в виде пересекающихся нечетких «пятен» или эллипсоидальных правил (рис.2). При этом в процессе функционирования уточняется не только увеличение числа пятен, но и уменьшение их размера, что существенно улучшает качество аппроксимации (рис. 3).

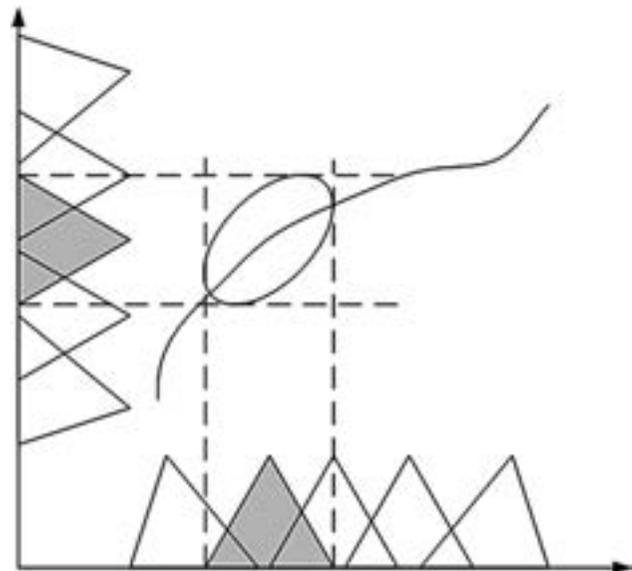


Рис. 2. Аппроксимация функции с помощью нечетких «пятен»

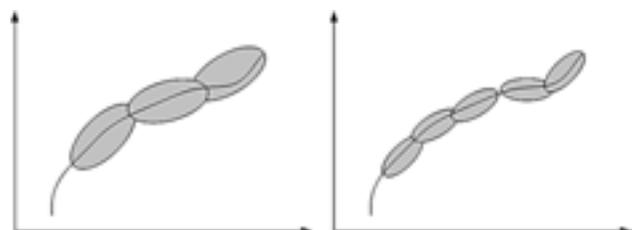


Рис. 3. Увеличение количества нечетких пятен в результате обучения

3. Заключение

Реализация МАС расчета адаптивного плана формирования поездов на основе предложенного подхода позволит существенно повысить качество эксплуатационной работы железных дорог и осуществить переход от аналитических систем по организации вагонопотоков к управляющим.

Литература:

- Гапанович В.А., Розенберг И.Н. Основные направления развития интеллектуального железнодорожного транспорта / Железнодорожный транспорт, №4, 2011. – С. 5-11.

2. Осьминин А.Т. Проблемы и пути их научного решения в вопросах эксплуатации железных дорог / Бюллетень Объединенного Ученого Совета ОАО «РЖД». – М.: ВНИИЖТ, 2015. – №4. – С. 41-54
3. Осьминин А.Т. О требованиях к эффективности автоматизированных систем организации вагонопотоков // Интеллектуальные технологии на транспорте: материалы IV международной научно-практической конференции «ИнтеллектТранс-2014» / под редакцией д-ра техн. наук, профессора А.А. Корниенко. – СПб.: ПГУПС, 2014 –С.331-334.
4. Гаврилов Т.А., Хорошевский В.Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. – СПб.: Питер, 2000. – 384 с.
5. Рыбин П.К., Ахмедов Р.Р., Бадецкий А.П., Медведь О.А. Использование искусственной нейронной сети в целях прогнозирования поступления вагонов в порт / Известия Петербургского университета путей сообщения. – СПб.: ПГУПС, 2015. – №1. – С. 57-64
6. Бадецкий А.П. Интеллектуальная система поддержки принятия решений о корректировке отдельных назначений плана формирования // Интеллектуальные технологии на транспорте: материалы III международной научно-практической конференции «ИнтеллектТранс-2013». СПб.: ПГУПС, 2013. – С. 195-200.



Архипов Д.И., Лазарев А.А., ИПУ им. В.А. Трапезникова РАН, г. Москва

Алгоритмы формирования составов и доставки грузов между железнодорожными станциями *

Введение

Данная работа является продолжением исследования, представленного в докладе (Архипов & Лазарев, 2014). Рассматривается задача планирования грузоперевозок между двумя железнодорожными станциями. Рассмотрены постановки задачи как с фиксированными, так и с неопределёнными моментами отправления поездов. В отличие от доклада, представленного ранее, в данной работе учитываются такие особенности как: различная скорость движения поездов, различное количество вагонов. Для двух станций рассматриваются следующие постановки задач.

Задача 1. Минимизация максимального взвешенного запаздывания (ВЗ) выполнения заказов для двух станций с фиксированными моментами отправления поездов

Имеются две станции, соединенные двухпутной железной дорогой. Необходимо выполнить множества заказов $N^1 = \{O_1^1, \dots, O_n^1\}$ и $N^2 = \{O_1^2, \dots, O_m^2\}$ на поставку грузов между станциями. Заказы множества N^1 необходимо доставить с первой станции на вторую, а заказы множества N^2 со второй на первую. Каждый заказ состоит из одного вагона. Так как железная дорога двухпутная, то расписания для каждого из направлений движения можно составлять отдельно, следовательно для решения задачи достаточно последовательно составить расписания для множеств N^1 и N^2 . Рассматриваемое множество заказов, без ограничения общности, обозначим через $N = \{O_1, \dots, O_n\}$. Для каждого заказа $O_j \in N$ определены следующие параметры: r_j – время поступления заказа O_j , на станцию отправления, $w_j > 0$ – ценность (вес, важность) заказа. Для каждого заказа определен директивный срок d_j – момент времени, до которого заказ желательно доставить на станцию назначения. Без ограничения общности будем считать, что заказы пронумерованы по возрастанию моментов поступления, $r_1 \leq r_2 \leq \dots \leq r_n$.

Доставка заказов с одной станции на другую осуществляется q поездами, состоящими из k_1, \dots, k_q вагонов, $k_1 + k_2 + \dots + k_q = n$, и отправляющимися в фиксированные моменты времени R_1, \dots, R_q . Не ограничивая общности, будем полагать что $R_1 < \dots < R_q$. Скорость движения поездов может быть различной. Расписанием π будем называть последовательность пар $\pi = \{(T_1, R_1), \dots, (T_q, R_q)\}$, где $T_i(\pi)$ – множество заказов, перевозимых поездом

$i, i = 1, \dots, q$, при расписании, а $R_i(\pi)$ – время отправления поезда i . Расписание π будем называть допустимым, если для любого поезда $i = 1, \dots, q$ и любого заказа $O_j \in T_i(\pi)$ выполнено $r_j \leq R_i(\pi)$, т.е. момент поступления заказа O_j на станцию отправления не превосходит момента отправления поезда, в который он включён. Множество всех допустимых расписаний обозначим через $\Pi(N)$. Таким образом, при формировании i -ого поезда можно рассматривать только множество заказов $N_i \subseteq N$, поступивших к моменту времени R_i .

Момент времени F_i прибытия поезда $i, i = 1, \dots, q$, на станцию назначения является фиксированным.

Поезд не может догнать или обогнать поезд, который отправился раньше него, т.е. для всех $i = 1, \dots, q-1$ и $l = 2, \dots, q$, таких, что $i < l$, будет выполнено неравенство:

$$F_i \leq F_l.$$

Пусть $C_j(\pi)$ – фактический момент времени доставки заказа $O_j \in N$ на станцию назначения при расписании π . Заметим, что $C_j(\pi)$ – момент прибытия заказа, а F_i – момент прибытия поезда на станцию назначения.

Запаздывание заказа O_j при расписании π может быть вычислено по формуле:

$$L_j(\pi) = C_j(\pi) - d_j.$$

Требуется найти расписание π с минимальным значением максимального взвешенного запаздывания (ВЗ):

$$\min_{\pi \in \Pi(N)} \max_{O_j \in N} w_j L_j(\pi).$$

Данную задачу можно обозначить следующим образом $RS2[r_j, R_i | wL_{max}]$, как это принято в теории расписаний. Сформулируем вспомогательную задачу для задачи 1.

Задача нахождения расписания с ограничением на максимальное ВЗ.

Пусть задано ограничение на ВЗ y . Расписание $\pi \in \Pi(N)$ будем называть разрешённым, если для него выполняется неравенство

$$\max_{O_j \in N} w_j L_j(\pi) < y.$$

Множество разрешённых расписаний для заданного ограничения y будем обозначать через $\Phi(N, y)$. Требуется построить расписание $\pi \in \Phi(N, y) \subseteq \Pi(N)$ или доказать, что $\Phi(N, y) = \emptyset$.

* Работа выполнена при поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (РФФИ): гранты № 13-01-12108, № 15-07-07489

Заметим, что заказ $O_j \in N$ не будет нарушать ограничение y тогда, когда он принадлежит составу T_i , $i = 1, \dots, q$, и выполнено неравенство

$$F_i < d_j + y / w_j,$$

т.е. момент прибытия поезда на станцию назначения меньше чем момент времени $d_j + y / w_j$. Если бы заказ O_j прибыл на станцию назначения в момент времени t , такой что

$$t \leq d_j + \frac{y}{w_j}, \text{ то ВЗ заказа } O_j \text{ было бы равно}$$

$$(t - d_j)w_j \geq \left(d_j + \frac{y}{w_j} - d_j\right)w_j = y.$$

Таким образом, ограничение на ВЗ было бы нарушено. Для решения данной задачи предложим следующий алгоритм.

Алгоритм 1.

На первом шаге для каждого требования $O_j \in N$ найдём поезд с наибольшим номером $T^{\max}(j, y)$, в который может быть включён данный заказ, не нарушив ограничения на ВЗ y :

$$T^{\max}(j, y) = \arg \max_{i=1, \dots, q} F_i \mid F_i < d_j + \frac{y}{w_j}.$$

Далее будем последовательно формировать множества (составы) $T_1(\pi(y)), T_2(\pi(y)), \dots, T_q(\pi(y))$ по следующему правилу. В состав $T_i(\pi(y))$, $i = 1, \dots, q$ могут быть включены только заказы из N_i , где $N_i \subseteq N$ – множество заказов, поступивших к моменту времени R_i . Множество $T_i(\pi(y))$, $i = 1, \dots, q$, состоит из k_i заказов $O_{i_1}(\pi(y)), \dots, O_{i_{k_i}}(\pi(y)) \in N_i \setminus \{T_{1(\rho i(y))}, \dots, T_{i-1}(\pi(y))\}$, для которых выполнено:

$$T^{\max}(i_1, y) \leq T^{\max}(i_2, y) \leq \dots \leq T^{\max}(i_{k_i}, y),$$

и для любого $O_j \in N_i \setminus \{T_1(\pi(y)), \dots, T_i(\pi(y))\}$ выполняется неравенство

$$T^{\max}(i_{k_i}, y) \leq T^{\max}(j, y).$$

Таким образом, в формируемый состав будут включено k_i заказов с наименьшими значениями $T^{\max}(j, y)$, не принадлежащие ранее сформированным составам.

В случае, если при формировании i -ого состава для некоторого заказа $O_j(\pi(y)) \in T_i(\pi(y))$ выполнено

$$T^{\max}(j, y) < i,$$

то заказ O_j нарушит ограничение на ВЗ. Следовательно, не существует расписания $\pi(y) \in \Phi(N, y)$, удовлетворяющего ограничению y , после чего алгоритм завершает работу.

Если при формировании поезда i , $i = 1, \dots, q$, количество заказов, поступивших до момента отправления, недостаточно, т.е.

$$|N_i \setminus \{T_1(\pi(y)), \dots, T_{i-1}(\pi(y))\}| < k_i,$$

то, из того, что $|T_1(\pi(y))| = k_1, |T_2(\pi(y))| = k_2, \dots, |T_{i-1}(\pi(y))| = k_{i-1}$, следует, что $|N_i| < k_1 + k_2 + \dots + k_i$, т.е. невозможно сформировать состав i .

Таким образом, допустимых расписаний не существует и $\Phi(N) = \emptyset$, а значит и $\Phi(N, y) = \emptyset$. В этом случае алгоритм завершает работу. Таким образом, алгоритм заканчивает работу, когда построено допустимое расписание, либо такого расписания невозможно построить.

Теорема 1.

Если в результате работы алгоритма 1 построено расписание $\pi(y) = \emptyset$, то расписаний, удовлетворяющих ограничению y для данного набора требований, не существует, т.е. $\Phi(N, y) = \emptyset$.

Если $\Phi(N, y) \neq \emptyset$, то в результате работы алгоритма 1 будет построено расписание $\pi(y) \in \Phi(N, y)$, удовлетворяющее неравенству $\max_{O_j \in N} w_j L_j(\pi) < y$.

Лемма 1.

Трудоёмкость алгоритма 1 решения вспомогательной задачи $RS2[r_i, R_j]wL_{\max} < y$ составляет $O(n \log n)$ операций, где n – количество заказов.

Алгоритм решения задачи минимизации ВЗ при фиксированных моментах отправления поездов.

Для нахождения оптимального расписания по критерию

$$\min_{\pi \in \Pi(N)} \max_{O_j \in N} w_j L_j(\pi)$$

будем действовать следующим образом.

Алгоритм 2.

На первом шаге с помощью алгоритма 1 построим расписание $\pi_1 = \pi(y_1)$ для значения ограничения $y_1 = +\infty$ и вычислим значение $wL_{\max}(\pi_1)$. Затем будем строить расписания $\pi_2 = \pi(y_2)$ для значения ограничения $y_2 = wL_{\max}(\pi_1)$. Последовательно строим расписания $\pi_3 = \pi(y_3), \dots, \pi_l = \pi(y_l)$, где $y_i = wL_{\max}(\pi_{i-1})$, $i = 3, \dots, l$, до тех пор, пока алгоритм 1 не завершится с результатом $\pi(wL_{\max}(\pi_l)) = \emptyset$. В этом случае работа алгоритма 2 завершается, результатом работы является расписание $\pi^*(N) = \pi_l$, построенное на предыдущем. Количество построенных расписаний π_1, \dots, π_l не превосходит $n(q-1)$.

Теорема 2.

Расписание, построенное в результате работы алгоритма 2 является оптимальным по критерию

$$\min_{\pi \in \Pi(N)} \max_{O_j \in N} w_j L_j(\pi)$$

Если для расписания $\pi^*(N)$ выполняется $\pi^*(N) = \emptyset$, то $\Pi(N) = \emptyset$, т.е. допустимого расписания не существует.

Лемма 2.

Трудоёмкость алгоритма 2 $O(qn^2 \log n)$ операций, где n – количество заказов, q – количество составов.

Для данной задачи предложен алгоритм нахождения оптимального расписания трудоёмкости $O(qn^2 \log n)$ операций, где q – количество поездов, а n – количество заказов. Данный алгоритм заключается в последовательном решении задач нахождения

расписания с ограничением на максимальное ВЗ для различных значений ограничения. Алгоритм позволяет строить расписание в полуавтоматическом режиме, когда часть заказов может быть распределена по составам вручную, а остальные заказы распределяются автоматически. Также имеется возможность для некоторых заказов указать *дидлайн* – момент времени до которого заказ обязательно должен быть доставлен на станцию назначения.

Задача 2. Минимизация максимального взвешенного запаздывания (ВЗ) и общего времени выполнения заказов для двух станций

Характеристики заказов задаются параметрами, аналогичными рассмотренным ранее. Доставка заказов с одной станции на другую осуществляется q поездами, состоящими из k_1, \dots, k_q вагонов, также предполагается, что $k_1 + k_2 + \dots + k_q = n$. Расписанием π будем называть последовательность пар

$\pi = \{(T_1(\pi), R_1(\pi)), \dots, (T_q(\pi), R_q(\pi))\}$, где $T_i(\pi)$ – множество заказов, перевозимых поездом i , $i = 1, \dots, q$, а $R_i(\pi)$ – время отправления поезда i при расписании π . Скорость движения поездов может быть различной. В случае, когда понятно о каком расписании идёт речь, моменты отправления и множество заказов, перевозимых поездом i , будем обозначать через R_i и T_i соответственно.

Обозначим через \hat{u} время, которое должно разделять моменты отправления двух поездов. Движение пассажирских поездов и электричек, плановые ремонтные работы, доступность локомотивов и другие ограничения учитываются с помощью множества *допустимых интервалов отправления* $U = \{[u_1^s, u_1^f], \dots, [u_v^s, u_v^f]\}$, где v – общее количество интервалов, когда может быть осуществлено отправление поезда. Расписание π будем называть *допустимым*, если момент отправления каждого поезда принадлежит одному из допустимых интервалов отправления, т.е. для любого $i = 1, \dots, q$ выполнено $R_i(\pi) \in U$.

Множество всех допустимых расписаний обозначим через $\Pi(N, U)$. Время прибытия i -ого поезда, $i = 1, \dots, q$, на станцию назначения может быть вычислено по формуле $F_i(\pi) = f_i(R_i(\pi))$, где $f_i(t)$ – монотонно неубывающая функция от времени t . При любом расписании π поезд не может догнать или обогнать поезд, который отправился раньше него, т.е. для всех $i = 1, \dots, q-1$ и $l = 2, \dots, q$, таких, что $i < l$, будет выполнено неравенство:

$$f_i(R_i(\pi)) < f_l(R_l(\pi)).$$

Пусть $C_j(\pi)$ – момент времени доставки заказа $O_j \in N$ на станцию назначения при расписании π . Запаздывания заказа O_j при расписании π может быть вычислено по формуле: $L_j(\pi) = C_j(\pi) - d_j$.

Требуется найти расписание π с минимальным значением максимального взвешенного запаздывания (ВЗ):

$$\min_{\pi \in \Pi(N, U)} \max_{O_j \in N} w_j L_j(\pi).$$

Так как количество допустимых расписаний, при данной целевой функции может быть больше одного, выберем такое расписание, при котором время доставки всех заказов минимально. Пусть

$$y^* = \min_{\pi \in \Pi(N, U)} \max_{O_j \in N} w_j L_j(\pi).$$

Таким образом, требуется построить расписание оптимальное по критерию:

$$\min_{\pi \in \Pi(N, U)} \max_{O_j \in N} C_j(\pi) \mid \min_{\pi \in \Pi(N, U)} \max_{O_j \in N} w_j L_j(\pi) = y^*.$$

В терминах теории расписаний данную задачу можно обозначить как $RS2|r_j|C_{max}, wL_{max}$. Для данной задачи разработан алгоритм трудоёмкости $O(n^2 \max\{n \log n, q \log v\})$ операций, где q – количество поездов, n – количество заказов, а v – количество временных окон в которые возможно отправление поездов. Алгоритм позволяет построить Парето множество расписаний, оптимальных по критериям C_{max} и wL_{max} . Мощность построенного Парето множества не превышает n^2 , где n – количество заказов.

Направление дальнейших исследований

Разработаны подходы по решению задач минимизации максимального ВЗ заказов для нескольких станций, имеющих топологию «цепочка». В дальнейшем планируется добавить эти подходы в модель и рассмотреть другие топологии расположения станций («звезда», «дерево»), а также проверить работу алгоритма на реальных данных РЖД.

Литература

1. А.А.Лазарев. (2008). *Теория расписаний. Оценка абсолютной погрешности и схема приближённого решения задач теории расписаний*. Москва: МФТИ.
2. Архипов, Д. И., & Лазарев, А. А. (2014). Минимизация максимального взвешенного временного смещения для заказов на доставку грузов между двумя станциями в условиях ограниченного движения составов. *Труды 3-й научно-технической конференции с Международным участием «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте – ИСУЖТ-2014»* (стр. 7-10). Москва: ОАО «НИИАС».
3. Лазарев, А. А., Архипов, Д. И., & Карпов, И. В. (2010). Polynomially Solvable Case of the NP-Hard Problem $1|r_j|L_{\max}$. *International Conference on Project Management and Scheduling*, (стр. 289-293). Tours.
4. Лазарев, А. А., Архипов, Д. И., & Мусатова, Е. Г. (2012). Задача минимизации максимального взвешенного временного смещения выполнения заказа для двух станций. *Труды и пленарные доклады участников конференции УКИ'12* (стр. 1962-1967). Москва: ИПУ РАН.

Феофилов А.Н., ОАО «НИИАС», г. Москва

Интеллектуальное управление парком вагонов оператора подвижного состава

В результате реформирования в составе железнодорожного комплекса появился новый участник перевозочного процесса – это оператор железнодорожного подвижного состава. В этой связи в докладе сформулирован научный подход к повышению эффективности системы оперативного управления грузовыми перевозками оператора в результате реализации методов оптимального и интеллектуального управления перевозками.

В настоящее время на рынке железнодорожных транспортных услуг России функционируют около 2000 компаний-операторов, которые в зависимости от размеров вагонных парков и вида деятельности целесообразно разделить на мелких, средних и сетевых универсальных операторов (см. рис. 1) [1].



Рис. 1. Классификация операторов железнодорожного подвижного состава

В зависимости от градации операторы используют для управления различные технологические методы, но в результате анализа установлен общий принцип управления операторов – они управляют грузовыми перевозками в соответствии с определенной целью в зависимости от входного грузопотока. В качестве цели оперативного управления оператора обычно служит производственная цель управления по объёмным показателям суточной работы – погрузка, выгрузка и передача вагонов.

Рассмотрим далее в качестве объекта информатизации типичную среднюю компанию-оператор (далее – Компания). Организационную структуру Компании представим в виде двухуровневой вертикали,

состоящей из Центрального офиса и нескольких региональных филиалов, функционирующих на полигонах, включающих одну или более железной дороги.

В докладе предполагается сформулировать процесс поэтапного совершенствования существующей системы управления грузовыми перевозками Компании на основе формализации её производственной деятельности путем математического моделирования.

На первом этапе формализации существующей системы управления необходимо сформулировать научную концепцию рационального управления грузовыми перевозками оператора на основе анализа качества функционирования Компании.

На втором этапе оптимизации процесса управления, который выполняется в настоящее время, системе рационального управления перевозками требуется преобразовать в более эффективную систему оптимального управления по экономическому критерию.

В перспективе на третьем этапе полученную систему оптимального управления перевозками можно будет преобразовать в интеллектуальную систему, основанную на знаниях, методами разработки систем искусственного интеллекта.

Качество функционирования операторов вагонов можно оценить по показателям качества работы, определяющих уровень эксплуатационных расходов, и по показателям качества продукции, определяющих степень удовлетворения потребности пользователей в перевозках [2].

Назовем управление перевозками рациональным, имеющим осознанную цель, или интуитивным – с неосознанной целью. Чтобы организовать рациональное управление грузовыми перевозками Компании требуется задать цель управления, которая определяет способ достижения заданной цели или модель рационального управления. Для достижения заданной цели модель рационального управления перевозками должна работать по принципу целенаправленного управления, а для повышения качества обслуживания клиентов модель должна адаптироваться к условиям окружающей среды.

Деятельность Компании преследует множество целей, в том числе производственную, экономическую и др. Выбор цели управления играет ключевую роль для достижения конечного результата с определенным качеством.

Тактической и оперативной целью деятельности Компании, как акционерного общества, является экономическая цель, которая определяется получением максимальной прибыли от выполнения перевозок грузов при удовлетворении всех договорных условий по обслуживанию пользователей. На рис. 2 представлена иерархическая структура указанной цели, полученная путём разложения исходной экономической цели методом построения «дерева» целей. Соответственно выбор экономической цели управления перевозками определяет модель экономического управления, позволяющую повысить качество работы Компании.



Рис. 2. Дерево экономических целей деятельности оператора подвижного состава

Самой важной проблемой оператора подвижного состава в долгосрочной перспективе является сохранение устойчивого положения на рынке транспортных услуг. Для её решения требуется в качестве стратегической цели Компании выбрать повышение своей доли и конкурентоспособности на рынке железнодорожных перевозок. Соответственно для этого необходимо повысить качество транспортного обслуживания клиентов (или качество продукции Компании), которое обеспечивает рост спроса на транспортные услуги и тем самым способствует увеличению доходов Компании.

Транспортная услуга обеспечения грузовой отправки должна реализовать оперативное предложение порожних вагонов под перевозку заявленного груза с выполнением следующих требований по:

1. качеству – вагон должен соответствовать грузу по всем предъявляемым требованиям;
2. количеству – предоставление вагонов в необходимом количестве;
3. расходам – доставка с минимальными расходами;
4. времени – груз должен быть доставлен в нужное время;
5. месту – груз должен быть доставлен в нужное место;
6. получателю – груз должен быть доставлен нужному получателю.

Цели Компании будут достигнуты, если будут выполнены перечисленные выше требования, то есть порожние вагоны под каждую заявку на перевозку груза должны быть предоставлены в нужном количестве и необходимого качества, а отправка должна быть доставлена с минимальными расходами нужному потребителю в нужное время и в нужное место.

Таким образом, модель рационального управления грузовыми перевозками оператора вагонов должна содержать базовые принципы целенаправленного управления перевозками и адаптации к условиям окружающей среды, применение которых позволит повысить качество работы и качество продукции Компании.

Рациональное управление работой Компании представляет собой непрерывный цикл выполнения сквозных функциональных процессов учёта, планирования, регулирования и анализа исполненной работы. На этапе планирования разрабатываются долгосрочные, среднесрочные и оперативные планы работы, в результате которого формируется цепь годовых, ежемесячных и ежесуточных планов деятельности Компании, обеспечивающих выполнение заданных стратегических, тактических и оперативных целей в соответствующие отчетные периоды.

Последствия принимаемых решений должны оцениваться с позиций их влияния на доходы и эксплуатационные расходы Компании. В этой связи возникает проблема поиска эксплуатационных показателей, наиболее точно отражающих связь с основными экономическими показателями работы Компании.

Главными показателями работы Компании являются экономические показатели – доходы, расходы и прибыль Компании за отчетные периоды (сутки, месяц). Эффективность планирования перевозок в основном определяется коэффициентом порожнего пробега вагонов. При регулировании перевозок экономические показатели работы Компании определяются эксплуатационными показателями погрузки, выгрузки, размерами рабочего парка и передачи вагонов [3].

В зависимости от потребности в погрузочных ресурсах в планируемый период используются различные методы управления перевозками. В условиях дефицита вагонов главное внимание при управлении перевозками следует уделять решению проблемы повышения эффективности грузовых перевозок и рационального использования наличного парка вагонов.

В условиях профицита вагонов необходимо также разработать план мероприятий по поэтапному сокращению расходов на отстой вагонов и далее планомерно его выполнять. В любом случае главная задача оператора вагонов заключается в постоянном повышении эффективности управления перевозками с тем, чтобы в среднесрочной перспективе выйти на

качественно новый уровень получения прибыли от перевозок Компании.

Для обеспечения выполнения заданных целей система рационального управления грузовыми перевозками должна содержать следующие функциональные подсистемы:

- учёта грузовых перевозок;
- планирования грузовых перевозок;
- регулирования грузовых перевозок;
- анализа выполнения грузовых перевозок.

В настоящее время в ОАО «РЖД» функционирует информационная вертикаль в составе ГВЦ – ИВЦ железных дорог и АСУ станций, которая ведет автоматический учёт перевозочного процесса на линейном, дорожном и сетевом уровнях управления. На базе информации этой вертикали можно реализовать автоматический оперативный учёт и анализ выполнения грузовых перевозок оператора вагонов.

Важнейшими частями системы оперативного управления перевозками являются подсистемы оперативного планирования и регулирования перевозок Компании, которые функционируют на суточном временном горизонте. Оперативное планирование перевозок выполняется в Департаменте управления перевозками на двух взаимосвязанных уровнях детализации.

На первом уровне в Центральном офисе отдел планирования перевозок (ОПП) во взаимодействии с центральным диспетчерским отделом (ЦДО) Департамента управления перевозками выполняет общее оперативное планирование перевозок путём разработки количественных планов погрузки, выгрузки филиалов и оперативного плана-задания (ОПЗ) на передислокацию порожних вагонопотоков между филиалами.

Соответственно на втором уровне планирования ЦДО во взаимодействии с региональными диспетчерскими отделами (РДО) филиалов осуществляет детальное планирование работы филиалов путем формирования пономерных реестров на отправление порожних вагонов, планов подач, погрузки и выгрузки вагонов.

Оперативное регулирование перевозок представляет собой исполнение перечисленных оперативных планов, которое выполняет ЦДО совместно с оперативным персоналом филиалов во взаимодействии с причастными подразделениями ОАО «РЖД». При этом необходимо учитывать неритмичность процесса перевозок, определяемую факторами внешней среды и факторами, зависящими от ОАО РЖД».

Среди факторов внешней среды можно выделить неравномерность поступления грузов, изменение требований грузовладельцев по составу и качеству транспортных услуг и др. К факторам, зависящим от ОАО

РЖД» относятся режимы работы предприятий, перепростой поездов и вагонов на грузовых и технических станциях и др.

Чтобы в процессе оперативного регулирования повысить качество управляющих воздействий требуется создать оперативный резерв порожних вагонов в филиалах Компании, который уменьшает влияние случайной составляющей при реализации управляющих решений [4].

Поскольку система оптимального управления перевозками Компании создается на базе действующей системы рационального управления, то для её создания необходимо оптимизировать только подсистемы оперативного планирования и регулирования перевозок.

Для оптимизации управления перевозками требуется наличие экономически и технологически обоснованного критерия эффективности, который необходимо выбрать исходя из целей деятельности Компании. Это вектор оперативного управления, который указывает лицу, принимающему решение, правильное направление для развития управляемого процесса в любой производственной ситуации. Для однозначной оценки выбранного критерия требуется также найти соответствующие измерители работы, по которым определяется данный критерий.

В докладе [5] было математически обосновано, что оперативное планирование грузовых перевозок по критерию минимизации общего порожнего пробега вагонов и регулирование по критерию минимизации общих затрат вагоно-часов позволяет оперативному персоналу операторов вагонов, как минимизировать эксплуатационные расходы, так и максимизировать прибыль от грузовых перевозок. Классификация критериев эффективности для оперативного управления грузовыми перевозками представлена на рис. 3.

Из всего комплекса стратегических, тактических и оперативных задач управления перевозками и соответствующих им оптимизационных моделей целесообразно выделить два класса: глобальные (сетевые) и локальные (региональные) задачи. Глобальные задачи включают в себя модели, описывающие взаимодействие региональных филиалов в процессе перевозок. Локальные задачи моделируют работу региональных филиалов [6].

При оптимизации управления перевозками необходимо рассматривать многоуровневый комплекс взаимосвязанных оптимизационных задач. В результате первичной оптимизации в Центральном офисе Компании определяется оптимальный план перевозок, характеризуемый наилучшим значением критерия эффективности, который, как правило, не может быть реализован из-за существующих изменений, произошедших в период реализации плана. План подверга-

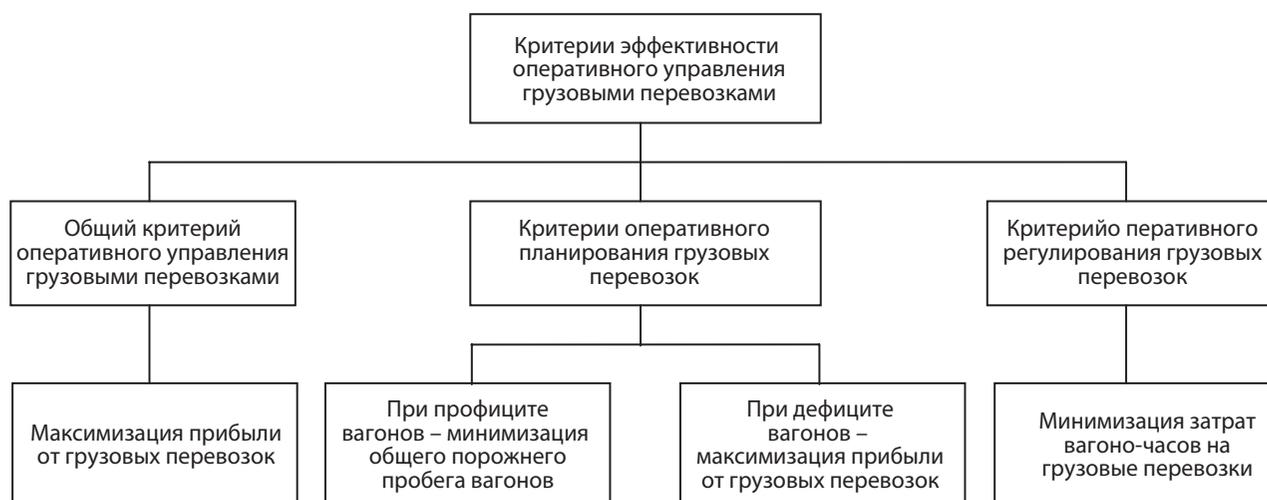


Рис. 3. Классификация критериев эффективности для оперативного управления грузовыми перевозками

ется уточнению и корректировке на этапе регулирования в филиалах. В этом случае эффективные решения могут быть найдены за счёт использования оперативного резерва порожних вагонов.

Опираясь на исследования в области искусственного интеллекта, сформулируем принципы функционирования интеллектуальной системы оперативного управления грузовыми перевозками (ИСУП) оператора вагонов [7].

ИСУП должна функционировать на основе выполнения следующих принципов:

- 1) целенаправленного управления перевозками в любых производственных ситуациях;
- 2) адаптации системы при изменении условий окружающей среды;
- 3) оптимального планирования перевозок по экономическому критерию;
- 4) формирования базы знаний о взаимодействии окружающей среды и ИСУП на основе самообучения;
- 5) применения полученных знаний для принятия решения и организации его исполнения в изменяющихся условиях окружающей среды.

Принципы 1-2 представляют собой базовые принципы рационального управления перевозками, а принцип 3 – оптимального управления. Отличие интеллектуальной системы управления от рациональной и оптимальной заключается в том, что в этих системах рациональное и оптимальное управление реализуется оперативным персоналом, а в ИСУП эти принципы реализуются интеллектуальной программой управления на основе базы знаний ИСУП.

В зависимости от состояния окружающей среды и состояния оператора вагонов на рынке транспортных услуг возникают различные производственные ситу-

ации, требующие от оператора выполнения определенных действий. Определим ИСУП как систему целенаправленного управления грузовыми перевозками в любой производственной ситуации, которая может адекватно приспосабливаться к изменяющимся условиям окружающей среды на основе базы знаний по управлению парком вагонов.

Под базой знаний (БЗ) ИСУП будем понимать модель управления грузовыми перевозками, отражающую варианты технологии управления грузовыми перевозками в нормативных условиях и целенаправленные стратегии управления перевозками в нестандартных условиях.

БЗ ИСУП должна содержать правила постановки, которые представляют собой утверждения типа: «Если имеет место определенная производственная ситуация, то необходимо выполнить заданное действие». Если решения значительной части производственных ситуаций будут описаны в виде аналогичных правил, то исходная производственная задача превращается в алгоритмическую задачу поиска решения, то есть будет решена.

Поскольку ИСУП создается на базе действующей системы оптимального управления перевозками оператора вагонов, то ранее полученные знания в процессе работы диспетчеров могут быть формализованы и отражены в БЗ ИСУП в виде моделей представления знаний и процедур решения задач в нормативном режиме [8].

По составу подсистем ИСУП представляет собой модернизированный вариант существующих систем рационального и оптимального управления перевозками операторов вагонов с расширенным составом функций. Подсистемы учёта и анализа грузовых перевозок были созданы ещё на этапе создания системы

рационального управления, а подсистема планирования – на этапе системы оптимального управления. Таким образом, при наличии действующей системы оптимального управления оператора для создания интеллектуальной системы в основном требуется разработать только подсистему регулирования ИСУП.

Подсистема регулирования ИСУП обеспечивает выполнение плана перевозок по критерию минимизации эксплуатационных расходов и может работать в нормативном режиме, либо в режиме ситуационного управления (см. рис. 4).



Рис. 4. Режимы работы подсистемы регулирования ИСУП

При нормативной работе подсистема должна самостоятельно справляться с текущими проблемами, а диспетчер должен только контролировать её работу.

В случае возникновения нестандартной ситуации, требующей вмешательства диспетчера, подсистема переходит на режим ситуационного управления, при котором выполняет анализ ситуации, производит поиск плана работы в соответствии с поставленными целями и затем выводит эту информацию диспетчеру. Диспетчер может либо принять этот план к исполнению, либо задать свой вариант плана и выполнить его. В случае удачного решения проблемы, система запоминает указанную производственную ситуацию и выполненное действие в виде нового правила постановки и сохраняет его в БЗ ИСУП.

В начале эксплуатации БЗ ИСУП будет заполнена моделями представления знаний и процедур решения задач в нормативном режиме. Затем в процессе решения текущих проблем диспетчером в режиме ситуационного управления в БЗ ИСУП будут накапливаться новые правила постановки и, в перспективе, в

оперативном режиме диспетчер будет только контролировать работу интеллектуальной системы. Таким образом, реализуется интеллектуальный принцип формирования базы знаний на основе самообучения и принцип применения полученных знаний для принятия решения и организации его исполнения.

Выводы

В докладе предлагается научная концепция рационального управления перевозками оператора подвижного состава, включающая эффективные принципы целенаправленного управления и адаптации к условиям окружающей среды, совместное применение которых позволит повысить как качество работы, так и качество продукции оператора вагонов.

Для дальнейшего совершенствования системы управления необходимо перейти от модели рационального управления перевозками оператора к более эффективной модели оптимального оперативного управления по экономическим критериям. В докладе установлено, что оперативное планирование грузовых перевозок по критерию минимизации общего порожнего пробега вагонов и регулирование по критерию минимизации общих затрат вагоно-часов позволяет оперативному персоналу операторов вагонов, как минимизировать эксплуатационные расходы, так и максимизировать прибыль от грузовых перевозок.

В конечном итоге цепь модернизаций системы управления оператора подвижного состава должна привести к интеллектуальной системе оперативного управления перевозками, содержащей как традиционную модель управления на основе обработки баз данных об оперативной ситуации на филиалах и Компании в целом, так и принципиально новую модель принятия решений на основе использования базы знаний, отражающую различные технологии управления в нормативных производственных условиях и целенаправленные стратегии управления в нестандартных ситуациях.

Литература

1. Бородин А.Ф., Прилепин Е.В. Основные положения новой системы организации перевозок // Железнодорожный транспорт. – 2009. – № 11. – С.40-49.
2. Хусаинов Ф.И. О некоторых методологических проблемах оценки работы железнодорожного транспорта // Бюллетень транспортной информации. – 2013. – № 3. – С. 22-31.
3. Феофилов А.Н. О бизнес-модели управления грузовыми перевозками // Железнодорожный транспорт. – 2012. – № 9. – С. 16-19.
4. Бодюл В.И., Феофилов А.Н. Концепция организации эффективного управления парками частных вагонов. Труды ОАО «НИИАС». Выпуск 10. – М.: ООО «Издательский дом «Технологии», 2014. – С. 78 – 86.

5. Феофилов А.Н. Универсальные критерии эффективности для интеллектуальной системы управления грузовыми перевозками / «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте» (ИСУЖТ-2013): Вторая научно-техническая конференция (21-22 октября 2013 г., Москва, Россия). ОАО «НИИАС», 2013. – С. 69-73.
6. Феофилов А.Н. Оптимизация оперативного регулирования порожних вагонов компании-оператора по экономическому критерию с учетом их годности под погрузку // Вестник ВНИИЖТ. – 2012. – № 1. – С. 43-46.
7. Феофилов А.Н. Концепция интеллектуальной системы оперативного управления парком грузовых вагонов / «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование» (ИСУЖТ-2014): Третья научно-техническая конференция с международным участием (18 ноября 2014 г., Москва, Россия). ОАО «НИИАС», 2014 г. – С. 62 – 64.
8. Болотова Л.С. Системы искусственного интеллекта: модели и технологии, основанные на знаниях: / ФГБОУ ВПО РГУИТП; ФГАУ ГНИИ ИТТ «Информатика». – М.: Финансы и статистика, 2012. – 664 с.



Бодюл В.И., Феофилов А.Н., ОАО «НИИАС», г. Москва

Процессная модель сменно-суточного планирования работы оператора подвижного состава

1. Общее описание задачи

Операторы железнодорожного подвижного состава и перевозчик ОАО «РЖД» являются основными участниками перевозочного процесса. Поэтому эффективность работы железнодорожного транспорта в целом в значительной степени определяется эффективностью принятия решений по управлению парком частных вагонов. В докладе будет сформулирован технологический подход к повышению эффективности системы управления вагонным парком оператора вагонов путём поэтапного применения процессного метода к управлению производственной деятельностью и внедрения сменно-суточного планирования грузовых перевозок оператора.

В настоящее время в большинстве компаний-операторов действуют системы суточного планирования перевозок. В этой связи замена существующей системы суточного планирования на более эффективную систему сменно-суточного планирования (далее – ССП) позволит повысить прибыль и рентабельность работы оператора.

Указанную модификацию информационной технологии управления оператором вагонов можно осуществить за два этапа. В качестве объекта информатизации рассмотрим среднюю операторскую компанию (далее – Компанию), осуществляющую перевозки грузов на сети РЖД. Компания имеет на сети несколько

региональных филиалов, в одном из которых расположен Центральный офис (ЦО). ЦО является верхним уровнем управления деятельностью Компании, а филиалы – нижним. Управление перевозками выполняет Департамент управления перевозками (ДУП) совместно с Департаментами продаж (ДП) и вагонного хозяйства (ДВХ) во взаимодействии с причастными подразделениями ОАО «РЖД».

На первом этапе модификации управление производственной деятельностью рассматриваемой Компании должно быть формализовано по методологии системы ARIS (*Architecture of Integrated Information Systems – Архитектура интегрированных информационных систем*).

На втором этапе требуется внедрить в работу причастных отделов Центрального офиса и филиалов Компании технологию сменно-суточного планирования, обеспечивающую эффективное оперативное управление процессом перевозок на конкретном полигоне с определенным видом подвижного состава.

2. Операционный цикл выполнения бизнес-процессов Компании

Оператор вагонов является процессно-ориентированной Компанией, если он управляет своей деятельностью и ресурсами как процессом. Процессный подход к организации управления появился не более 20 лет назад и представляет собой относительно новое

направление повышения эффективности деятельности организаций.

Процессный подход к организации управления Компании позволяет:

- перейти от текстового описания деятельности с помощью положений о подразделениях и должностных инструкций к полному формализованному графическому описанию, основанному на процессной модели управления производством;
- сменить ориентацию вектора управления от вертикальной, направленной от начальника на подчиненного исполнителя, на горизонтальную, ориентированную на клиентов, оценивающих конечные результаты транспортно-экспедиционного обслуживания.

Указанная смена ориентации вектора управления позволяет повысить качество транспортного обслуживания клиентов и конкурентоспособность Компании на рынке железнодорожных грузовых перевозок, что является стратегической целью Компании.

Общий процесс управления Компании может быть представлен в виде совокупности бизнес-процессов верхнего уровня. Соответственно бизнес-процессы верхнего уровня детализируются до бизнес-процессов среднего уровня. В свою очередь бизнес-процессы нижнего уровня должны быть элементарными, содержащими только функции, которые более не декомпозируются.

Процесс управления производственной деятельностью Компании содержит следующие бизнес-процессы верхнего уровня:

1. Заявочная кампания;
2. Управление составом вагонного парка;
3. Управление перевозками грузов;
4. Коммерческая работа;
5. Расчеты и анализ эффективности.

Согласно процессному подходу управление производственной деятельностью Компании может быть представлено в виде модели операционного цикла бизнес-процессов (см. рис. 1).

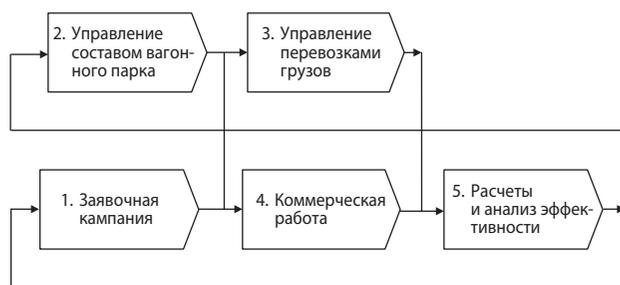


Рис. 1. Операционный цикл выполнения бизнес-процессов Компании

В процессе заявочной кампании Департамент продаж регистрирует заявки клиентов на перевозки грузов и контролирует процесс согласования условий

перевозок.

При управлении составом вагонного парка Департамент вагонного хозяйства производит учет, регистрацию, ремонт, списание и эксплуатацию вагонного парка.

В процессе управления грузовыми перевозками Департамент управления перевозками выполняет среднесрочное и оперативное планирование перевозок, оперативный контроль дислокации и движения вагонов, контроль исполнения оперативных планов и нормативов.

При выполнении коммерческой работы Департамент продаж осуществляет регистрацию клиентов, договоров, ценовых соглашений и обработку заказов.

В процессе расчета и анализа эффективности Департамент экономики выполняет расчет фактической стоимости оказанных услуг, а также совместно с Департаментом управления перевозками выполняет расчет и анализ показателей работы парка, экономических показателей Компании.

На рис. 2 представлен действующий цикл управления грузовыми перевозками Компании, состоящий из следующих бизнес-процессов:

- бизнес-процесс 3.1 «Среднесрочное планирование перевозок», выполняется Департаментом управления перевозками в составе процесса 3 «Управление перевозками грузов»;
- цикл бизнес-процессов 3.2 «Оперативное планирование перевозок» и 3.3 «Контроль перевозок», выполняется Департаментом управления перевозками в составе процесса 3 «Управление перевозками»;
- бизнес-процесс 5.6 «Анализ работы парка», выполняются совместно Департаментом управления перевозками и Департаментом экономики в процессе 5 «Расчеты и анализ эффективности».

Для повышения качества работы Департамента управления перевозками в соответствии с системным подходом сформулируем основные требования к структурному преобразованию оперативного управления – необходимо преобразовать управляющий контур ДУП в систему оперативного управления, обладающую полным набором управляющих функций ДУП: учет заявок на перевозку грузов, сменно-суточное планирование перевозок, регулирование, включая контроль исполнения планов и взаимодействие с ОАО «РЖД», анализ выполнения сменно-суточных планов.

Таким образом, для повышения качества работы Департамента управления перевозками необходим комплексный подход к структурному преобразованию оперативного управления, включающий разработку и внедрение полного цикла сквозных управляющих бизнес-процессов, учитывающих специфику совместной



Рис. 2. Действующий цикл управления перевозками грузов Компании

деятельности вертикально-интегрированных Департамента продаж и Департамента управления перевозками. В этой связи предлагаемая система сменно-суточного планирования перевозок представляет собой развитие методов оперативного управления ДУП по организационным, технологическим и информационным направлениям.

3. Цикл выполнения бизнес-процессов сменно-суточного планирования Компании

Система сменно-суточного планирования грузовых перевозок оператора вагонов содержит следующие функциональные подсистемы (бизнес-процессы среднего уровня):

1. Учёт заявок на перевозку грузов;
2. Сменно-суточное планирование перевозок;
3. Выполнение плана перевозок;
4. Анализ выполнения плана перевозок.

В подсистеме учета заявок на перевозку грузов в текущие сутки учитываются и согласуются заявки клиентов на погрузку на филиале на последующие сутки. В результате этого на сервере приложений филиала формируется файл «Справка по заявкам клиентуры».

В подсистеме сменно-суточного планирования перевозок составляется проект плана перевозок на следующие сутки. Затем планы филиалов и Компании в целом согласуются и утверждаются в Центральном офисе. В результате в информационной вертикали ССП формируются файлы планов работы филиалов и Компании в целом на новые сутки.

В подсистеме выполнения плана проводится селективный разбор заданий Центрального офиса и филиалов на новые сутки с последующим выполнением оперативных планов и нормативов. Кроме того в филиалах контролируются длительно простаивающие вагоны рабочего парка и вагоны в ремонте. В результате по концу отчетных суток формируются отчетные формы по работе филиалов и Компании в целом.

В подсистеме анализа выполнения плана перевозок выполняется анализ работы по итогам за истекшие сутки, за первую половину текущих суток, разбор результатов прошедших суток и выполнения заданий на текущие сутки. В результате по указанным периодам формируются аналитические формы по филиалам и Компании в целом.

Процессная модель системы сменно-суточного планирования работы оператора, приведена на рис. 3.

4. Технологическая модель сменно-суточного планирования

Основными результатами внедрения системы ССП в Компании будут создание технологической модели оперативного управления грузовыми перевозками и повышение на её основе эффективности работы Департамента управления перевозками.

Технологическая модель оперативного управления грузовыми перевозками представляет собой совокупность технологического, организационного и информационного обеспечения системы ССП, позволяющего организационной вертикали (ЦО – филиалы) оперативно принимать эффективные управляющие решения с помощью сквозных бизнес-процессов ССП на основе информации, содержащейся в информационной вертикали ССП (сервер приложений ЦО – совокупность серверов приложений филиалов).

Система ССП является системой оперативного управления с полным набором функций, выполняемых ДУП (см. рис. 3). Такая структура оперативного цикла управления позволяет ДУП повысить качество транспортного обслуживания клиентов за счет комплексного решения всех взаимосвязанных производственных проблем на основе технологической модели оперативного управления перевозок.

Оперативный цикл выполнения бизнес-процессов системы ССП ориентирован таким образом, чтобы ежедневно на практике действовал процесс самообу-



Рис. 3. Оперативный цикл выполнения бизнес-процессов системы ССП

чения причастных исполнителей. На селекторных совещаниях в процессе анализа результатов по концу отчетных суток происходит эффективный тренинг и развитие квалификации каждого исполнителя системы ССП, которые приводят к синергетическому эффекту повышения эффективности системы в целом на основе совершенствования коллективной базы знаний причастных исполнителей системы ССП.

Так как план разрабатывается на следующие сутки, то горизонт планирования в системе ССП будет расширен по сравнению с действующей системой суточного планирования, что позволит принимать и выполнять упреждающие управляющие решения в текущие сутки с учетом результатов прошедших суток и предполагаемых планов на последующие сутки. Горизонт управления и анализа напротив сокращен до размера смены, что позволяет в первую половину текущих суток проводить подготовку, а во вторую – исполнение планов.

Одним из результатов проекта является создание нормативно-регламентной базы данных ССП и реализация на её основе информационной вертикали, позволяющей организационной вертикали оперативно принимать управляющие решения.

5. Выводы

Для повышения качества работы оператора вагонов необходим комплексный подход к структурному преобразованию оперативного управления, включающий разработку и внедрение полного цикла

сквозных управляющих бизнес-процессов, учитывающих специфику совместной деятельности вертикально-интегрированных Департамента продаж и Департамента управления перевозками Компании. В этой связи предлагается система сменно-суточного планирования перевозок, которая представляет собой развитие методов оперативного управления Департамента управления перевозками по организационным, технологическим, и информационным направлениям.

В результате реализации системы сменно-суточного планирования работы оператора будет создана технологическая модель оперативного управления грузовыми перевозками, позволяющая организационной вертикали Департамента управления перевозками оперативно принимать эффективные управляющие решения с помощью сквозных бизнес-процессов ССП на основе информации, содержащейся в информационной вертикали ССП.

В перспективе действующая система сменно-суточного планирования работы оператора вагонов может быть использована в качестве технологической основы при переходе от модели рационального управления на более эффективные модели оптимального и интеллектуального управления перевозками Компании.

Литература

1. Бодюл В.И., Феофилов А.Н. Концепция организации эффективного управления парками частных вагонов. Труды ОАО «НИИАС». Выпуск 10. – М.: ООО «Издательский дом «Технологии», 2014, с. 78 – 86.

Клепов А.В., Шабунин А.Б., ОАО «НИИАС», г. Москва

Единая онтология ИСУЖТ. Компонентный подход

Введение

Одна из основных задач, с которыми сталкивается автоматизация – это сложность системы. В случае Интеллектуальной системы управления железнодорожным транспортом (ИСУЖТ), решаемых ею комплексных масштабных задач, речь идет, без преувеличения, про сверхсложную систему.

Рассмотрение архитектуры программного обеспечения возникает из необходимости не допустить хаоса построения информационного ландшафта. По мере роста проекта становится невозможным игнорировать отсутствие архитектуры решения. Архитектура призвана организовать построение системы, ввести идеологию, уровни и структуры разработки. Не являясь жестко стандартизированной научной дисциплиной, архитектура программного обеспечения определяет стратегию разработки и регламентирует приложение усилий коллективов разработчиков. Резюмируя сказанное, дадим одно из определений архитектуры – «Архитектура - это базовая организация системы, воплощенная в ее компонентах, их отношениях между

собой и с окружением, а также принципы, определяющие проектирование и развитие системы.» [IEEE 1471]. Основополагающей идеей рассмотрения программной архитектуры является идея снижения сложности реализации системы путем декомпозиции элементов.

Для решения задач простого применения ООП и стандартных механизмов мало. Для этого необходимы другие современные архитектурные решения, такие как разработка на основе компонентов и применение отраслевого языка. Это призвано устранить дублирование, стандартизировать понятия, реализовать процессные подходы в разработке, избежать хаоса в структуре.

Сетевой и дорожный уровни

Для решения задач сетевого и дорожных уровней разработаны типовые ПТК. Каждый ПТК имеет единое построение, расширяемое под функциональные задачи каждого конкретного ПТК. На каждом ПТК решаются различные задачи или комплекс задач.

Все комплексы задач единой системы реализуются с использованием фиксированного набора модулей

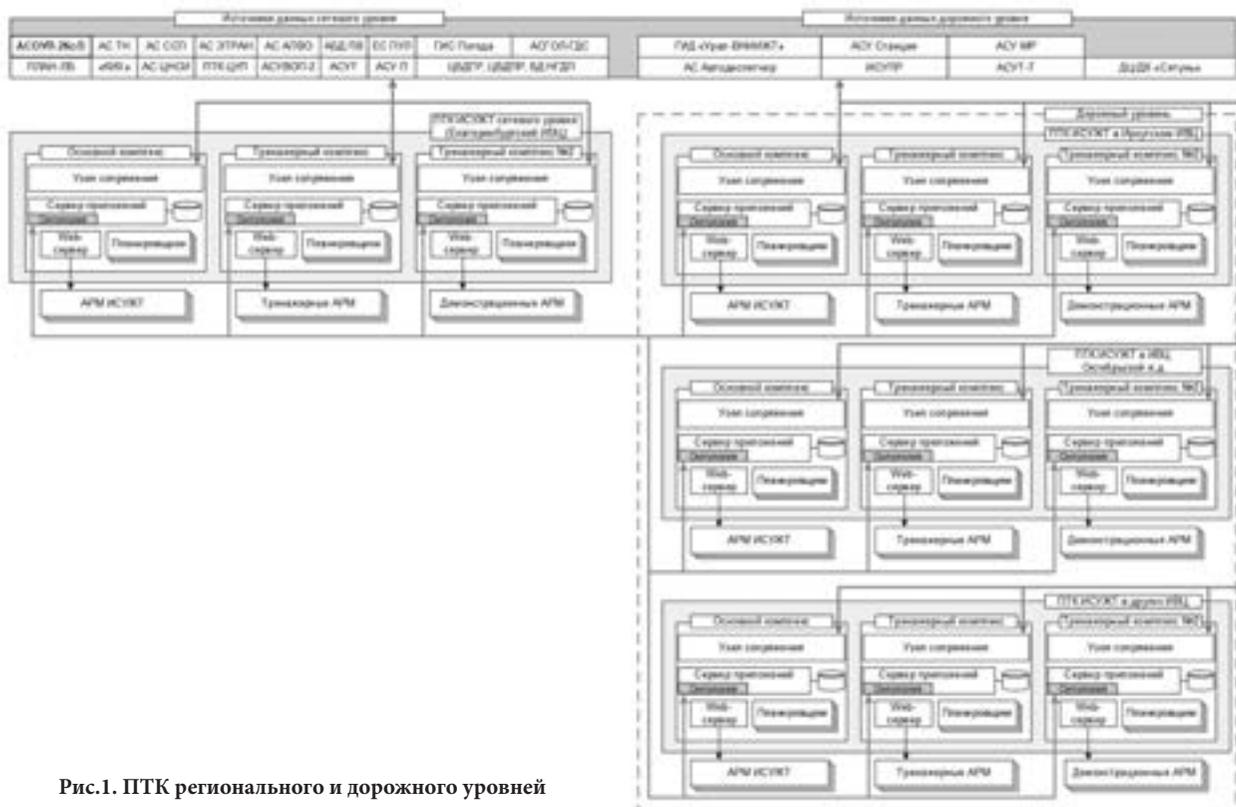


Рис.1. ПТК регионального и дорожного уровней

единой интеграционной платформы. С одной стороны, это решает вопрос единства данных, с другой стороны позволяет уменьшить трудоемкость реализации системы за счет исключения дублирования стандартизованных технических решений.

Взаимодействие с внешним миром происходит через систему сопряжения. Она является единственной точкой ввода/вывода информации. Источники данных есть как на сетевом, так и на дорожном уровне, но единые механизмы и стандарты позволяют тиражировать каналы связи через простую настройку и конфигурирование. С верхнего сетевого уровня все данные могут быть доступны на дорожном уровне. За это отвечает подсистема сопряжения и механизм дистрибуции данных.

Перечень источников информации, получаемые ИСУЖТ:

- АСОУП-2Кс/3
- ПЛАН-ЛБ
- АС ССП
- АС ЦНСИ
- АС ЭТРАН
- АС АПВО
- АСУВОП-2
- ЕС ПУЛ
- АСУТ
- АСУ П
- ГИС Погода
- АСГОЛ-ГДС
- ЦБДГР, ЦБДПР, БД НГДП
- АС Автодиспетчер
- ГИД «Урал-ВНИИЖТ»
- ИСУПР
- АСУ Станции
- ДЦ/ДК «Сетунь»

Каждый ПТК состоит из стандартного набора типовых серверов приложений (СП). Все СП разделены на определенные типы для решения функциональных задач. При необходимости каждый ПТК может быть легко расширен такими функциональными блоками. Каждый блок ПТК работает в кластерной схеме, что позволяет обеспечить отказоустойчивость всех компонент.

Подсистема сопряжения и дистрибуция

Обеспечивающая подсистема «Взаимодействия ПТК ИСУЖТ с источниками входных сигналов и данных (ВИВСД)».

В ее задачи входит:

- Автоматизация взаимодействия функциональных подсистем ИСУЖТ со смежными системами.
- Обеспечение унифицированного механизма сбора информации из разнородных источников.
- Устранение дублирования подготовки информации из смежных систем для подсистем ИСУЖТ.

- Комплексное использование всеми подсистемами ИСУЖТ единой информационной шины.

Этот блок обеспечивает систему информацией из внешнего мира, синхронизирует модели системы с внешним миром, и доводит управляющее воздействие, порожденное системой до адресата во внешнем мире. Посредством набора унифицированных протоколов ввода/вывода обеспечивается взаимодействие с существующими системами линейного уровня (станции, депо).



Рис.2. Компонентный состав ПТК



Рис.3. Дистрибуция данных

Получаемые данные в необходимом объеме распространяются на различные ПТК. Этот объем настраивается для каждого ПТК отдельно путем установки фильтров.

За хранение исходной информации отвечает модель взаимодействия со смежными системами. В дальнейшем из данной модели через механизмы обработки данных информация поступает в отраслевые модели онтологии.

Таким образом, подсистема сопряжения предоставляет любой набор внешних данных в полном объеме на различном уровне для нужд онтологии, а также способна передать любую информацию ИСУЖТ во внешний мир.

Отраслевые модели

Прикладная часть системы начинается с единой онтологии.

На базе онтологии и с использованием основных возможностей платформы создается отраслевой язык программирования (Domain Specific Languages – DSL). В отличие от языков общего назначения, таких как C++ или Java, отраслевой язык очень компактен, и обладает высокой выразительностью в контексте решаемых задач.

Большое внимание при проектировании системы уделяется генерализации компонентов для повторного использования. К таким компонентам относятся компоненты хранения исторических данных, ведения технологических процессов, регистрации нештатных ситуаций и другие. Важной стороной проектирования является стандартизация технологических понятий и выработка процессного подхода к решению задач.

Отраслевые модели можно разделить на классический для отрасли набор моделей, таких как инфраструктурная, поездная, локомотивная, бригадная, отправочная и др. Основная задача этого набора моделей состоит в обеспечении формализованного представления текущей ситуации в реальном масштабе времени и ее истории. Важной частью моделей является логический контроль информации. Модели создаются со степенью детализации заведомо превышающей детализацию информации, которая поступает от источников данных.

Каждая модель спроектирована с учетом требований проектов, модели анализа, технологических понятий и потоков входной информации. Модель может состоять из нескольких десятков классов, спроектированных на принципах ООП и используя паттерн Модель-Представление-Контроллер (Model-View-Controller – MVC). Модель – это классы и атрибуты, Представление – это контракты на отраслевом языке и витрины данных, а Контроллер – это методы и механизмы работы с данными.

Для обеспечения общего принципа работы при разработке моделей уровня «Представление» активно используется паттерн «Фасад» предоставляющий на отраслевом языке набор методов, которые могут вызываться из разных мест онтологии. Создав такой контракт, мы гарантируем получение определенного вида данных при любом изменении самой модели. Через эти контракты осуществляется доступ к модели как на запись, так и на чтение. Наряду с методами разрабатываются витрины данных, под различные технологические задачи. При раз-

работке функциональных задач уже используются либо методы отраслевого языка, либо витрины.

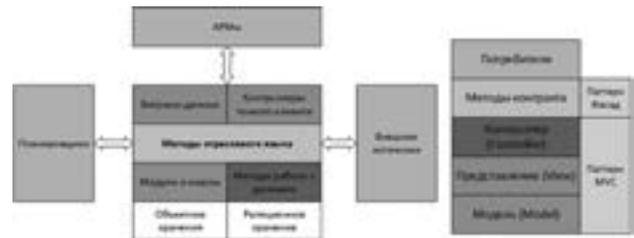


Рис.4. Структура онтологии

Приведем пример использования моделей в существующих решениях на проектах:

Модель	Проекты
Поездная	Сменно-суточное планирование. Построение плана подвязки. Построение плана пропуска
Локомотивная	Сменно-суточное планирование. Построение плана подвязки. Управление Тяговым Хозяйством.
Бригадная	Сменно-суточное планирование. Построение плана подвязки. Управление Тяговым Хозяйством.
Вагонная	ЦФТО
НСИ	Построение плана подвязки. Построение плана пропуска. Ограничения и предупреждения. Техническое нормирование.
Графики движения	Нормативные и вариантные графики. Построение плана пропуска.

Сложность системы накладывает свои ограничения на принципы разработки онтологии. Множество подпроектов и групп разработчиков должны использовать стандартизированные механизмы, работать по единым процессам и каждое изменение в моделях должно быть согласовано со всеми группами. Более подробно, как достигается стандартизация мы рассмотрим ниже.

Компоненты онтологии

Все комплексы задач единой системы реализуются с использованием определенного набора модулей единой онтологии. С одной стороны, это решает вопрос контроля решений, с другой стороны позволяет уменьшить трудоемкость реализации системы за счет исключения дублирования стандартизированных технических решений.

Все компоненты онтологии спроектированы в виде модулей, которые имеют определенный вход/выход и бизнес логику внутри себя. Каждый модуль максимально независим от других модулей за исключением необходимости его использования, как основы. Таким

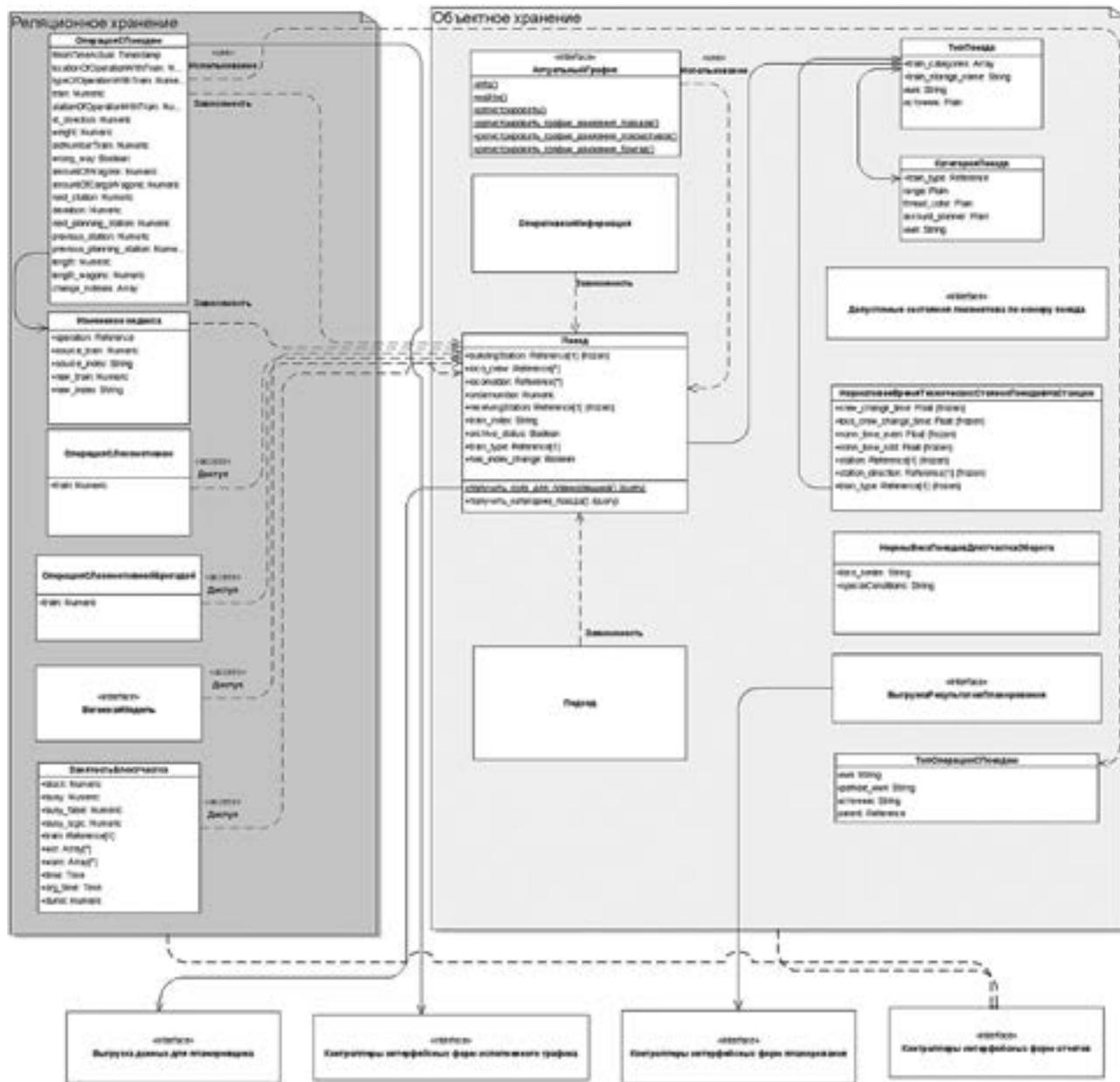


Рис.5. Поездная модель

образом все компоненты онтологии можно представить в виде различных уровней, начиная от системного, заканчивая прикладным

Чем ниже уровень, тем больше требований предъявляется к разработчику. Чтобы войти в структуру единой онтологии необходимо выдержать стиль кодирования, отвечать требованиям платформы и архитектурным требованиям и размещать в едином хранилище версионного контроля. Высшие уровни полностью основаны на низших уровнях и никак не наоборот. Жесткий контроль кода и стандарты формирования онтологии обеспечивает нужную связь компонент и работу комплекса в целом.



Рис.6. Диаграмма компонент

Каждый компонент имеет свое описание и интерфейс работы. Изменение компонента согласуется и проверяется прежде чем попасть в основную ветку разработки. Нарушение контракта не допускается, любой встраиваемый код проходит архитектурную и программную проверку.

Текущие проекты реализованы с применением данного подхода, что позволяет использовать наработки одной группы всем другим участникам ИСУЖТ. Это во много раз сокращает разработку функциональных задач и не допускает повторяемости кода.

Интеграция с ИСУЖТ

На текущий момент мы реализовали в ИСУЖТ такие отраслевые решения как: управление тяговым хозяйством, построения оперативного плана пропуска поездов, нормативные и варианты графики движения поездов, технико-распорядительные акты станций, ограничения и предупреждения, отказы технических средств, АСУ Станции, планирование станционной работы.

Для интеграции с ИСУЖТ была выработана единая стратегия. Основной идеей является использование текущих наработок компонентной архитектуры. Точкой входа является система сопряжения, через которую получаем данные. Отраслевые модели содержат необходимую для проектов информацию. Разработан единый XML-подобный протокол обмена данными через контроллеры. На уровне начала интеграции прорабатываются форматы запросов к системе в виде URL строки и формата ответа, который ожидает потребитель. Так как все отраслевые модели имеют стандартизированные методы и витрины, то выбрать ту или иную информацию не составляет труда.

Данный подход был выбран для прозрачности процесса интеграции и минимальной затраты на разработку. При необходимости для интегратора могут быть разработаны новые витрины или доработана отраслевая модель, но все это работает по единым правилам и результат такой работы сразу становится доступен всем участникам ИСУЖТ.

Именно такой подход помогает сразу использовать все информационное поле любому участнику. Отраслевая новинка становится сразу доступна по стандартным интерфейсам общения, что позволяет сразу использовать данные любого проекта.

Но не только структуры и данные других проектов могут быть интегрированы в ИСУЖТ. Любой проект может разработать/доработать отдельный интеллектуальный модуль (планировщик) и включить его как

некий процесс, позволяющий интегратору перенести свою часть проекта, почти не меняя код и логику. Это важно, потому как переписывать логику на языке платформы — это издержки и риски, а взять готовое решение и представить его в виде планировщика намного проще. Требования к таким включениям — согласованные протокол обмена входом и выходом.

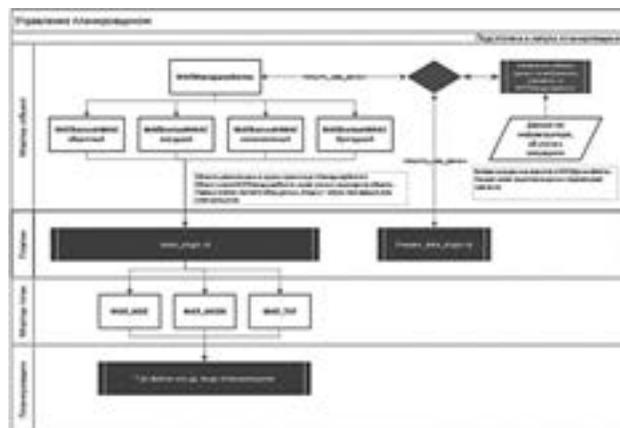


Рис.7. Схема управления планировщиком

Заключение

Применение в ИСУЖТ архитектуры, основанной на единой онтологии, позволило избежать хаотичного нагромождения программного обеспечения в проекте. Представленная идеология, принципы и компоненты архитектуры определяют разумную декомпозицию при сохранении единства системы.

Основные принципы реализации единой онтологии в ИСУЖТ можно сформулировать так:

- Единая архитектура онтологии, основанная на компонентной структуре.
- Хранение данных осуществляется только в онтологии.
- Жесткий контроль оформления кода и использования компонент.
- Встраивание планировщиков происходит по унифицированному протоколу и формату передачи данных.
- Построение АРМов конечных пользователей осуществляется через методы отраслевого языка.

Это позволило на текущий момент построить базовую онтологию и отраслевой язык программирования под существующие задачи. На ее базе реализовать группу планировщиков, взаимозависимую через онтологию. Созданы типовые пользовательские компоненты, позволяющие расширять круг поставленных задач.



Аверченков Е.О, Данько С.В., ОАО «НИИАС», г. Москва

Актуальные задачи модернизации системы управления движением поездов Московского метрополитена

В настоящее время Московский метрополитен переживает период развития и модернизации. Предъявляемые к транспортной системе требования в части обеспечения надёжного перевозочного процесса в условиях непрерывного роста пассажиропотоков обуславливают задачи модернизации инструментов управления движением поездов метрополитена. Существующая система централизованного управления движением поездов, включающая в себя системы подвижного состава, системы интервального регулирования, электрическую централизацию, систему диспетчерского управления имеет ряд резервов повышения качества управления. Для этого необходимо снабдить систему диспетчерского управления инструментами, позволяющими повысить качество контроля и управления как отдельными единицами подвижного состава, так и качество управления движением в целом.

Решение задачи повышения качества управления подвижным составом возможно обеспечить без изменения регламентов управления движением, привнося возможность работы машиниста с актуальной версией расписания движения и реализации расписания с использованием системы автоведения поезда. Также в рамках решения задачи повышения качества управления движением реализуется возможность адресного информирования машинистов прямо из системы диспетчерского управления. Возможность оперативной адресной доставки актуального расписания на борт позволит повысить качество управляющих воздействий в системе «диспетчер – подвижной состав», а непрерывный контроль состояния поезда обеспечит систему диспетчерского управления своевременной обратной связью с целью выявления возмущений в движении на ранних стадиях их возникновения.

Введение

Московский метрополитен [1] – одна из самых загруженных транспортных систем мира [2]. В 2013г. он занял пятое место среди метрополитенов мира по количеству перевезённых пассажиров, уступив только относительно молодым метрополитенам густонаселённых мегаполисов Азии. Московский метрополитен сегодня имеет более 320км пути (в двухпутном исчислении), 13 линий, 196 станций. Согласно плану Правительства Москвы [3] в период 2013-2020гг. дол-

жен быть обеспечен прирост порядка 150км пути и 67 станций. Развитие транспортной системы Московского метрополитена приводит к увеличению сложности объекта управления и накладывает дополнительные требования к качеству управления движением.

Несмотря на высокие пассажиропотоки и интенсивность движения, процесс управления движением в настоящее время имеет ограниченный уровень автоматизации. Необходимо отметить, что автоматизация процесса управления движением поездов осуществляется на протяжении всего времени существования метрополитена, а на настоящий момент, в контексте осуществляемого развития метрополитена, вступает в новый этап. На этом этапе возрастает актуальность модернизации инструментов, призванных обеспечить должный уровень автоматизации процесса управления движением.

Описание существующего процесса управления движением Обобщенная схема процесса управления движением

Обобщённая схема существующего процесса управления движением, сложившегося в Московском метрополитене представлена на рисунке 1.

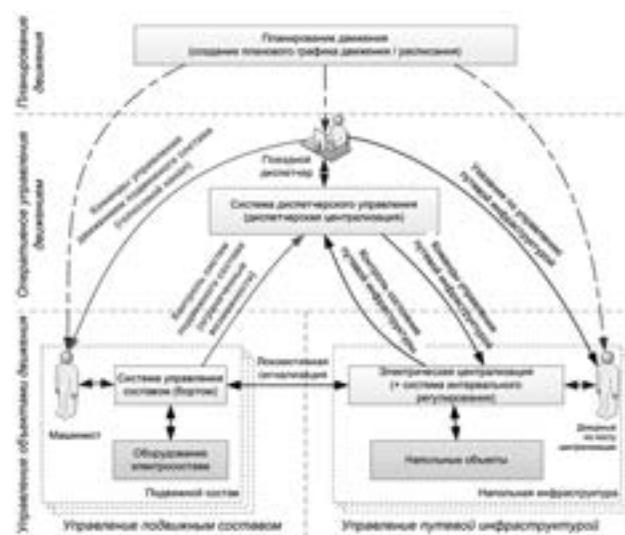


Рисунок 1. Схема существующего процесса управления движением Московского метрополитена

На схеме представлен процесс управления движением, осуществляемый из диспетчерского пункта поездным диспетчером. Поездной диспетчер осуществляет централизованное согласованное управление объектами напольной инфраструктуры (с помощью систем электрической централизации и дежурных-централизаторов) и движением парка подвижного состава (отдавая команды машинистам подвижных единиц). Движение осуществляется в соответствии с заранее подготовленным графиком и расписаниями движения.

На представленной схеме Поездной диспетчер:

- Осуществляет мониторинг движения и состояния подвижного состава и напольной инфраструктуры.
- Осуществляет управление движением подвижного состава – выдаёт команды управления подвижным составом машинисту (посредством голосового канала).
- Осуществляет управление напольной инфраструктурой – выдаёт указания дежурному по посту централизации (посредством голосового канала или путём выдачи диспетчерских приказов и распоряжений в режиме местного управления) либо (самостоятельно или при помощи диспетчеров-централизаторов) управляет устройствами посредством диспетчерской централизации (режим диспетчерского управления).

Дежурный по посту централизации выдаёт команды управления объектами путевой инфраструктуры посредством системы электрической централизации.

Машинист осуществляет управление электросоставом при помощи системы управления составом (бортом) в соответствии с действующим расписанием движения и указаниями поездного диспетчера, поступающими по голосовому каналу. Инструментов автоматизации управления электросоставом в данной схеме не предусмотрено.

Система управления бортом передаёт информацию о состоянии состава в Систему диспетчерского управления. Однако, состав этой информации и периодичность её передачи на данный момент недостаточны для качественного решения задач управления движением (выделено на схеме рисунка 1). Система электрической централизации передаёт информацию о состоянии путевой инфраструктуры в Систему диспетчерского управления. Система управления составом (бортом) и Система электрической централизации взаимодействуют между собой в рамках задачи обеспечения безопасного движения подвижного состава посредством локомотивной сигнализации (система АЛС/АРС).

До поездного диспетчера, машиниста, дежурного по станции, дежурного по посту централизации доводятся заранее составленные плановые графики/

расписания движения. При этом частично автоматизирована работа с графиком только поездного диспетчера. Инструментов работы с графиком/расписаниями движения в текущей системе управления не предусмотрено.

Проблемы существующего процесса управления движением

Сложившийся в Московском метрополитене к настоящему моменту процесс управления движением обладает рядом недостатков, которые препятствуют повышению эффективности и качества перевозок. Основные проблемы с точки зрения управления движением включают:

- осуществление оперативного взаимодействия (связь) диспетчера с подвижным составом (машинистом) исключительно голосом с использованием радиоканала плохого качества;
- отсутствие инструментов автоматизации деятельности машиниста (автоматизация движения поезда / выполнения расписания, работа с расписанием / коррекция расписания не автоматизирована);
- отсутствие инструментов для работы с графиком/расписанием движения у всех вовлечённых в процесс управления движением сторон (диспетчер, машинист, дежурный по посту централизации);
- отсутствие инструментов оперативного мониторинга состояния подвижного состава затрудняет своевременную диагностику неисправностей и оценку их критичности, что при существующей интенсивности движения может приводить к существенным эксплуатационным издержкам.

Следствиями этих проблем являются:

- затруднения в организации согласованного оперативного управления множеством единиц подвижного состава (зона ответственности диспетчера), влияние которых будет возрастать в ходе дальнейшего развития транспортной системы;
- повышенная нестабильность исполнения расписания движения отдельными подвижными единицами (существенным является человеческий фактор – подготовка и опыт машиниста);
- практическая невозможность использования диспетчером существующих (весьма ограниченных) резервов восстановления («нагона») графика движения даже при небольших возмущениях, что чревато эффектом «накопления возмущений» и перерастанию их в нештатную ситуацию;
- значительное время ликвидации произошедших нарушений/сбоев движения;
- невозможность осуществления прогноза состояния движения отдельными его участниками, что может приводить в том числе к неравномерности движе-

- ния поездов и остановкам поездов на перегонах;
- невозможность полного использования потенциала существующих систем интервального регулирования АЛС/АРС (затруднено достижение парности, заложенной при проектировании инфраструктуры);
- невозможность реализации энергетически оптимальной стратегии движения как отдельных подвижных единиц, так и парка подвижного состава, находящегося на линии.

Предпосылки комплексной автоматизации

Проблемы, перечисленные выше, обусловлены следующими недостатками, как самого процесса управления, так и существующих инструментов автоматизации (в т.ч. отсутствием соответствующих инструментов автоматизации):

- Работа с графиком движения автоматизирована, как правило, на уровне диспетчерского управления, и обеспечивает лишь возможность визуального контроля выполнения графика самим диспетчером без организации автоматической регистрации отклонений и выдачи соответствующих уведомлений; отсутствует возможность оперативной корректировки графика движения и автоматизированной передачи изменений на исполнительные уровни управления (состав, блок-пост).
- Распространение графика движения (расписания) между участниками движения осуществляется с использованием бумажных носителей.
- Связь поездного диспетчера с участниками движения осуществляется в значительной степени с использованием голоса.
- Малая степень автоматизации диктует необходимость наличия большого количества квалифицированного оперативного персонала, участвующего в процессе управления движением.
- Низкая оперативность управления (невозможность быстрого изменения расписания движения, резервы оперативной ликвидации нарушений движения ограничены), что во многом является следствием реализации контура управления «диспетчер-машинист» посредством голосовой связи.

Цели и задачи модернизации

Решение указанных выше проблем возможно путём модернизации системы управления движением. Целью модернизации системы управления движением является улучшение качества процесса управления движением подвижного состава эволюционным путём с внесением минимальных изменений в технологический комплекс и существующее организационное обеспечение (существующие регламенты, устоявшиеся

техпроцессы). Модернизация предполагает решение ряда задач, перечисленных ниже, в привязке к основным выгодоприобретателям:

С точки зрения пассажиров:

- повышение предсказуемости работы метрополитена и, как следствие, снижения вероятности попадания в дискомфортные ситуации в случае возникновения различного рода сбоев работы линий (например, снижение вероятности нахождения в поезде, остановившемся в тоннеле на длительный срок);
- повышение равномерности движения поездов;
- повышения «качества» (снижение времени и повышение комфортности) процесса выхода из нештатных ситуаций.

С точки зрения руководства метрополитена:

- повышение уровня и своевременности информирования руководства метрополитена, как в штатном режиме эксплуатации, так и в случае возникновения нештатных ситуаций, что позволяет принимать оперативно и обоснованно соответствующие решения;
- улучшение процесса планирования пассажироперевозок как результат ретроспективного анализа уточнённых оценок пассажиропотоков.

В масштабе метрополитена в целом:

- преодоление ограничений на количество управляемых единиц подвижного состава в ходе модернизации и расширения метрополитена, в то время как в существующей системе данное существенное ограничение неявно присутствует из-за несовершенства используемых инструментов управления;
- уменьшение последствий от возникающих нештатных ситуаций и затрат на восстановление движения;
- уменьшение влияния человеческого фактора в ходе выполнения графика движения и ликвидации последствий сбоев движения;
- оптимизация энергопотребления – оптимизируется расход электроэнергии в результате автоматизированного управления как отдельными подвижными единицами, так и согласованного управления несколькими составами.

Решение озвученных выше задач возможно путём модернизации системы управления движением, которая подразумевает комплексный подход к автоматизации процесса управления движением поездов с ликвидацией присущих данному процессу недостатков.

Возможные пути осуществления модернизации системы управления движением

Модернизация системы управления движением на основе систем типа СВТС

Указанные выше проблемы, присущие процессу управления движением поездов могут быть устранены внедрением системы управления, изначально подраз-

умевающей сквозную автоматизацию процесса. Примером систем такого типа являются системы типа СВТС [4], обеспечивающие решение широкого спектра задач: от задач обеспечения безопасности движения поездов (путём реализации системы интервального регулирования) до задач согласованного управления парком подвижного состава, осуществляющего движение на линии.

Необходимо отметить, что системы типа СВТС применительно к использованию в Московском метрополитене обладают рядом особенностей и недостатков:

- требуется полностью пересмотреть концепцию обеспечения безопасности движения по отношению к существующей инфраструктуре Московского метрополитена (существующим системам интервального регулирования типа АЛС/АРС);
- использование радиоканала в системах, к которым предъявляются повышенные требования к обеспечению безопасности (системах интервального регулирования), недостаточно проработано, в том числе с точки зрения доказательства безопасности;
- на настоящий момент отсутствует отечественная практика применения систем такого рода;
- внедрение систем типа СВТС требует коренных изменений регламентов, техпроцессов, необходимости изменения нормативной и эксплуатационной базы относительно существующих систем Московского метрополитена;
- отсутствует преемственность с существующими системами управления, что обуславливает невозможность использования существующей инфраструктуры и необходимость замещения всех компонентов, отвечающих за безопасность движения;
- система типа СВТС представляет собой решение, предполагающее комплексное внедрение, что подразумевает невозможность перехода на такую систему эволюционным путём;
- несмотря на свою сложность, система типа СВТС требует наличия резервной системы интервального регулирования, обеспечивающей полноценный контроль безопасности движения;
- система типа СВТС отличается большой сложностью и стоимостью внедрения;
- повышенная по сравнению с существующими системами сложность управления и администрирования;
- системы типа СВТС отличает повышенная сложность и длительность внедрения на функционирующих объектах;
- предполагаемые эффекты от внедрения систем типа СВТС с большой заявляемой пропускной способностью будут нивелированы ограничениями существующей инфраструктуры (проектная про-

пускная способность существующих и строящихся линий согласно действующим нормативам – 40 пар поездов в час).

Указанные особенности ставят под вопрос целесообразность использования в ближайшее время систем типа СВТС при модернизации системы управления движением.

Модернизация системы управления на основе существующей инфраструктуры

Таким образом, подход, предполагающий внедрение систем управления типа СВТС, зачастую обходится весьма и весьма дорого с различных точек зрения, особенно, если речь идёт о реконструкции действующих систем управления движением. Как альтернатива описанному подходу, предлагается осуществлять модернизацию системы управления движением на основе существующей инфраструктуры с использованием как существующих инструментов управления движением, выполняя их модернизацию, так и создание ряда отсутствующих на настоящий момент компонентов, таких как:

- инструментов автоматизации деятельности машиниста (интеллектуальная система автоведения в составе обновлённой системы управления бортом);
- инструментов для работы с графиком движения у всех заинтересованных сторон (диспетчер, машинист, дежурный по посту централизации) в едином информационном пространстве;
- надёжного канала оперативного взаимодействия диспетчера с подвижным составом с применением современных технологий связи.

Основные положения предлагаемого подхода

Подразумевается, что предлагаемая модернизация системы управления движением:

- **Не затрагивает** основу существующей системы управления движением – системы, обеспечивающие безопасность движения поездов (ЭЦ, АЛС/АРС).
- **Не подразумевает** переделку базовых регламентов/технологических процессов – только коррекцию и дополнение в разрезе использования вновь появляющихся инструментов и переделку существующей инфраструктуры управления движением (в противоположность системам типа СВТС).
- **Подразумевает** комплексный подход к автоматизации процесса управления движением – ликвидируются существующие «белые» пятна процесса управления (не автоматизируемые процессы), развитие/дополнение уже существующих (создающихся) систем, таких как АСДУ ДПМ (автоматизированной системы диспетчерского управления движением поездов метрополитена), бортовых систем управления, создание новых (под)систем,

таких как система связи с подвижным составом, система позиционирования подвижного состава и т.д.; уменьшение влияния человеческого фактора.

В качестве первоначальных предлагаемых мер по модернизации процесса управления движением в Московском метрополитене с минимальными изменениями существующих регламентов работы предлагается:

- Создание интеллектуальной подсистемы автоматизированного ведения поезда в рамках системы управления подвижным составом.
- Реализация в составе системы диспетчерского управления движением поездов метрополитена инструментов работы с графиком движения поездов, включающих инструменты регистрации отклонений от графика, перестроения графика движения, оперативной корректировки графика.
- Автоматизация процесса управления подвижным составом путём организации канала взаимодействия «поезд – наполная инфраструктура» для решения задач:
 - Непрерывного контроля состояния поезда и его систем на уровне диспетчерского управления.
 - Контроля и автоматизированного управления движением поезда согласно расписанию движения с использованием интеллектуальной системы автоматизированного ведения при непосредственном участии машиниста.
 - Передачи оперативной информации между диспетчером и машинистами.

Предложения по модернизации системы управления движением Московского метрополитена

Обобщённая схема модернизированного процесса управления

Обобщённая схема предлагаемого к реализации модернизированного процесса управления движением представлена на рисунке 2. В рамках приведённой схемы вводятся дополнительные каналы взаимодействия «Диспетчер-Машинист» и «АСДУ-подвижной состав» (выделены на схеме рисунка 2 зелёным цветом) и реализуются новые инструменты в рамках систем диспетчерского управления и управления бортом. Введение дополнительных каналов взаимодействия позволит нивелировать существующие недостатки, перечисленные выше. Необходимо отметить, что модернизация процесса управления не подразумевает изменения сферы ответственности машиниста, а предоставляет ему набор инструментов для более эффективной реализации им своих функций.

Обобщённая архитектура модернизируемой системы

Обобщённая архитектура модернизированной системы представлена на рисунке 3. На схеме представ-

лены модернизируемые и вновь создаваемые компоненты системы управления движением.

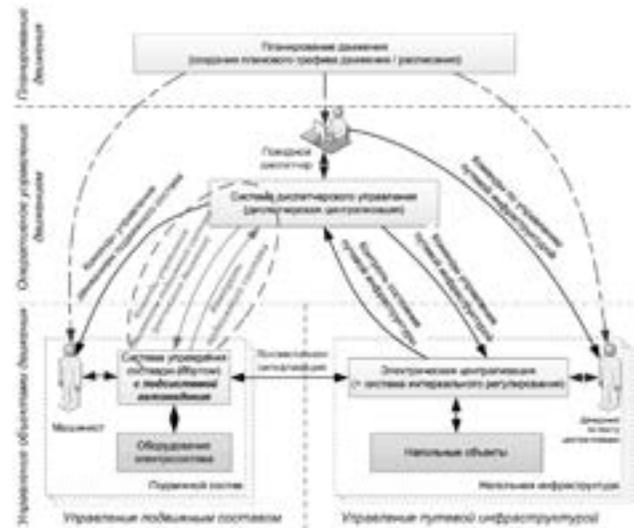


Рисунок 2. Обобщённая схема модернизируемого процесса управления движением поездов Московского метрополитена



Рисунок 3. Обобщённая архитектура модернизируемой системы

Компоненты АСДУ ДПМ

В рамках модернизированной АСДУ ДПМ предполагается реализация следующих основных компонентов:

- подсистема работы с графиками движения/расписаниями;
- подсистема взаимодействия «диспетчер-машинист»;
- подсистема мониторинга состояния подвижного состава;
- подсистема связи «АСДУ – подвижной состав».

Подсистема работы с графиками движения/расписаниями должна реализовывать следующую функциональность:

- Построение, контроль и анализ графиков исполненного движения и графиков прогнозного движения на основе плановых графиков движения и информации о текущем поездном положении и состоянии подвижного состава и наземных устройств.
- Формирование возможных вариантов организации движения (с учётом необходимых диспетчерских воздействий) на основе результатов проводимого анализа графиков исполненного и прогнозного движения.
- Выбор варианта организации движения и построение актуального графика движения на основе выбранного варианта.
- Преобразование актуального графика движения в набор расписаний с указанием допустимых отклонений от каждого из расписаний. Сформированные расписания передаются посредством Системы передачи данных в Систему управления составом (бортом) с обязательной валидацией актуализированного расписания машинистом.
- Ведение информации об актуальных ограничениях движения.
- Агрегацию и визуализацию уведомлений о нарушениях нормальной работы линии.

Подсистема взаимодействия «диспетчер-машинист» должна реализовывать следующую функциональность:

- Формирование и выдача диспетчерских воздействий и уведомлений (адресная доставка) машинисту.
- Получение ответной реакции машиниста (в том числе подтверждение восприятия) на выдаваемые диспетчерские воздействия и уведомления.

Подсистема мониторинга состояния подвижного состава должна обеспечивать сбор, обработку и отображение информации о состоянии парка подвижного состава на линии, поступающей от Систем управления составом отдельных подвижных единиц.

Компоненты системы управления составом (бортом)

Модифицированная система управления составом включает в себя следующие создаваемые и модернизируемые компоненты:

- интеллектуальную подсистему автоматизированного ведения поезда (подсистема автоведения);
 - подсистему взаимодействия с машинистом;
 - подсистему диагностики подвижного состава и его систем;
 - подсистему связи «подвижной состав – АСДУ».
- Интеллектуальная подсистема автоматизирован-

ного ведения поезда должна реализовывать следующую функциональность:

- Непрерывное определение местоположения и скорости электросостава.
- Получение информации из АСДУ ДПМ.
- Автоматизацию отправления, движения по перегону с выбором оптимальной стратегии движения, автоматическое торможение на станции (блок функций автоматизированного ведения).
- Расчёт и реализацию оптимальной стратегии движения электросостава на основе данных актуального расписания, текущего поездного положения, актуальных ограничений движения по линии с целью обеспечения комфортного и энергоэффективного проследования состава при выполнении расписания движения.

Подсистема взаимодействия с машинистом должна реализовывать следующую функциональность:

- Информирование машиниста об изменении расписания и поступающих диспетчерских воздействиях и уведомлениях.
- Подтверждение восприятия машинистом переданных в его адрес диспетчерских воздействий (корректировок расписания) и уведомлений.
- Подсистема диагностики подвижного состава должна реализовывать непрерывное выполнение диагностики состояния подвижной единицы и её систем, накопление диагностической информации и передачу её в АСДУ ДПМ.

Подсистемы связи и система передачи данных

Подсистемы связи «АСДУ-подвижной состав» и «подвижной состав – АСДУ» совместно с Системой передачи данных должны реализовывать канал взаимодействия между АСДУ ДПМ и Системой управления составом (бортом), обеспечивая приём, преобработку и передачу:

- оперативной диагностической информации о состоянии подвижного состава и его систем (Система управления бортом – АСДУ);
- информации о текущем положении подвижной единицы (Система управления бортом – АСДУ);
- данные актуальных ограничений движения по линии (АСДУ – Система управления бортом);
- данные актуального расписания движения (АСДУ – Система управления бортом);
- информация о текущем поездном положении на линии (АСДУ – Система управления бортом);
- диспетчерские воздействия и уведомления (АСДУ – Система управления бортом).

Ожидаемые эффекты модернизации системы управления движением

Модернизация системы управления движением поездов метрополитена предполагает достижение ряда эффектов, приведённых ниже.

Повышение качества пассажироперевозок:

Повышение комфортности перевозок для пассажиров:

- повышение равномерности движения поездов;
 - уменьшение вероятности остановки поезда в тоннеле (на перегоне), уменьшение времени остановок на перегоне.
- Повышение качества выполнения графика движения:
 - снижение количества нарушений расписания движения единичным поездом;
 - снижение количества нарушений графика движения в целом;
 - уменьшение среднего времени ликвидации отдельных нарушений;
 - снижение общего времени нарушений движения за период.

Ожидаемые эксплуатационные эффекты:

- Связанные с экономической составляющей:
 - оптимизация тягового энергопотребления подвижным составом (повышение энергоэффективности).
- Связанные с повышением коэффициента готовности подвижного состава и снижения рисков возникновения нештатной ситуации:
 - своевременная диагностика состояния подвижного состава и его систем;
 - снижение риска возникновения неисправностей подвижного состава в ходе работы на линии.
- Связанные с организационной составляющей процесса управления движением:
 - уменьшение влияния человеческого фактора в ходе реализации пассажироперевозок;
 - облегчение труда поездного диспетчера посредством автоматизации рутинных операций управления движением поездов;
 - облегчение труда машиниста (система не мешает опытному машинисту и помогает неопытному, предупреждая от ошибок в ведении поезда).

Прочие эффекты:

Подготовка базы для дальнейшего развития систем управления движением (включая системы типа CBTC).

Заключение

Таким образом, предложенный в данной работе подход решает задачи повышения качества управления движением поездов транспортной системы Московского метрополитена путём комплексной автоматизации процесса управления движением, опираясь на существующую инфраструктуру, с привнесением ряда отсутствующих на текущий момент элементов системы управления без необходимости коренного изменения существующих технологических процессов и регламентов.

Успешное решение задачи модернизации системы управления движением требует обеспечение технического задела в виде соответствующей нормативно-технической базы, технологий и набора апробированных в условиях метрополитена технических решений для осуществления модернизации, а также формирование соответствующих компетенций в причастных подразделениях Московского метрополитена. С целью создания означенного задела ОАО «НИИАС» (www.vniias.ru) и АО «НИИП имени В.В. Тихомирова» (www.niip.ru), являющиеся признанными лидерами в области систем управления и безопасности для железнодорожного транспорта, объединили свои усилия, связанные с разработкой и внедрением автоматизированных систем управления движением поездов метрополитена, и выполняют работы по реализации описанных в данной работе предложений, модернизируя системы управления подвижным составом, разрабатывая перспективную автоматизированную систему диспетчерского управления движением поездов метрополитена (АСДУ ДПМ), включающую инструменты работы с графиком движения и средства связи с подвижным составом.

Литература

1. Московский метрополитен – Википедия. URL: http://ru.wikipedia.org/wiki/Московский_метрополитен
2. Список метрополитенов по годовому пассажиропотоку – Википедия. URL: http://ru.wikipedia.org/wiki/Список_метрополитенов_по_годовому_пассажиропотоку
3. Комплекс градостроительной политики и строительства г. Москвы. Метро. URL: <http://stroi.mos.ru/metro>
4. Communications-based train control – Википедия. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Communications-based_train_control



Дмитриев Д.В., ООО «ПрограмПарк», г. Москва

Создание механизмов взаимодействия «подвижной состав – АСДУ» для решения задач управления движением поездов метрополитена

В числе актуальных направлений модернизации системы управления движением поездов Московского метрополитена выделяются следующие задачи:

- Непрерывный контроль состояния поезда и его систем на уровне диспетчерского управления для повышения оперативности принятия решений причастным персоналом при возникновении нештатных ситуаций.
- Контроль и управление движением поезда согласно расписанию движения, как для обеспечения повышения качества управления движением отдельных единиц подвижного состава, так и управления движением на всей линии.
- Передача оперативной информации между диспетчером и машинистами для осуществления гарантированного обмена формализованными сообщениями между диспетчерским пунктом и участниками движения в обоих направлениях.

Решение данных задач обеспечивается автоматизацией процесса управления подвижным составом путём организации канала передачи данных между подвижным составом и диспетчерской системой [1]. В материалах доклада рассматриваются технические аспекты реализации механизмов взаимодействия систем бортового оборудования подвижного состава с автоматизированной системой диспетчерского управления («подвижной состав – АСДУ»).

Технические аспекты

К основным ограничениям, которые необходимо учитывать при выборе технических решений для создания механизмов взаимодействия «подвижной состав – АСДУ» относятся:

- Разнородность систем, между которыми необходимо обеспечить взаимодействие;
- Нестабильное соединение на основе радиосвязи в тоннеле линии метрополитена;
- Распределенность участников обмена и высокая интенсивность передачи данных;
- Множество параллельных, несвязанных между собой типов взаимодействия с разными требованиями к передаче данных.

Учитывая указанные ограничения, для создаваемых механизмов определены следующие концептуальные решения:

- Использование промежуточного программного обеспечения (middleware или ППО) для упрощения

процесса взаимодействия разнородных приложений [2];

- Выбор ППО, ориентированного на обработку сообщений (МОМ), для обеспечения гарантированной доставки данных между участниками взаимодействия при нестабильном соединении [2];
- Выбор транспортного протокола MQTT как удовлетворяющего потребностям обмена и обеспечивающего малые накладные расходы, что позволит обмениваться сообщениями в масштабе времени, близком к реальному;
- Применение согласованных форматов сообщений в виде XML-пакетов для формализации состава передачи данных и стандартизированной обработки посылок;
- Протоколирование истории обмена в реляционном хранилище АСДУ.

Таким образом, взаимодействие между АСДУ и подвижным составом осуществляется путем обмена сообщениями, реализуемого с помощью выделенного транспортного сервиса. Сообщения группируются в потоки, для каждого из которых выделены свои очереди сообщений и существует свой регламент обработки сообщений.

Структурная схема решения, представленная на рисунке 1, включает следующие элементы:

- Узел сервера обмена сообщениями;
- Узел электросостава;
- Узел АСДУ.

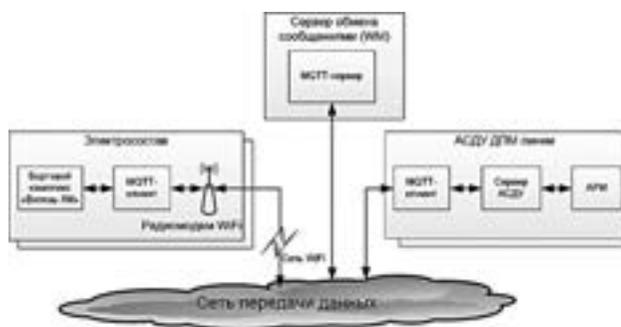


Рис.1. Структурная схема решения

На узле сервера обмена сообщениями разворачивается промежуточное программное обеспечение, реализующее функции стандартного MQTT-сервера. Конфигурация MQTT-сервера определяет основные

параметры работы с сообщениями на уровне брокера (в т. ч. параметры хранения сообщений для разных типов клиентов, логирование обмена и др.).

На узле электросостава установлено сетевое оборудование для подключения к сети передачи данных, а также бортовой комплекс Витязь-М, обеспечивающий сбор оперативной информации от состава. Для взаимодействия с пользователем в составе бортового оборудования предусмотрен, т.н. «Экран машиниста», представляющий собой встроенный монитор с выводом на него оперативной информации по составу и пульт переключения экранов. Дополнительно на узле электросостава разворачиваются механизмы для обмена сообщениями с АСДУ, включающие MQTT-клиент состава и лог обмена данными.

В состав узла АСДУ входит Сервер АСДУ, обеспечивающий работу диспетчерской системы, а также приложение для взаимодействия с пользователем. Дополнительно на узле АСДУ разворачиваются механизмы для обмена сообщениями с составом, включающие: MQTT-клиент АСДУ, журналы АСДУ для хранения истории обмена сообщениями, а также лог системных уведомлений.

Типовой сценарий для всех клиентов и всех типов взаимодействия соответствует стандартному регламенту протокола MQTT и включает следующие основные действия:

- Подключение клиента к MQTT-серверу с получением идентификатора сессии;
- Подписка на сообщения, публикуемые в заданные очереди (темы);
- Получение публикуемых сообщений по активным подпискам;
- Автоматическая отправка подтверждения о доставке сообщения;
- Обработка сообщений и сохранение данных в журналы;
- Публикация сообщений в заданную очередь с указанием параметров.

Прикладные сценарии взаимодействия отличаются от типового конкретными участниками, типами и наполнением передаваемых пакетов, параметрами передачи и получения сообщений. Для отработки технических решений по обеспечению обмена сообщениями между подвижным составом и АСДУ через транспортный сервис реализованы следующие сценарии:

- Передача наличия связи с АСДУ;
- Регистрация в АСДУ / подтверждение наличия связи с составом.
- Передача диагностических данных по составу в АСДУ.
- Передача данных о выполнении движения составом.
- Передача текстовых сообщений из АСДУ в подвижной состав.

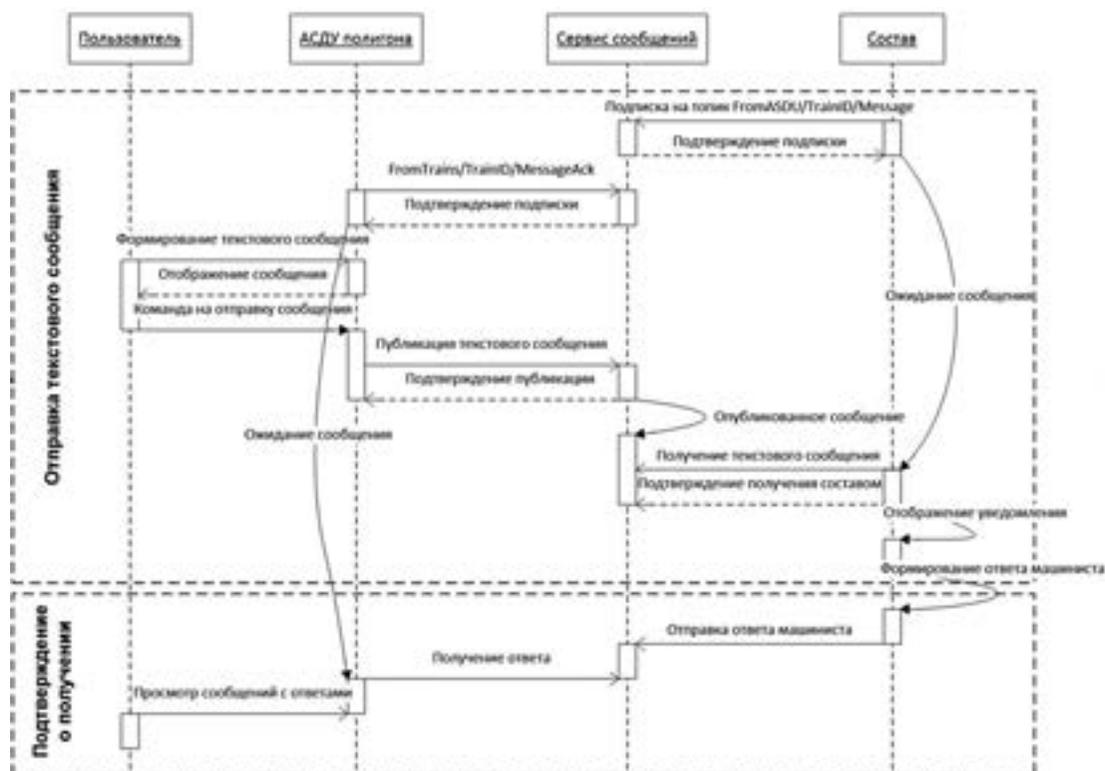


Рис.2. Пример прикладного сценария

Таблица 1. Примеры потоков сообщений

Название потока	Топик	Направление передачи	Регламент
1. Диагностическая информация по состоянию состава и его систем			
Передача диагностических данных по составу	FromTrains/ Diagnostic	=> АСДУ	Постоянно при работе на линии. Интервал 10 секунд при передаче полного пакета диагностической информации. Интервал 1 сек. – передача изменений и алертов.
2. Передача расписания на состав			
Передача изменённого расписания движения	FromASDU/ TimeSchedule	=> состав	По инициативе диспетчера.

- Передача расписания движения поезда из АСДУ в подвижной состав.

Пример прикладного сценария взаимодействия по передаче измененного расписания на состав приводится на рисунке 2.

В соответствии со сценариями взаимодействия проектируются решения по обмену сообщениями. Для каждого типа взаимодействия выделяется свой поток сообщений и определяется регламент обмена. Пример организации потоков сообщений представлен в таблице 1.

В результате получения сообщений от составов данные проходят стандартную обработку, после чего данные сохраняются в журналах АСДУ и представлены данным пользователю.

Журналы АСДУ также хранят сообщения, формируемые для отправки данных на составы, и представляют собой хранилище, состоящее из нескольких таблиц для разных типов данных и связанных с таблицей с данными по зарегистрированным составам на линии.

Интерфейсы пользовательского приложения в составе АСДУ обеспечивают просмотр содержимого журналов и построены по принципу master-detail

interface в виде синхронизированных таблиц отображения данных по выбранному составу.

Выводы

Механизмы взаимодействия «подвижной состав – АСДУ» апробированы в Московском метрополитене с применением имитаторов оборудования составов, а также в ходе проверки технических решений связи с реальным составом, выводимым на кольцевую линию в режиме «обкатки» (без пассажиров).

Отработанные решения покрывают поставленные задачи, а также открывают дополнительные возможности в развитии системы управления движением поездов метрополитена, основанные на оперативном взаимодействии бортовых систем с АСДУ.

Литература

1. Аверченков Е.О. Актуальные задачи модернизации системы управления движением поездов Московского метрополитена / Аверченков Е.О., Шумилкин С.В., Данько С.В. // Труды XXII Научно-технической конференции 60-летия НИИП В.В.Тихомирова
2. Касаткин А. Средства middleware и их классификация. PC Week/RE, №19 (193), 1999.



Суворов Д.В., ООО «Эксон Ай Ти», г. Минск, Республика Беларусь

Проект «Паспорт объектов железнодорожной инфраструктуры», как интеграционная платформа для создания систем управления реального времени

Железнодорожный транспорт РБ это сложная, территориально распределенная технологическая система, функционирующая в режиме реального времени.

В настоящее время остро стал вопрос уменьшения дискретности в предоставлении управляющим системам информации о местоположении подвижного состава, контроля безопасного нахождения персонала в местах проведения работ. Применение классических (напольных систем) идентификации местоположения для решения указанных задач экономически не целесообразно.

Второй актуальной задачей железнодорожного транспорта является повышение эффективности управления объектами инфраструктуры и организация эффективного доступа к технологической информации об объекте. В решении этой задачи применении объектных баз данных оказалось не эффективным в связи с высокими затратами на поддержание информации в актуальном состоянии и трудности создания пользовательских интерфейсов для доступа к данной информации (паспорта объектов, технико-распорядительные акты, учетный карточки, кадастровые данные, эксплуатационная документация).

В целях практического изучения возможностей создания объектной инфраструктурной модели Белорусской железной дороги, а так же создания систем управления и контроля движения подвижного состава, Центром научно-технической информации Белорусской железной дороги совместно с компанией ООО «Эксон Ай Ти», Белорусским государственным университетом транспорта и проектно-изыскательским республиканским унитарным предприятием «Институт «Белжелдорпроект», был реализован проект «Паспорт объектов железнодорожной инфраструктуры», который стал ядром для разработки множества прикладных приложений, использующих пространственную информацию.

В ходе реализации проекта был проведен анализ технологий применяемых на ОАО «РЖД» для формирования объектной модели инфраструктуры. На ОАО «РЖД» применяются методы аэрофотосъемки и лазерного сканирования с последующей обработкой и созданием объектной модели. Данная технология является затратной как на этапе первичного формирования информации, так и при поддержании в актуальном состоянии. В целях минимизации расходов на формирование объектной мо-

дели, был проведен комплекс работ по оценке возможности использования проектной документации (масштабных схем) в качестве источника информации для ГБД.

Специалистами ЦНТИ, БЖДПР, КТЦ, кафедры изыскания и проектирования дорог и кафедры Управления эксплуатационной работой БелГУТа разработана структура объектной модели БЖД, разработаны правила формирования объектной модели в средствах САПР, используемых при проектировании, которые затем были реализованы ООО «Эксон Ай Ти» в виде программного модуля CADObject, представляющего собой уникальную разработку, позволяющую производить автоматизированную трансформацию документации, подготовленной в среде САПР, в геоинформационную базу данных.

CADObject

Главным отличием CADObject от стандартных способов обмена данными между САПР и ГИС является создание объектной модели данных при конвертации. Такой подход позволяет строить аналитические системы любого уровня сложности и использовать весь аналитический и математический аппарат ГИС и СУБД, для представления и анализа данных, сохраняя полную идентичность графического представления объектов САПР. Кроме того CADObject осуществляет в соответствии с классификатором верификацию распознаваемых данных, как пространственную, так и атрибутивную.



Рис.1. Пример конвертации данных из САПР в ГИС с созданием объектной модели данных и построением на её основе аналитической системы. Проект «Паспортизация объектов железнодорожной инфраструктуры»:

- Данные САПР. Каждый объект состоит из множества примитивов с соответствующим множеством записей в базе данных
- Преобразование данных в ГИС формат с построением объектной модели. Каждому объекту соответствует единственная запись в таблице и одно графическое отображение.
- Построение аналитических систем основанных на объектной модели данных.

Таким образом в результате проекта получилась полная пространственная и атрибутивная база данных всей инфраструктуры БЖД. В настоящее время база синхронизирована по средством API с серверами «Национального кадастрового агентства», что позволило иметь всегда актуальную информацию о земельных участках и строениях, принадлежащих БЖД и значительно расширило круг решаемых задач.

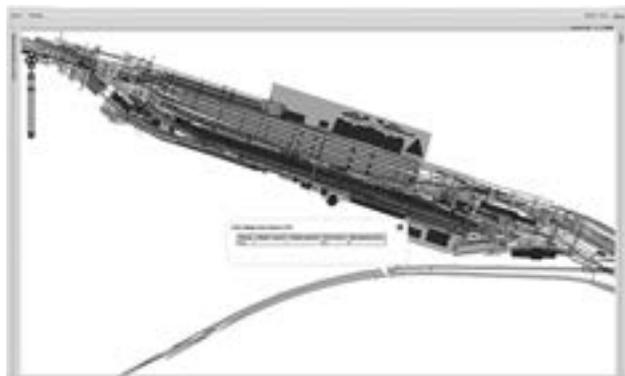


Рис.2. Пример визуализации в ГИС БЖД масштабного плана станции Минск-Пассажирский.

Экспорт в среду ГИС объектной модели из средств САПР позволяет ответить на вопросы «Какой объект?» и «Где находится объект?». Но из САПР мы не можем получить информацию в каких технологических процессах участвует объект, как он влияет на другие объекты, по каким правилам взаимодействует с окружающей средой. Решение данных задач лежит в плоскости математического аппарата обработки пространственных запросов среды ГИС и формирования правил взаимодействия объектов.

В ходе проекта был сформулирован перечень практических задач, позволяющих создать интеллектуальную ГБД. В основу решения данной задачи положена идея научить объекты «видеть» друг друга, и определяя взаимное влияние формировать технологические связи.

Важно отметить, что внедрение ГИС само по себе не дает экономической эффективности. Значительный экономический эффект достигается только при построении на основе паспорта объекта ГИС приложений. Ниже приведено краткое описание разрабатываемых и уже разработанных приложений.

«Атлас БЖД»

В рамках проекта была разработана web-система «Атлас БЖД», предназначенная для коллективной разработки картографических материалов с применением веб-интерфейсов (к таким материалам относятся: атласы станций и остановочных пунктов, устройств СА-ИПС, КТСМ). Данные в системе «Атлас БЖД» формируются по правилам объектной модели, и могут быть интегрированы в любое технологическое приложение

требующее применение геоинформации, что позволяет делать специализированные ГИС приложения. Система «Атлас БЖД» обеспечивает возможность самостоятельной разработки картографических материалов специалистам линейных предприятий в рамках предоставленных полномочий.



Рис.3. Интерфейс web- приложения «Атлас БЖД»

С применением системы «Атлас БЖД» возможно создание геозакрепленной графической модели сети подземных коммуникаций содержащих координаты ответственных узлов, поворотов трассы, ответвлений и д.р. Использование графической модели сети в совокупности с применением GPS-навигаторов, позволит исключить непродуктивные земляные работы и дополнительные измерения, значительно сократив время восстановительных работ.

Единая база объектов недвижимости

Приложение синхронизирует информацию из базы БЖД и базы Национального кадастрового агентства по всем объектам недвижимости. Синхронизация с бухгалтерским ПО позволяет автоматизировать расчеты.



Рис.4. Интерфейс web- приложения «Единая база объектов недвижимости»

Трекинговые приложения

В настоящее время предприятиями БЖД накоплен достаточный опыт использования средств спутниковой навигации, как на транспортных средствах, так и носимых индивидуальных трекеров. Сочетание средств спутниковой навигации и объектной базы инфраструктуры позволяют решать широкий комплекс задач.

Разработанный в рамках проекта сервер обработки трекинговой информации позволяет на основании данных о географических координатах контрольного объекта (локомотива, путейской бригады) определить их нахождение относительно объектов железнодорожной инфраструктуры и передавать данную информацию в сторонние системы. На рисунке приведен пример взаимодействия трекинговой информации с инфраструктурной моделью станции.



Рис.5. Трекинг движения маневрового локомотива на станции Минск-пассажирский.

Информационно-управляющие системы

Одним из возможных предложений созданных на базе ГИС, может стать АСУ «Центр управления чрезвычайными ситуациями». Наличие объектной модели инфраструктуры, возможностей контроля местоположения технических средств и персонала, возможность интеграции с внешними сервисами (к примеру метеорологическими) – позволяет создать эффективный инструмент управления в ЧС.

Информационные приложения технологического характера

WEB-технологии позволяют значительно повысить доступность информации для оперативного персонала железной дороги. Для этих целей разработаны следующие приложения:

- автоматическое формирование немасштабных технологических схем;
- мобильные приложения для различных служб.

Представленный проект реализован на основе свободного программного обеспечения (GeoServer, PostgreSQL, PostGis), что позволило значительно сократить стоимость реализации и решить проблему импортозамещения, которая очень актуальна в последнее время. Однако в случае необходимости подобные решения могут быть реализованы на базе коммерческого ПО.



Панин В.В., ОАО «НИИАС», г. Москва

Залуцкий М.И., Рубцов Д.В., Прокофьева Е.С., МГУПС (МИИТ), г. Москва

Сквозная технология организации перевозочного процесса как инструмент снижения эксплуатационных расходов железных дорог

На сегодняшний день, в условиях дефицита пропускной способности инфраструктуры, растет необходимость выработки единых подходов к рациональной организации вагонопотоков в формате «Грузоотправители + ОАО «РЖД» + Грузополучатели».

В настоящее время отсутствует реализация единой сквозной технологии организации перевозочного процесса, последовательно содержащей все ее составные элементы. План формирования поездов, график движения поездов, техническое нормирование, технологические процессы работы технических и грузовых станций, единые технологические процессы работы путей необщего пользования и станций примыкания, оперативное планирование поездной и грузовой работы, как элементы эксплуатационной технологии, трудно координируемы между собой в связи с различными критериями эффективности.

Можно определить ряд сопутствующих проблем, играющих роли негативных факторов, усугубляющих существующую ситуацию. Наиболее острыми из них являются дефицит вместимости железнодорожных путей из-за накопления избыточных вагонных парков, которые оказывают негативное влияние на показатели эксплуатационной работы и объем выполняемых перевозок. Избыток вагонных парков ухудшает маневренность железнодорожной инфраструктуры, а также влияет на уровень использования перерабатывающей способности.

Существует несоответствие перерабатывающей способности станций примыкания и суммарной перерабатывающей способности всех терминалов, примыкающих к этой станции. Такая несогласованность приводит к возникновению эксплуатационных затруднений и, как следствие, к ухудшению использования перерабатывающей способности инфраструктур общего и необщего пользования.

Дефицит вместимости путевого развития станции при наличии избыточного парка вагонов является причиной исключения части станционных путей из работ по пропуску и переработке потока поездов, что усложняет организацию вагонопотоков и приводит к оперативному отклонению от нормативных направлений следования или временному оставлению от движения. Такие решения зачастую являются эффективными с точки зрения текущей эксплуатационной обстановки, но при оценке экономической эффективности приводят к росту срыва сроков доставки и финансовым потерям ОАО «РЖД».

Необходимо рассматривать станции примыкания и железнодорожные пути необщего пользования как единую систему переработки вагонопотока со взаимовязанной единой сквозной технологией работы.

Приоритетной задачей в современных условиях является стабилизация положения железнодорожной отрасли на рынке транспортных услуг и снижение эксплуатационных расходов на предприятиях железнодорожного транспорта. Одним из источников снижения затрат ОАО «РЖД» по основной деятельности может являться применение технологических решений, объединяющих всех участников перевозочного процесса, включая грузоотправителей и грузополучателей, в единую технологическую цепочку с разработкой общих норм и критериев оценки качества транспортных услуг. Следствием реализации подобных сквозных технологий будет являться рост экономической эффективности работы вагонных парков, а также использования инфраструктуры общего и необщего пользования.

Для изменения ситуации и совершенствования механизмов планирования подвода поездов к станциям выгрузки или порожних вагонов к станциям погрузки необходимо при расчете результирующей перерабатывающей способности учитывать структуру вагонопотоков и их характеристики.

Данное мероприятие создает предпосылки для рационализации соответствующих операций в эксплуатационной работе железнодорожной инфраструктуры, в том числе во взаимодействии с другими видами транспорта.

Основой организации бесперебойного и ритмичного транспортного обслуживания потребителей услуг железнодорожного транспорта должна быть сквозная согласованная автоматизированная технология управления перевозками и грузовой работы на основе объективной и достоверной информации от всех сторон, участвующих в процессе доставки грузов на всех этапах перевозки.

Для реализации автоматизированной технологии необходимо создать единое информационное пространство железнодорожной транспортной системы, обеспечивающее взаимодействие автоматизированных систем всех участников перевозочного процесса: АСУ клиента, АСУ собственника, АСУ оператора и АСУ перевозчика (ОАО «РЖД»).

Автоматизированная технология основывается на применении полигонных АСУ для согласования заявок

и оперативного управления вагоно- и поездопотоками, а также АСУ работой транспортного узла для выполнения согласованного сменно-суточного планирования работы инфраструктуры общего и необщего пользования. Результатом планирования является непрерывный согласованный сменно-суточный план поездной, грузовой и маневровой работы всех участников транспортного процесса.

На основании данных единого информационного пространства железнодорожной транспортной системы, заявок на перевозку, и их оперативных изменений, автоматизированная технология сможет обеспечить автоматизацию бизнес – процессов в области планирования эксплуатационной работы на направлении:

- оценка возможности исполнения и согласования заявок на перевозку массовых грузов в адрес пунктов погрузки/выгрузки и перевалки (пограничных переходов и портов) с учетом сложившейся эксплуатационной обстановки на сети железных дорог и текущего положения на станциях;
- имитационное моделирование работы полигона взаимодействующих железнодорожных направлений сети ОАО «РЖД» с учетом ресурсов, наличия временных инфраструктурных ограничений и управляющих воздействий;
- расчет прогноза эксплуатационной работы полигона на заданный горизонт планирования и определение потребного числа локомотивов и локомотивных бригад на прогнозные размеры грузового движения;
- согласованное пономерное сменно-суточное планирование поездной, грузовой и маневровой работы станций и путей необщего пользования;
- оперативное регулирование поездной работы с учетом емкости станционных путей технических станций на подходах, фактической ситуации в пунктах выгрузки/погрузки и перевалки, наличия грузов, подхода судов, метеорологической обстановки и т.д.;
- контроль выполнения планов, адаптивная разработка рекомендаций по устранению отклонений.

Автоматизированная технология позволит учитывать фактическую загрузку элементов инфраструктуры на начальном этапе согласования заявок на перевозку за счет совершенствования механизмов планирования, исключающего прием к исполнению перевозок, имеющих вероятность создания коллапса в пунктах выгрузки, погрузки, а также приоритизации заявок, имеющих признаки комплексного логистического подхода – с признаками перевозки под сдвоенную операцию, маршрутные, по жестким ниткам графика.

Критериями для составления согласованного пономерного сменно-суточного плана эксплуатационной работы является:

- приоритетное прикрепление к заявкам вагонов в на-

личии на станциях по отношению к вагонам в подходе (минимизация простоя вагонов в ожидании подачи);

- минимизация маневровой работы станций по формированию групп вагонов для подачи на места погрузки и выгрузки;
- подбор вагонов по технологическим признакам (станции назначения, роду груза, рода подвижного состава, грузополучателю и другим) с целью выделения маршрутов, организованных перевозчиком для технологических целей (для снижения нагрузки на сортировочных станциях, эффективного использования тяги и т.д.).

На основании данных единой модели перевозок и грузовой работы диспетчерский аппарат должен осуществлять контроль исполнения планов и, используя прогнозную модель перевозочного процесса, производит их корректировку в зависимости от сложившейся обстановки. С помощью автоматизированных систем должен производиться объективный анализ выполнения сменно-суточных заданий, осуществляется фиксация нарушений плана, определение «узких» мест и инфраструктурных ограничений, анализ причинно-следственных связей и производится выдача рекомендаций.

Применение предлагаемых методов позволяет определить рациональные параметры технологии взаимодействия железнодорожных инфраструктур общего и необщего пользования и на этой основе повысить надежность доставки грузов и подвода порожних вагонов в пункты погрузки в установленные сроки, а также – увеличить возможности взаимодействующих инфраструктур по объемам предъявляемых перевозок.

Литература

1. Бородин А.Ф. Эффективно использовать станционные мощности // Железнодорожный транспорт, 2006. – № 6 – С. 37-43.
2. Бородин А.Ф., Панин В.В. Единые технологические процессы магистрального и промышленного транспорта: поиск новых подходов // Железнодорожный транспорт. – 2007. – №20. – С. 24-28.
3. Сайбаталов Р.Ф., Бородин А.Ф. Вагонный парк, инфраструктуру и управление движением – к общему знаменателю // Железнодорожный транспорт. – 2014. – № 11. – С. 26-34.
4. Колесникова Е.С., Панин В.В. Проблемы в организации перевозок массовых грузов. Наука и техника транспорта, 2011. – № 1. – С. 34-38.
5. Прокофьева Е.С., Панин В.В. Месячное и сменно-суточное прогнозирование эксплуатационной работы на сети железных дорог ОАО «РЖД». Труды Международной юбилейной научно-технической конференции «Современные проблемы развития железнодорожного транспорта и правления перевозочным процессом». М., 2015.

Тимченко В.С., Институт проблем транспорта им. Н.С.Соломенко РАН, г. Санкт-Петербург

Оценка возможности освоения прогнозируемых объемов перевозок грузов морского порта методом имитационного моделирования процессов железнодорожных перевозок

Важной проблемой, возникающей при необходимости освоения возрастающих объемов перевозок, является своевременное развитие железнодорожной инфраструктуры. Необходимость больших объемов длительно окупаемых инвестиций ставит задачу количественного обоснования достаточности предлагаемых технических и технологических решений при минимально возможных затратах.

Проблема решается на основе определения потребной пропускной способности и сравнения ее с наличной при различных вариантах реконструкции инфраструктуры и организации перевозок.

Теоретические исследования и практика доказали преимущества определения наличной пропускной способности с учетом всего множества значимых факторов методом имитационного моделирования процессов перевозок [1-5].

В статье предлагается метод комплексной оценки пропускной и провозной способностей железнодорожной линии, обслуживающей морской порт, на основе использования имитационного моделирования и «эквивалентных схем» путевого развития технических станций и предпортового железнодорожного узла.

На основе прогнозов ежегодных объемов железнодорожных перевозок по родам грузов рассчитываются потребности в подвижном составе и среднесуточное количество груженых и порожних поездов, определяющих потребную пропускную способность железнодорожного участка.

Количество физических вагонов соответствующих типов в составах, перевозящих прогнозируемые рода грузов в каждый год рассматриваемого периода, параметры составов и потребная пропускная способность определяются по формулам, представленным в табл. 1.

При оценке пропускной способности путевого развития предпортовых станций и грузовых терминалов предлагается заменять «эквивалентной схемой», которая учитывает количество и полезную длину путей, их специализацию, длительности занятия поездами всех категорий, род перегружаемого груза и максимальное количество вагонов в сутки, перерабатываемых каждым терминалом.

Задаваемые на перспективу доли поездов в сутки с i -м родом груза на j -й год, определяются по формуле:

$$\alpha_{pzij} = N_{pzij} / \sum_{i=1}^k N_{pzij}, \forall ij,$$

Где N_{pzij} – количество поездов с i -м родом груза, планируемых к перевозке за сутки j -го года;

k – количество таких родов груза.

Поскольку необходимо освоить прогнозируемые объемы перевозок всех родов грузов за год, то приоритет поездов при моделировании принимается равным их доле от общего количества $\alpha_{pzij}, \forall ij$, что иллюстрируется гистограммой (рис. 1).

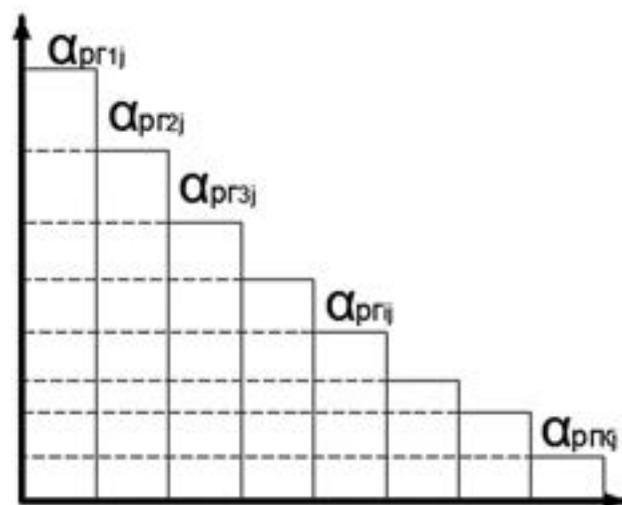


Рис.1. Диаграмма приоритетов поездов

Первоначально поезда пропускаются по участку из группы, обладающей максимальным приоритетом (α_{pr1j}). При достижении равенства оставшегося их количества с поездами из следующей группы (α_{pr2j}) поезда случайным образом выбираются из обеих групп. После достижения равенства их количеств в обеих группах с количеством поездов в следующей группе (α_{pr3j}) выбор происходит из трех групп и так далее до последнего поезда в группе с минимальным приоритетом (α_{prkj}) или до отсутствия возможности пропуска еще одного поезда из оставшихся. Такой подход обеспечивает определение наличной пропускной способности и соответствующей ей провозной способности по всем родам грузов.

Организация движения грузовых поездов по железнодорожному участку предусматривается в режимах пропуска заданного или максимального количества грузовых поездов всех категорий в сутки.

Таблица 1. Определение параметров составов и потребной пропускной способности железнодорожного участка.

№	Формулы	Обозначения	Пояснения	Ед. изм.
1	$n_{звс}^{ijk} = (\alpha_{звс}^{i1} l_{нд}^j) / l_{удв}^{i1} + \dots + (\alpha_{звс}^{ir} l_{нд}^j) / l_{удв}^{ir}$ $\forall i, j, k$	$n_{звс}^{ijk}$	Количество физических вагонов k -го типа $k = 1, r$, в составе, перевозящем i -й род груза (округляется до целого числа в меньшую сторону)	
		$\alpha_{звс}^{ik}$	Доля вагонов k -го типа, используемых для перевозки i -го рода груза $i = 1, m$	
		$l_{нд}^j$	Полезная длина станционных путей в условных вагонах на j -й год, $j = 1, n$	м.
		$l_{удв}^{ik}$	Условная длина вагона с параметрами k -го типа, используемого для перевозки i -го рода груза	
2	$Q_{сн}^{ij} = \sum_{k=1}^r q_{звс}^{ik} k_z^{ik} n_{звс}^{ijk}, \forall i, j, k$	$Q_{сн}^{ij}$	Масса нетто состава, перевозящего i -й род груза в вагонах k -го типа, за j -й год	т.
		$q_{звс}^{ik}$	Грузоподъемность вагона k -го типа, используемого для перевозки i -го рода груза	т.
		k_z^{ik}	Коэффициент использования грузоподъемности вагона k -го типа, используемого для перевозки i -го рода груза	
3	$M_{озу}^{ij} = M_{оз}^{ij} \mu_y^{ij}, \forall i, j$	$M_{озу}^{ij}$	Планируемый объем перевозок i -го рода груза на j -й год, перевозимый унифицированными поездами	т.
		$M_{оз}^{ij}$	Планируемый объем перевозок i -го рода груза на j -й год, млн.т./год	т.
		μ_y^{ij}	Доля планируемого объема перевозок i -го рода груза на j -й год, перевозимая унифицированными поездами	
4	$M_{озм}^{ij} = M_{оз}^{ij} (1 - \mu_y^{ij}), \forall i, j$	$M_{озм}^{ij}$	Планируемый объем перевозок i -го рода груза на j -й год, перевозимый тяжеловесными поездами	т.
5	$N_{зр}^{ij} = M_{озу}^{ij} / 365 Q_{сн}^{ij}, \forall ij$	$N_{зр}^{ij}$	Количество унифицированных поездов в сутки, необходимое для перевозки заданного объема i -го рода груза в j -й год	
6	$N_{зрм}^{ij} = M_{озм}^{ij} / 365 Q_{снм}^{ij}, \forall ij$	$N_{зрм}^{ij}$	Количество тяжеловесных поездов в сутки, необходимое для перевозки заданного объема i -го рода груза в j -й год	
7	$n_{нр}^{jk} = \sum_{i=1}^m n_{звсч}^{ijk} - \sum_{i=1}^m n_{звсч}^{ijk}, \forall i, j, k$	$n_{нр}^{jk}$	Количество порожних вагонов в сутки для перевозки заданного объема i -го рода груза в вагонах k -го типа, в j -й год	
		$n_{звсч}^{ijk}$	Количество груженых вагонов k -го типа для перевозки i -го рода груза в j -й год в нечетном направлении	
		$n_{звсч}^{ijk}$	Количество груженых вагонов k -го типа для перевозки i -го рода груза в j -й год в четном направлении	
Направление движение порожнего вагонопотока определяется по знаку результирующего значения: «+» – порожние вагоны следуют в четном направлении, «-» – порожние вагоны следуют в нечетном направлении.				
8	$N_{нрч}^{ij} = (N_{нр}^{jk} - N_{днр}^{ij} n_{д.нр}^{ijk}) / n_{нрч}^{ijk}, \forall i, j, k$	$N_{нр}^{ij}$	Количество порожних поездов в сутки, необходимое для перевозки заданного объема i -го рода груза в вагонах k -го типа, в j -й год	
		$N_{днр}^{ij}$	Количество длинносоставных порожних поездов в сутки, необходимое для перевозки заданного объема i -го рода груза в j -й год	
		$n_{днр}^{ijk}$	Количество порожних вагонов k -го типа в длинносоставном поезде для перевозки i -го рода груза в j -й год	
		$n_{нрч}^{ijk}$	Количество порожних вагонов k -го типа в поезде для перевозки i -го рода груза в j -й год	
9	$N_{нсч}^j = \sum_{i=1}^m (N_{зрч}^{ij} + N_{зрмч}^{ij} + N_{нрч}^{ij} + N_{днрч}^{ij}), \forall i, j$	$N_{нсч}^j$	Суммарное количество поездов в сутки, обращающихся на рассматриваемом железнодорожном участке в четном направлении в j -й год	
10	$N_{нсч}^j = \sum_{i=1}^m (N_{зрч}^{ij} + N_{зрмч}^{ij} + N_{нрч}^{ij} + N_{днрч}^{ij}), \forall i, j$	$N_{нсч}^j$	Суммарное количество поездов в сутки, обращающихся на рассматриваемом железнодорожном участке в нечетном направлении в j -й год	

В режиме пропуска заданного количества в сутки грузовые поезда отправляются с начальных станций участка по расписанию, формируемому на начало каждых модельных суток случайным образом по заданному закону распределения, с учетом перерабатывающей способности и специализации терминалов.

Различие ходовых свойств поездов обуславливается родом перевозимых грузов (тип подвижного состава, количество вагонов в составе, масса), а также тяговыми характеристиками локомотивов.

В процессе имитационного моделирования грузовой «поезд-скоростной» может быть пропущен по всему участку в интервале между поездами, следующими по расписанию или ранее пропущенными. Это событие фиксируется на карте состояний моделируемого участка.

«Поезд-тихоход» в этом интервале вызвал бы движение на желтый огонь светофора идущего за ним поезда. Поэтому медленно идущий грузовой поезд в такой ситуации не пропускается. Интервал между этими поездами не используется, а грузовой поезд ставится на обгон на предыдущей станции и через заданные интервалы времени повторяются попытки пропустить его в следующий интервал. При этом длительность стоянки поезда в ожидании пропуска ограничивается настройками модели и в случае превышения времени стоянки попытки пропустить поезд прекращаются.

В следующий момент времени отправления делается попытка пропустить очередной случайно выбранный поезд. Пропуск его начинается только после пропуска предыдущего поезда, но не ранее намеченного времени отправления.

Модель процесса предусматривает возможность ввода требования пропускать не пропущенные поезда в следующие сутки.

В режиме пропуска максимального количества грузовых поездов в сутки моменты времени появления грузовых поездов на входе системы первоначально не задаются, а их приоритет определяется, как и в предыдущем режиме. Поезд пропускается по железнодорожной линии в ближайший момент модельного времени и реализует очередь типа *FIFO* – «первый вошел – первый вышел».

Возможности пропуска каждого поезда проверяются с начала суток, что обеспечивает использование каждого достаточного для пропуска поезда интервала времени подходящим по параметрам поездом.

В результате количество грузовых поездов, которое удастся пропустить за сутки в обоих режимах, становится случайной величиной, поскольку зависит от очередности пропуска поездов с различными ходовыми свойствами.

Зависимость количества поездов, пропущенных по двухпутному участку в каждые из 100 суток, от случайно выбранной их последовательности (рис. 2), показывает значительный диапазон изменения.

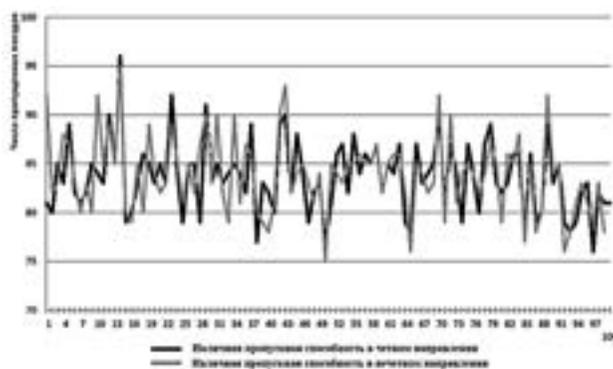


Рис.2. Зависимость количества грузовых поездов, пропущенных за сутки, от их очередности.

Поезд пропускается при свободности элементов маршрута, проверяемой в течение суток с шагом в тридцать секунд с помощью карты состояний, которая содержит информацию о длительностях занятия всех элементов. Если возможен выбор элементов маршрута (приемо-отправочные пути, изолированные секции), то выбирается кратчайший.

Моделирование условий пропуска поездов (рис. 3) иллюстрируют фрагменты графика движения и карты состояний участка, оборудованного трехзначной автоблокировкой с защитными участками и локомотивной сигнализацией.

Длительности горения на локомотивном светофоре красного огня обозначены на карте состояний черным цветом, красного с желтым – наполовину штриховкой и черным, желтого огня – штриховкой, а зеленого огня – отсутствием этих обозначений.

В соответствии с правилами тяговых расчетов линия хода поезда на графике движения (нитка графика) строится для центра тяжести поезда. Красный огонь на проходном светофоре горит с момента вступления головы поезда на ограждаемый этим светофором блок-участок (б/у) до момента освобождения хвостом поезда защитного участка, расположенного за следующим проходным светофором. В этот момент красный огонь на светофоре меняется на желтый, а при освобождении хвостом поезда следующего (б/у) – на зеленый. Поэтому для построения карты состояний нитки графика дополняются линиями хода головы и хвоста каждого поезда. Эти линии соответствуют длительностям проследования поездом расстояний, равных половине его длины, определяемых тяговым расчетом.

На карте состояний отображаются изменения показаний локомотивного светофора на локомотиве поезда, движущегося за впереди идущим поездом, в зависимости от его сближения с впереди идущим. Движение головы поезда по блок-участкам соответствует перемещению по карте состояний левой грани прямоугольников черного цвета. Так, поезд 2012 сна-

чала занимает (б/у) 16, затем одновременно 16 и 14, только 14, 14 и 12 и т.д.

При освобождении хвостом поезда 2012 (б/у) 16 навстречу идущему за ним поезду 64 в рельсовую цепь начинает поступать код красно-желтого огня, и, в случае вступления поезда 64 на этот б/у, на локомотивном светофоре загорелся бы красно-желтый огонь. При вступлении поезда 64 на предыдущий б/у (18) на его локомотивном светофоре загорелся бы желтый огонь, и при вступлении на б/у (20) – зеленый.

Карта состояния показывает, что при занятии поездом 64 б/у 10 на локомотивном светофоре загорелся бы желтый огонь, что означает недопустимое сближение с поездом 2012, одновременно занимающим блок-участки 6 и 4, и потребовалось бы снижения скорости поезда 64 (штриховая линия на графике). Поэтому поезд 2012 в этом интервале не пропускается (штриховая линия) и обгоняется поездом 64.

На б/у 10 (см. рис.3) поезд-скоростной 2014 нагоняет поезд-тихоход 2012 и поэтому два б/у следует на желтые огни светофоров со скоростью не более 60 км/ч. До занятия поездами 2014 б/у 6 поезд 2012 успевает остановиться на боковом пути станции А для обгона. Готовится маршрут, и открываются входной и выходной светофоры на станции А для безостановочного пропуска поезда 2014. На впереди расположенном проходном светофоре 6 этому поезду загорается зеленый огонь, поэтому далее он следует с установленной скоростью.

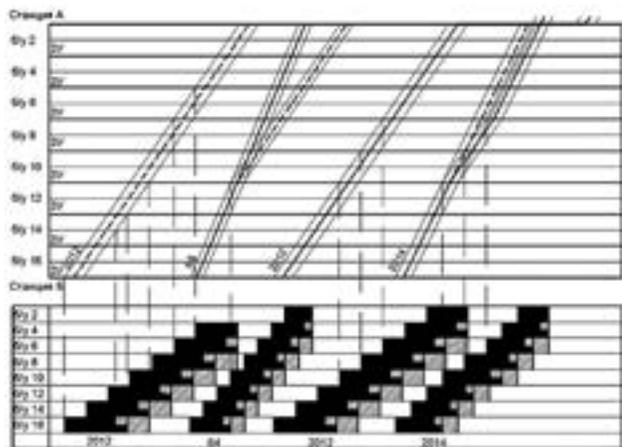


Рис.3. Отображение пропуска поездов на графике движения и карте состояний.

При необходимости первоочередного пропуска поезда 2014, например, по причине малого оставшегося времени работы локомотивной бригады, поезд 2012 потребует обогнать на станции Б.

Моделирование учитывает, что при выполнении ремонтных работ поезд задерживается на начальной станции, а при наличии свободного пути останавливается на промежуточной станции до окончания «окна». При этом учитывается необходимость сокращенного

опробования тормозов, в случае стоянки поезда более установленного времени.

Для линий с высоким значением коэффициента использования пропускной способности в имитационной модели предусмотрена возможность использования безобгонного движения поездов.

После моделирования пропуска поездов за статистически достаточное количество суток определяется закон распределения пропускной способности, математическое ожидание и дисперсия которого позволяют оценить с заданной доверительной вероятностью статистически обоснованную наличную пропускную способность железнодорожной линии и риск ее не достижения.

Наличная пропускная и провозная способности сравниваются с потребными, и делается вывод о возможности освоения заданных объемов перевозок при рассматриваемом варианте развития инфраструктуры и организации движения с учетом ежегодного предоставления «окон». Потребность в «окнах» определяется программным блоком «Окна», учитывающим пропущенный тоннаж по ремонтируемому участку на длительную перспективу [5].

Рассчитываются суммарное время задержек поездов предоставлением «окон», а также количество поездов, которые должны быть отклонены на параллельные железнодорожные линии. Определяются участковые, технические и маршрутные скорости поездов разных категорий, массы перевезенных грузов, провозная способность и другие показатели процессов перевозок.

Литература

1. Кокурин И.М., Миняев С.Е. Оценка технико-экономической эффективности вариантов реконструкции железнодорожной сети на основе имитационного моделирования // Транспорт. Наука, техника, управление. – 2004. – №6. – С. 20 – 26.
2. Кокурин И.М., Кудрявцев В.А. Оценка пропускной способности железнодорожных линий на основе имитационного моделирования процессов перевозок // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2012. № 2 С. 18-22.
3. Кокурин И.М., Тимченко В.С. Методы определения «узких мест», ограничивающих пропускную способность железнодорожных направлений // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2013. – Выпуск 1 (34). – С. 15 – 22.
4. Кокурин И.М., Тимченко В.С. Методология улучшения железнодорожного транспортного обслуживания морских торговых портов // Международная научно-практическая конференция Транспорт России: проблемы и перспективы – 2012 – СПб: ИПТ РАН, 2012. С. 31 – 35.

5. Кокурин И.М., Тимченко В.С. Оценка методом имитационного моделирования возможности освоения прогнозируемых объемов перевозок грузов по железнодорожной линии, обслуживающей морской порт // Вестник транспорта Поволжья. – 2014. – №6. – С. 39-44
6. Тимченко В.С. Оценка перспективной пропускной способности участков железнодорожной сети с учетом предоставления «окон», на основе применения имитационного моделирования процессов перевозок // Молодой ученый. — 2014. — №2. — С. 199-204.



Рахмангулов А.Н., Осинцев Н.А., ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И.Носова», г. Магнитогорск
Юань Т., Харбинский политехнический университет, г. Харбин (КНР)

Комплексный подход к созданию интеллектуальных транспортных систем на промышленных предприятиях*

Введение

В настоящее время одним из основных факторов, ограничивающих повышение качества перевозок в условиях роста сложности структуры грузопотоков, является недостаточный уровень согласованности взаимодействия магистральных видов транспорта и транспорта необщего пользования на участках непосредственного транспортного обслуживания производства и в транспортных узлах. Например, средние годовые потери промышленного железнодорожного транспорта металлургического предприятия, включающего в себя несколько десятков промышленных станций и перерабатывающего 2-3 тыс. вагонов в сутки, составляют 70-80 млн руб. или более 20% от общих затрат, связанных с простоем вагонов [1], а суммарные потери, возникающие в результате несогласованного взаимодействия магистрального и промышленного железнодорожного транспорта, достигают до 1,5 млрд руб. в год.

Основные причины возникновения таких потерь связаны с [2]:

- рассогласованием графиков подвода вагонов и грузов на предприятие и фактической потребности в них;
- нерациональным выбором маршрута движения вагонопотоков на путях необщего пользования;
- неоптимальным использованием порожних вагонов на предприятии;
- недостаточным взаимодействием в оперативном режиме железнодорожных станций по пропуску и переработке вагонопотоков.

В таких условиях требуется совершенствование существующей методологии организации взаимодействия производства и транспорта, обеспечивающих непосредственное транспортное обслуживание грузовладельцев. Такая методология должна основываться не только на современных достижениях в технологии и организации железнодорожных перевозок, но и учитывать экономические и информационные факторы и ограничения, возникающие в процессе взаимодействия промышленного и магистрального железнодорожного транспорта.

Логистическое представление системы управления транспортом промышленных предприятий

Эффективной формой организации взаимодействия магистрального и промышленного железнодорожного транспорта являются транспортно-технологические системы (ТТС), основанные на системной реализации разноуровневых функций управления перевозочным процессом, включающих в себя [5]: техническую эксплуатацию транспортных средств и устройств; регулирование технологических процессов на уровне отдельных грузовых фронтов, промышленных железнодорожных станций и маневровых районов; организацию вагонопотоков на путях необщего пользования; взаимодействие с магистральным транспортом на полигоне примыкания; развитие инфраструктуры ТТС на региональном и национальном уровнях. Выделение уровней ТТС основано на группи-

* Исследование выполнено при поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (РФФИ), грант № 15-37-51307

ровке функций управления перевозочным процессом, а также на оценке величины риска, связанного с выбором нерациональных управленческих решений на том или ином уровне.

К техническому уровню отнесены функции управления ТТС, обеспечивающие достижение параметров транспортно-логистических потоков, определенных на более высоких уровнях организации. Такие функции характерны для подсистемы ремонтов, осуществляющей техническое обеспечение перевозочного процесса, а также участков непосредственного взаимодействия различных видов транспорта и обслуживаемого производства на грузовом фронте или терминале.

К технологическому уровню отнесены функции управления ТТС, обеспечивающие изменение параметров перевозочного процесса с целью сокращения транспортно-складских (логистических) издержек при изменениях мощности вагонопотоков. Такие функции реализуются на участках транспортного обслуживания нескольких грузовых фронтов (грузовая или промышленная железнодорожная станция) или нескольких технологически или территориально связанных производств.

На организационном уровне реализуются функции изменения организации перевозок, а также разработки стратегии развития ТТС. К организационному уровню отнесены железнодорожные пути необщего пользования и железнодорожные транспортные узлы.

На социально-экономическом уровне реализуются функции развития транспортно-логистической инфраструктуры в рамках региона или страны, а также мониторинг взаимовлияния социально-экономических факторов и уровня развития транспортно-логистической инфраструктуры. К социально-экономическому уровню организации ТТС отнесены региональные транспортно-технологические системы как совокупность системы магистрального железнодорожного транспорта и промышленного железнодорожного транспорта региона, а также макрологистические ТТС, представляющие собой организованную совокупность грузоотправителей, грузополучателей и транспорта вдоль струй материальных логистических потоков.

Разнообразие функций управления функционированием ТТС на разных уровнях, противоречивость критериев выбора оптимальных решений, необходимость переработки большого объема данных делает актуальной задачу обоснования рационального состава и структуры интеллектуальной транспортной системы в составе информационной системы ТТС.

Исследования в области применения различных математических методов и моделей при планировании и организации транспортного процесса, выполнен-

ные в период с 1960-х до начала 1990-х [2,3] позволили сформировать методологическую базу управления транспортными потоками в интегрированных транспортных системах. В настоящее время активно проводятся исследования [2], посвященные вопросам совершенствования и практического использования методов формирования и функционирования интеллектуальных транспортных систем.

Однако современный этап развития интеллектуальных систем на транспорте характеризуется ориентацией на штатное (в соответствии с запланированной схемой) или оперативное нештатное (путем выбора из множества вариантов запланированных схем) управление транспортными потоками [1]. При этом функциональная и физическая архитектура современных интеллектуальных транспортных систем в недостаточной степени поддерживает принятие решений в экстренных ситуациях (ситуационное управление), не предусмотренных запланированными схемами. Ещё одним существенным недостатком современных интеллектуальных транспортных систем на транспорте является фрагментарность выполняемых функций и решаемых задач, недостаточная системность управления перевозочным процессом на различных организационных уровнях.

В таких условиях требуется совершенствование существующих подходов к формированию интеллектуальных транспортных систем, в частности, на промышленном железнодорожном транспорте, на основе комплексного рассмотрения разнообразных функций управления перевозочным процессом.

Состав математического обеспечения интеллектуальных транспортных систем промышленных предприятий

Требования к техническому обеспечению перевозочного процесса и качеству грузовых перевозок являются параметрами транспортно-логистических потоков на низших организационных уровнях ТТС. Эти требования корректируются с учетом транспортных затрат и используются для организации и управления перевозочным процессом на III-V организационных уровнях (табл. 1). Однако условия для организации функционирования ТТС по критерию минимума суммарных транспортно-складских затрат создаются только на высших организационных уровнях, поскольку только при наличии устойчивых организационных, информационных и финансово-экономических связей между элементами ТТС возможна реализация разработанного комплекса транспортно-логистических методов и моделей [4,5].

Локальные критерии оптимальности для каждого уровня организации ТТС подчинены глобальному оп-

тимуму – минимуму доли логистических затрат в себестоимости готовой продукции, что обеспечивается минимизацией размера транспортно-грузовой партии.

Обобщенная математическая модель оптимизации параметров логистических потоков в транспортно-технологических системах

В основу обобщенной математической оптимизационной модели для ТТС положена идея возможности достижения баланса между потребностями грузовладельцев уменьшать размеры запасов и транспортных партий, с одной стороны, и уровнем использования резервов пропускной способности и вместимости транспортных устройств (фактически, транспортных затрат), с другой. При этом определяющим фактором в таком балансе выступают потребности грузовладельцев, а возможности транспорта следует рассматривать в качестве ограничений. Такая модель должна определять оптимальную структуру всех логистических потоков по критерию обеспечения заданной структуры и интенсивности выходных потоков (соответствующих заданным требованиям к качеству грузовых перевозок), с учетом существующих ограничений на запасы финансовых ресурсов (ограничение по затратам) и информационных ресурсов (возможности информационной системы).

Практическое использование такой модели в составе информационно-управляющих систем в оперативном режиме на низших уровнях организации ТТС позволит выбирать технологические способы управления перевозочным процессом, а также определять параметры этих способов. На стратегическом уровне управления – на более высоких уровнях организации ТТС такая модель может применяться для выявления и устранения ограничений динамического баланса, т.е. «узких» мест, не позволяющих обеспечить потребный уровень качества грузовых перевозок. К таким ограничениям также относятся инфраструктурные ограничения ТТС, поэтому модель динамического баланса может использоваться для оценки и обоснования инвестиционных решений по развитию ТТС.

Комбинированная аналитико-имитационная модель интеллектуальной транспортной системы промышленного предприятия

Разработанная модель представляет собой комбинацию системно-динамических (поточковых) и дискретно-событийных имитационных моделей с комплексом оптимизационных моделей. Системно-динамическая часть разработанной модели позволяет оценивать пропускную способность и вместимость транспортных устройств при различных параметрах вагонопотоков в системе. Модельные значения потоков предлагается использовать в качестве исходных

данных для дискретно-событийной модели технологии работы железнодорожных станций ТТС. При помощи дискретно-событийной модели железнодорожных станций ТТС описываются технологические способы, реализуемые в рамках разработанного комплекса транспортно-логистических методов организации функционирования ТТС (рис. 1).

В качестве программного продукта, реализующего различные подходы к имитационному и математическому моделированию в рамках одной комбинированной аналитико-имитационной модели, целесообразно использовать систему AnyLogic [6]. Данная система имитационного моделирования объединяет три известных подхода к имитационному моделированию – системно-динамический, дискретно-событийный и агентный. Для решения оптимизационных моделей в разработанной модели используется механизм интеграции в имитационную модель внешних библиотек программ линейной и нелинейной оптимизации, а также встроенный инструмент комбинаторной оптимизации. Система AnyLogic обеспечивает взаимодействие разработанной комбинированной аналитико-имитационной модели с базами данных существующих информационных систем.

Методические основы формирования интеллектуальной транспортной системы промышленного предприятия

Общий алгоритм предлагаемой методики предусматривает построение на каждом уровне организации ТТС комбинированной аналитико-имитационной модели, которая используется для оценки возможностей реализации соответствующего метода организации функционирования ТТС, расчета изменяющихся параметров перевозочного процесса и элементов ТТС, а также для определения необходимых затрат финансовых и информационных ресурсов. В результате решения модели на каждом вышестоящем уровне организации ТТС определяются требования к параметрам транспортно-логистических и ресурсных потоков на нижестоящих уровнях. Для проверки возможности соблюдения этих требований производятся соответствующие расчеты на моделях систем нижних уровней.

Полученные от моделей разных уровней данные используются для решения комбинированной аналитико-имитационной модели интеллектуальной транспортной системы (рис. 1), учитывающей ограничения по глобальным ресурсным потокам. В результате такой глобальной оптимизации производится корректировка параметров транспортно-логистических потоков на каждом уровне организации. Результатом расчетов с использованием данной методики является согласованный стратегический план (целевые программы) развития ТТС. Этот план определяет состав работ и



Рис. 1. Схема взаимосвязи блоков комбинированной аналитико-имитационной модели ТТС

этапность не только усиления пропускной способности и вместимости инфраструктурных элементов ТТС, но и необходимость реализации разработанных методов организации функционирования ТТС, в результате чего обеспечивается целенаправленное повышение уровня организации ТТС.

Основными исходными данными, необходимыми для выполнения расчетов по моделям являются: величины пропускной, перерабатывающей способности и вместимости элементов ТТС; параметры транспортно-логистических потоков – их интенсивность, структура, показатели неравномерности и т.п.; содержание информационных потоков – графики движения, планы формирования поездов, требования к своевременности перевозок, показатели уровня социально-экономического развития региона и т.д.; интенсивность финансовых потоков – фактические затраты на функционирование ТТС и плановые (минимальные) размеры инвестиций в развитие инфраструктуры ТТС.

Разработанная методика формирования комплексной интеллектуальной транспортной системы промышленного предприятия основана на последовательной реализации транспортно-логистических методов организации функционирования ТТС (табл. 1):

1. Оценка эффективности существующей системы ремонтов, оптимизация ресурсов в системе ремонтов и расчет максимального уровня надежности технических средств и устройств, который способен обеспечить система ремонтов при имеющихся запасах ресурсов;
2. Расчет оптимальных размеров транспортно-грузовых партий для всех грузовых фронтов исследуемой системы. При этом производится идентификация фактического уровня организации, на котором находится исследуемая ТТС, и корректировка величины транспортных затрат, на основании которых производится расчет величины оптимальной транспортно-грузовой партии. Помимо транспортных затрат, корректируются складские затраты, если ТТС находится на IV уровне организации, и определены требования к своевременности перевозок;
3. Составление оперативного плана распределения вагонов по грузовым фронтам, учитывающего сложность структуры вагонопотоков и уровни загрузки промышленных железнодорожных станций. Определение требований к информационным потокам (информационной системе), обеспечивающим сбор и

Таблица 1. Комплекс транспортно-логистических методов организации функционирования ТТС

Уровень организации ТТС (основной элемент уровня)	Метод управления (транспортно-логистический метод)	Критерий оптимальности и краткая характеристика метода
I. техническое обеспечение перевозочного процесса (технические средства и устройства)	оптимальное распределение ресурсов в системе ремонта в соответствии с потребностями в исправной технике	минимум прироста отказов технических средств и устройств
II. непосредственное взаимодействие различных видов транспорта, транспорта и обслуживаемого производства (грузовой фронт)	оптимизация размера транспортно-грузовой партии	минимум суммарных транспортно-складских затрат в зависимости от выбранного типа системы управления запасами
III. транспортное обслуживание нескольких грузовых фронтов (железнодорожная станция)	оптимизация распределения вагонов по грузовым фронтам	минимум транспортных затрат на выполнение заявок по подаче-уборке вагонов
IV. транспортное обслуживание нескольких технологически связанных производств одного предприятия или нескольких территориально близких предприятий (железнодорожный район)	методы «структурной технологии» (оптимизация загрузки пропускной способности и вместимости транспортных устройств)	минимум транспортных затрат за счет оперативного выравнивания величин пропускной способности и вместимости транспортных устройств путем применения системы технологических способов «структурной технологии»
V. железнодорожные пути необщего пользования промышленного предприятия или их совокупность, обслуживаемых одним ППЖТ (железнодорожный путь необщего пользования)	оптимизация маршрутов движения вагонопотоков	минимум транспортных затрат на продвижение вагонопотоков в результате его пропуска по станциям с более низким оперативным уровнем использования пропускной способности
VI. железнодорожный транспортный узел	оптимизация структуры вагонопотоков	минимум транспортных затрат и потерь у клиентов транспорта в результате изменения скорости продвижения отдельных групп вагонов путем изменения состава формируемых в транспортном узле поездов
VII. региональная ТТС	оптимизация усиления пропускной и перерабатывающей способности элементов региональных ТТС	минимум суммарных региональных транспортно-производственных затрат в результате последовательного развития транспортной инфраструктуры региона
VIII. макрологистическая ТТС	оптимизация размещения элементов макрологистической ТТС	минимум доли логистических затрат в себестоимости продукции в результате рационального размещения элементов макрологистической ТТС

передачу информации о дислокации вагонов на промышленных железнодорожных станциях, потребностях грузовых фронтов в вагонах и грузах, данных о поездах, движущихся по контактному графику и маневровым порядком, а также данных о факторах, влияющих на уровень загрузки пропускной способности станций. Определение требований к финансовым потокам – размерам материального стимулирования маневровых диспетчеров и дежурных по станциям в зависимости от сложности структуры вагонопотока, перерабатываемого на каждой станции;

4. Выбор оптимальной последовательности реализации способов структурной технологии. Определение требований к усилению пропускной способности и вместимости элементов ТТС, необходимой для выполнения заданных требований к своевременности грузовых перевозок при заданной (фактической) интенсивности, структуре и неравномерности грузо- и вагонопотоков в системе;
5. Оценка уровня загрузки промышленных железнодорожных станций путей необщего пользования и расчет оптимальных маршрутов продвижения вагонопотоков. Определение требований к развитию

пропускных и перерабатывающих способностей станций и перегонов;

6. Оптимизация структуры вагонопотоков в железнодорожном транспортном узле путем перераспределения объемов сортировочной (маневровой) работы между станциями узла. Оценка возможностей информационной системы по сбору и обработке данных, необходимых для расчета коэффициента срочности вагонопотоков, а также для координации действий по перераспределению объемов сортировочной работы в узле, определение необходимых инвестиций в развитие информационной системы;
7. Оценка уровня пропускной и перерабатывающей способности элементов транспортной инфраструктуры региона, выбор способов усиления пропускной и перерабатывающей способности, оценка эффективности выбранных способов, их ранжирование по величине эффективности и определение этапности реализации;
8. Оценка и мониторинг показателей социально-экономического развития регионов размещения элементов макрологистической ТТС, выбор мест размещения элементов ТТС.

Как видно из представленной последовательности, разработанная методика основана на идее первоочередной реализации менее затратных организационных и технологических мероприятий, суть которых заключается в перераспределении имеющихся резервов пропускной и перерабатывающей способности транспортных устройств.

Заключение

Предлагаемый комплексный подход к формированию и функционированию интеллектуальной транспортной системы, основанный на использовании комбинированной аналитико-имитационной модели ТТС в совокупности с транспортно-логистическими методами организации функционирования железнодорожных ТТС позволяет повысить эффективность взаимодействия производства и транспорта в условиях усложнения структуры грузопотоков и роста требований к качеству грузовых перевозок.

Основное отличие разработанной аналитико-имитационной модели интеллектуальной транспортной системы промышленного предприятия от известных заключается в использовании различных подходов к имитационному моделированию в рамках одной модели ТТС, что позволяет моделировать функционирование ТТС на всех уровнях организации этих систем, разрабатывать стратегии повышения уровня организации ТТС. Разработанная комбинированная анали-

тико-имитационная модель позволяет оптимизировать параметры транспортно-логистических потоков в ТТС, а также выбрать рациональную последовательность способов и методов организации функционирования железнодорожных промышленных транспортно-технологических систем.

Литература

1. Рахмангулов А.Н., Осинцев Н.А., Копылова О.А., Мишкурлов П.Н. Интеллектуализация транспортного обслуживания промышленных предприятий // *Сталь*. 2014. №4. С.115-118.
2. Intelligent Transportation Systems – Problems and Perspectives / Sladkowski A., Pamula W. Publisher: Springer International Publishing. 2016. 303 p.
3. Hasan S.F., Siddique N., Chakraborty S. Intelligent Transport Systems: 802.11-based Roadside-to-Vehicle Communications. 2013. Springer. 157 p.
4. Ключевая роль транспорта в современном мире: монография / А. Л. Блохин, К. Ф. Боряк, Т. В. Коваленко и др. – Одесса: КУПРИЕНКО СВ, 2013. – 163 с.
5. Рахмангулов, А.Н. Железнодорожные транспортно-технологические системы: организация функционирования: монография / А.Н. Рахмангулов. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И.Носова, 2014. 300 с.
6. Borshchev A. The Big Book of Simulation Modeling: Multimethod Modeling with Anylogic 6. 2013.



Рубцов Д.В., МГУПС (МИИТ), г. Москва
Галкин А.О., ОАО «ИЭРТ», г. Москва

Актуальные особенности разработки и автоматизации плана формирования грузовых поездов и маршрутов

В современных условиях, с учетом расширения перечня услуг, предлагаемых ОАО «РЖД» грузоотправителям и отправителям подвижного состава, план формирования поездов не остается статичным и архитектурно изменяется, предлагая более гибкие варианты условий включения вагонов в поезда и организации вагонопотоков в целом.

Изменение условий и технологии организации вагонопотоков вызывает необходимость реализации новых подходов как к исполнению плана формирования грузовых поездов, так и его контролю и анализу. В связи с этим актуализируются и перерабатываются основные нормативные документы и автоматизированные системы, обеспечивающие планирование, организацию и учет перевозок грузов на железнодорожном транспорте.

Так как план формирования поездов включает в себя план формирования поездов на технических и грузовых станциях и план (организации) формирования маршрутов, необходимо рассматривать изменения в каждом из этих разделов.

В связи с приватизацией парка вагонов, появлением крупных операторских компаний и уходом от регулировки порожним парком растет необходимость разработки плана формирования порожних вагонов. Но не только это условие вызвало изменения в плане формирования грузовых поездов – управляемыми переменными плана формирования также стали и направление вагонопотоков с подборкой по роду груза, роду подвижного состава, а также по определенным грузополучателям. Каждое из этих дополнительных условий предназначено и может использоваться для оптимизации нагрузки на конкретные элементы инфраструктуры (станции, участки, инфраструктуры необщего пользования), а также распределения работы между различными технологическими средствами организации перевозочного процесса (локомотивный парк, сортировочные устройства и др.).

Изменения в плане маршрутизации были направлены на разделение отправительской маршрутизации и маршрутизации, организованной перевозчиком для технологических целей, для определения актуальных правил и условий исполнения и контроля маршрутных перевозок с целью обеспечения их максимальной эффективности.

Разрабатываемые автоматизированные системы направлены на создание новой нормативной базы плана формирования грузовых поездов с учетом особых условий формирования, а также плана организации маршрутов с учетом актуальной классификации типов назначений.

Основным программным инструментом разработки и ведения технологии организации вагонопотоков в ОАО «РЖД» является Автоматизированная система организации вагонопотоков. Ее развитие в период последних 3 лет обеспечивает подготовку крепкого фундамента для изменений не только структуры плана формирования грузовых поездов и маршрутов, но и всей идеологии его разработки и ведения.

предлагаемые решения обеспечивают подход к изменениям не с точки зрения каждой конкретной станции, а полигонных корректировок, включающих целые направления. При данном подходе определение эффективности решений и их соответствия правилам логической структуры плана формирования представляются более однозначными и обоснованными.

Работа с полигонными корректировками вызывает интенсификацию развития технологий взаимодействия между специалистами, отвечающими за различные железные дороги и сетевой уровень. Технология более тесного взаимодействия еще только развивается, и основой этого процесса должна стать комплексная автоматизация.

Инженер по плану формирования, используя новые программные средства, должен видеть совокупность нескольких оценок вносимых изменений – технологической, экономической, а также аналитической (основанной на данных о фактических вагонопотоках). Ранее данные задачи решались обособленными АРМами, хоть и увязанными в единый контур с помощью информационного взаимодействия. Сегодняшняя реализация АСОВ предусматривает оценку фактических перевозок в соответствии с планом формирования грузовых поездов и маршрутов, а также предоставление пользователю технологических и экономических расчетов по предпринимаемым изменениям еще на стадии их проектирования.

При объединении этих задач в единой автоматизированной системе было принято решение о том, что изменения в план формирования должны вноситься

не только единичными действиями, но и с использованием автоматизации последовательностей действий, названных пошаговыми корректировками. Данный инструмент внесения изменений призван обеспечить возможность корректировки плана формирования в терминах реализации конкретной технологической задачи с соответственными предлагаемыми пользователю действиями и шагами. Шагом может являться не только внесение изменений, но и их технологическая и экономическая оценка, а также предложение самих вариантов изменений.

Встроенные в систему инструменты анализа исполненных перевозок реализуют новую технологию оценки фактических поездопотоков в части соответствия плану формирования грузовых поездов и маршрутов по принципу неполного соответствия. Алгоритмы системы используют оценку характеристик вагонов, находящихся в составе поезда, и на основе определения соответствия нормативному описанию назначений выявляют, является ли поезд удовлетворяющим плану формирования по каждому конкретному вагону. Гибкость указанного метода заключается в возможности учитывать не только полностью правильно сформированные составы, но и составы с нарушениями условий формирования. Это позволяет систематизировать такие ситуации и принять соответствующие меры. На данный момент алгоритмы реализованы и внедрены в эксплуатацию в части плана маршрутных перевозок, однако в ближайшее время в промышленном режиме данный подход будет расширен и на основной план формирования грузовых поездов.

Результатом работы алгоритмов, представляемым пользователю, является возможность выполнения

аналитических выборок при ведении нормативного плана в едином интерфейсе системы, что повышает обоснованность принимаемых решений.

Технология организации диспетчерского управления перевозочным процессом должна опираться на нормативный план формирования грузовых поездов и маршрутов. Однако нельзя исключать необходимость оперативных решений по изменению направления вагонопотоков в связи с непредвиденными ситуациями (сбои, чрезвычайные ситуации). Характер таких изменений, как правило, распространяется на ограниченные объемы вагонопотоков, вплоть до конкретных поездов. Автоматизация данного направления должна обеспечить прозрачность в фиксации и контроле оперативных решений, а также предусматривать повышение их обоснованности за счет согласования со специалистами, выполняющими разработку и ведение нормативного плана формирования грузовых поездов и маршрутов. Инженер по плану формирования может предложить варианты решений, обоснованные технологическими и экономическими расчетами, а специалист диспетчерского аппарата – обеспечить их сопоставление с текущей эксплуатационной обстановкой, и в случае принятия – неукоснительное исполнение.

Литература

1. Бородин А.Ф., Панин В.В. Единые технологические процессы магистрального и промышленного транспорта: поиск новых подходов // Железнодорожный транспорт. – 2007. – №20. – С. 24-28.
2. Бородин А.Ф. Эксплуатационная работа железнодорожных направлений // Труды ВНИИАС. Выпуск 6 – М.: Бизнес-Проект, 2008. – 316 с.



Такмазьян А.К., ООО «Програмпарк», г. Москва
Шелудяков А.В., ОАО «НИИАС», г. Москва

Мультиагентное решение методом аукционов многопродуктовой транспортной задачи с объединенными потребностями

Введение

При планировании ремонтов тягового подвижного состава на железной дороге расчет прогнозной потребности в ремонтах производится на основе среднесуточного пробега локомотива, вычисленного для заданной серии для каждого эксплуатационного локомотивного депо (ТЧЭ). Например, на ДРЛ-1 Восточного полигона, к ТЧЭ «Нижеудинск» приписаны локомотивы серий ТЭМ2, ВЛ60К, ВЛ60ПК, ВЛ65, ВЛ80К, ВЛ80Р, ВЛ80Т, ВЛ85. Или к ТЧЭ «Иланская» приписаны локомотивы серий ВЛ60К, ТЭМ2А, ВЛ60ПК, ТЭМ2У, ТЭМ2К, ТЭМ2, 2ТЭ10У, 2ТЭ10В, ВЛ80Т, 2ТЭ10М, ВЛ80Р, ВЛ80С, ТЭМ2УМ. Для каждой серии известен средний пробег внутри каждого из депо, следовательно, можно сделать прогноз пробега локомотива на любую дату в будущем, что позволяет, при известных нормах межремонтных пробегов, прогнозировать количество ремонтов разной величины для каждой секции внутри депо.

В то же время мощности ремонтных предприятий (ремонтных депо или заводов) позволяют варьировать загрузку этих предприятий по типам серий внутри определенных групп. Например, Улан-Удэнский электровозоремонтный завод (ЭРЗ) может проводить в год капитальный ремонт 520 секций локомотивов любой из серий ВЛ85, ВЛ80С, ВЛ80Р, ВЛ80ТК, ВЛ80СК, 2ЭС5К, 3ЭС5К, причем количество ремонтов каждой серии может быть произвольным, при ограничении на сумму всех ремонтов.

При долгосрочном планировании ремонтов прогноз отправной точки при передислокации локомотива (секции) на ремонтное предприятие производится на основании депо приписки локомотива. Таким образом, процесс планирования формализуется с помощью транспортной задачи на графе железнодорожной сети, где истоками служат станции расположения эксплуатационных депо, стоками – станции расположения локомотиворемонтных заводов (для заводских ремонтов), и станции расположения локомотиворемонтных депо (для деповских ремонтов). Ценами ребер графа могут служить расстояния, либо времена следования по кратчайшему допустимому маршруту сети.

Транспортная задача в данной постановке – это многопродуктовая транспортная задача, мощности стоков в которой объединены по некоторым группам продуктов. Такая задача не сводится к связанной по-

следовательности однопродуктовых транспортных задач, и требует специальных усложненных методов решения.

В работе [1] был предложен эффективный алгоритм решения транспортной задачи методом аукционов, позволяющий реализацию в распределенных системах (например, в мультиагентной парадигме). Особенность предложенного метода в том, что он не требует какой-либо модификации при появлении дополнительных ограничений на решения, например, таких как в описанной выше задаче. В методе достаточно просто оставить в двудольном графе задачи только те ребра, которые ведут от истоков к стокам, имеющим среди своих мощностей указанную серию истока, и удалить остальные ребра, не соответствующие возможным размещениям ресурсов. В процессе мультиагентных аукционов заявки-ставки будут рассылаться только вдоль существующих ребер, и, таким образом, ограничения на тип ресурсов будут соблюдены без введения типов ресурсов, никак не влияя на сам метод.

В докладе представлена реализация метода работы [1] на языке AgentSpeak в среде Jason [2], выполненная в рамках разработки программного обеспечения для автоматизированной подсистемы «Управления тяговым хозяйством на Восточном полигоне». В качестве метода определения завершения работы использован алгоритм Хуана.

Постановка задачи

Определить потоки f_{ij} , максимизирующие суммарную полезность (минимизирующие суммарную стоимость) перевозки разнотипных сущностей от N поставщиков с мощностями α_{ik} к M потребителям с мощностями β_j , при заданной полезности (стоимости) перевозки u_{ij} одной единицы от поставщика i к потребителю j , варьируя потоки

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \sum_{k=1}^{L_i} u_{ij} f_{ijk} \rightarrow \max$$

при ограничениях $\sum_{j=1}^M f_{ijk} = \alpha_{ik}, \quad i = 1, \dots, N$

$$\sum_{k=1}^{L_i} \sum_{i=1}^N f_{ijk} = \beta_j, \quad j = 1, \dots, M \quad 0 \leq f_{ij}$$

При заданных $u_{ij}, \alpha_{ik}, \beta_j$ определить f_{ijk} .

Мультиагентная структура

Каждому поставщику и каждому потребителю ставится в соответствие интеллектуальный агент, отвечающий за хранение внутренней для данного агента информации и информационный обмен с другими агентами. Кроме того, вводится управляющий агент, координирующий работу остальных агентов. Агенты подразделяются на тех, кто назначает ставки и на тех, кто принимает и обслуживает эти заявки-ставки. Далее используются термины агент-заявитель (являющийся проактивным агентом) и агент-респондент (реактивный агент).

Метод аукционов

Инициализация

Каждый респондент (j) в каждый момент времени содержит набор пар (поток-цена) – (f_{ij}, p_{ij}) , где $i = 0, \dots, M$, в котором содержатся распределенные уже потоки по заявителям, вместе со значением цены, которая была назначена при данном распределении. В начальный момент времени в наборе есть только одна пара (β_j, p_{0j}) , состоящая из нулевой цены и полной вместимости респондента. При любом изменении (а также начальном возникновении) этого набора респондент рассылает всем заявителям его обновленный вариант, ассоциированный с собственным идентификатором (то есть подписанный).

Формирование заявок

Каждый заявитель (i) при получении любого такого набора $\{(f_{kj}, p_{kj})\}$ от любого респондента, прежде всего, проверяет наличие нераспределенных единиц своей мощности. При их отсутствии заявитель не производит никаких дальнейших действий. Если какие-то единицы еще не распределены по респондентам, инициируется процесс создания и рассылки заявок всем респондентам. В начале этого процесса из набора $\{(f_{kj}, p_{kj})\}$ исключаются пары, принадлежащие данному заявителю. После чего, из оставшегося набора формируется список пар $L = \{(u_{ij} - p_{kj}, f_{kj})\}$, упорядоченный по первой компоненте, смысл которой – выигрыш данного заявителя от размещения собственных единиц у данного респондента. Потом из начала сформированного списка выбирается такая минимальная последовательность S , суммарные потоки которой,

$$\sum_{l=1}^m f_{k_l j_l},$$

превышают нераспределенное количество данного заявителя. Далее формируются новые значения потоков и цен для новой заявки. Потоки для респондентов, не включенных в сформированную последовательность S , не изменяются: $\hat{f}_{ij} = f_{ij}$, $j \neq j_1, \dots, j_m$. Потоки для всех респондентов из сформированной последовательности S , кроме последнего, формируются так, чтобы увеличить их на все

потоки данного респондента, включенные в последовательность S . Наконец, последний поток вычисляется так, чтобы полностью распределить всю мощность заявителя.

После того, как сформированы потоки, для них формируются значения заявочной цены, таким образом, чтобы перебить существующую цену. Для этого заявитель вычисляет собственное значение «выгоды при отказе» w_i (это значение равняется выгоде заявителя при получении отказа от респондента и размещении его заявки у ближайшего по выгодности «свободного» респондента). После чего каждому запрашиваемому потоку \hat{f}_{ij} ставится в соответствие предлагаемая за него новая цена $b_{ij} = u_{ij} - w_i + \varepsilon$, где ε – малая положительная константа, на которую будет превышена цена «максимального выигрыша» заявителя.

В результате формируется список заявок $B(i) = \{(\hat{f}_{ij}, b_{ij})\}$, которые рассылаются респондентам (j) из этого списка с подписью агента-заявителя.

Обработка заявок

Каждый респондент (j) при получении любой заявки инициирует процесс выбора заявок для распределения своей мощности по заявителям. Итак, пусть $P(j) = \{(\hat{f}_{ij}, b_{ij})\}$ – список заявок, полученных респондентом, упорядоченный по убыванию предложенной цены. Выберем из начала этого списка подряд список $P_1(j)$, следующим образом: если суммарный поток заявок не превышает мощность респондента, то $P_1(j) = P(j)$; иначе, $P_1(j)$ – минимальный головной подсписок $P(j)$, суммарный поток которого полностью покрывает мощность респондента. Новые потоки для респондента формируются следующим образом: все потоки членов из списка $P_1(j)$, кроме последнего, полностью размещаются у респондента по заявленным ценам. Последний поток ограничивается сверху остаточной мощностью респондента, с ценой, соответственно заявке. Потоки, не вошедшие в $P_1(j)$, не размещаются.

После чего, весь процесс, описанный в данном разделе, повторяется: респондент рассылает всем заявителям обновленную информацию о своих потоках и ценах за них, и т.д., до тех пор, пока у заявителей (суммарная мощность которых, по построению, меньше суммарной мощности респондентов) не останется нераспределенных единиц мощности. В работе [1] показано, что каждый шаг данного процесса улучшает суммарную полезность потоков системы, и, следовательно, алгоритм сходится.

Упорядочение обработки заявок агентами

Агенты-респонденты при получении заявок на обработку и агенты-заявители, при получении обновленных потоков, помещают сигнал о них в собственную очередь сигналов, которые затем обрабатываются последовательно.

Метод Хуана для определения завершения работы алгоритма.

Для определения фазы завершения работы была использована идея метода весов (Huang's algorithm). Набор переменных величин, хранимый каждым агентом, дополняется еще одним значением – текущим весом агента. Управляющий агент в начале работы содержит в себе вес всей системы, а вес остальных агентов равен нулю. Основная идея состоит в делегировании агентами друг другу, вместе с запросом на выполнение какой-либо деятельности, некоторой доли своего веса. При завершении любым агентом своей работы, его текущий вес добавляется к весу агента-диспетчера, после чего обнуляется. Таким образом, равенство веса агента нулю означает, что он в данный момент находится в состоянии ожидания. Поскольку при описанной процедуре суммарный вес всех агентов не меняется, то признаком завершения работы всего алгоритма будет ситуация, когда вес агента-диспетчера станет равным его начальному значению: это будет означать, что вес всех остальных агентов равен нулю и деятельность по поиску решения завершена.

В методе аукционов алгоритм Хуана применяется следующим образом: в начале агент-диспетчер, после порождения и инициализации агентов-заявителей и агентов-респондентов, рассылает заявителям команду к началу аукциона, присоединяя к ней долю своего

веса, обратно пропорциональную количеству заявителей плюс константа.

Агенты-заявители, при рассылке заявок, присоединяют к ним долю своего веса, обратно пропорциональную количеству респондентов плюс константа.

Агент-респондент, после обработки заявок и формирования и рассылки новых потоков всем заявителям, формирует список заявителей, которым отказано в размещении всей или части их заявки. Заявителям из сформированного списка рассылается дополнительное сообщение об отказе, вместе с долей своего веса респондента, обратно пропорциональной количеству заявителей плюс константа.

Обнуление и отсылка своего веса диспетчеру у заявителя происходит при отсутствии неразмещенных единиц своей мощности, а у респондента, при отсутствии необработанных заявок в очереди поступивших сообщений.

Литература

1. D.P. Bertsekas & D.A. Castanon. «The auction algorithm for the transportation problem.» *Annals of Operations Research* 20(1989), pp.67-96.
2. R. H. Bordini, J. F. Hübner, M. Wooldridge. «Programming Multi-Agent Systems in AgentSpeak using Jason». Wiley. 2007. 268 pp.



СЕКЦИЯ №2

УПРАВЛЕНИЕ ИНФРАСТРУКТУРОЙ. СПУТНИКОВЫЕ И ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В УПРАВЛЕНИИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

Розенберг И.Н., Дулин С.К., ОАО «НИИАС», г. Москва

Моделирование семантики в структуре геоинтероперабельности*

Введение

Установление геоинтероперабельности выходит за пределы простой возможности получить доступ к информации баз геоданных. Оно требует больше времени, так как заранее должен быть известен точный словарь баз геоданных. Но самое существенное – это то, что пользователи и провайдеры должны иметь релевантное понимание семантики запросов и ответов. В работе показано, что моделирование семантики должно быть глубоко внедрено в структуру геоинтероперабельности, обеспечивая исчерпывающее описание семантической геоинтероперабельности, лежащей в основе развития семантической протра. Словарь Вебстера (<http://www.m-w.com>) определяет «семантику» как «исследование значения и раздел семиотики, имеющий дело с отношением знаков и с тем, к чему они относятся...». Семантика также связана с коммуникацией и значением сообщения, переданного составляющими его знаками. По существу, значение устанавливает связь между знаками и соответствующим им явлением. Семиотика допускает два понимания сути знака: логико-философское, введенное Ч.Пирсом, и лингвистически-коммуникационное, предложенное Ф.де Соссюром. В рамках логико-философского знака (sign, signifier) является некоторой сущностью (слово, изображение, символ, сигнал, вещь, физическое явление и т. п.), представляющей материальный или виртуальный объект в процессах познания и коммуникации [1].

1. Формирование геоонтологии

Сегодня ведущей парадигмой структурирования информационного контента являются онтологии, или

иерархические концептуальные структуры [2], которые формируются аналитиком на основе изучения и структурирования потоков информации, документов, протоколов извлеченных знаний и других источников. С методической точки зрения это один из наиболее систематических и наглядных способов структурирования и формализации знаний.

Онтологии – содержательные теории, которые включают общий набор распространяемых фактов, чье основное назначение – идентифицировать определенные классы объектов и отношений, которые существуют в некоторой части предметной области. Таким образом, неформально определенные онтологии – это соглашения об общедоступной концептуализации. Формальное определение основывалось бы на том, что онтология является (возможно, неполной) аксиоматизацией допустимых прикладных моделей. Другими словами, онтология состоит из основного словаря и отношений, используемых для описания некоторых аспектов действительности, включая ряд аксиом, связанных с предполагаемым значением словаря.

Следует заметить, что специфика географического мира в достаточной мере определяет параметры создания онтологий. Чтобы адекватно представлять географический мир, необходимо иметь компьютерные представления географических знаний (в первую очередь – изображений), которые способны фиксировать не только описательные атрибуты пользовательских концепций, но также и описывать геометрические и позиционные компоненты этих концепций. Эти представления также должны фиксировать про-

* Работа выполнена при поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (РФФИ), проекты №№ 15-29-06997 офб_м и 14-07-00040 А

пространственные и временные зависимости между экземплярами этих концепций.

В отличие от случая обычных информационных систем большинство пространственных и временных зависимостей не представлены в ГИС и чаще всего могут просто выводиться путем использования различных географических функций. Поэтому обязательно должна быть привнесена дополнительная семантика в схему географического приложения, семантические спецификации которой, являющиеся частью онтологии этого приложения, зафиксированы разработчиком модели. Новое поколение информационных систем должно обладать способностью обрабатывать семантическую неоднородность, возникающую в результате использования разнородных источников информации.

Использование множественных онтологий становится основной особенностью современных информационных систем, если в них предполагается поддержка семантики при интеграции информации. Онтологии могут фиксировать семантику информации, могут быть представлены в формальном языке и могут также использоваться, чтобы хранить связанные метаданные, допуская, таким образом, семантический подход к информационному интегрированию.

Онтология играет существенную роль в создании ГИС, так как она позволяет устанавливать соответствия и взаимосвязи среди различных типов геоданных – пространственных сущностей и отношений. Использование онтологий будет способствовать улучшению функционирования информационных систем, благодаря тому, что удастся избежать проблем, вызванных противоречиями между онтологиями, неявно внедренными в ГИС, конфликтами между онтологическими концепциями и реализацией, а также конфликтами между онтологиями «здравого смысла» пользователя и математическими концепциями программного обеспечения.

Можно заметить, что существующие концептуальные схемы баз геоданных могут быть весьма полезны для формирования онтологий, так как они – формальные документы, которые были разработаны, чтобы зафиксировать взгляд специалиста на некоторую предметную область реального мира. Поэтому существующие концептуальные схемы могут использоваться, чтобы создать приблизительные онтологии, в то время как существующие онтологии могут использоваться, чтобы генерировать концептуальные схемы с помощью или без помощи опытного разработчика модели [3, 4].

Имеются три различных уровня абстракций, как для онтологий, так и для концептуальных моделей (рис. 1) [5].

Первый уровень формальный, на котором в конструкции онтологий и концептуальных схем включены абстрактные концепции. В случае онтологий на этом уровне мы имеем абстракции формальных особенностей сущностей, такие как понятия времени и пространства. В случае концептуальных схем на этом уровне мы находим основные идеи, взятые из концептуальных моделей данных, т. е. понятия, которые широко используются в концептуальном моделировании данных: объекты, поля и связи.

Когда мы сопоставляем содержание формального уровня с географическими приложениями, мы получаем второй уровень абстракции, или уровень типов геоданных.

Тип представления / Вид уровня	Онтология	Концептуальные модели
Формальный уровень	Абстракция формальных особенностей научных предметов: координаты, география, время, пространство	Понятия концептуального моделирования: объект(ов), область(и), отношение
Уровень логических типов данных прикладной области	Онтология географических видов: представление, местоположение, топология, географическая информация	Концептуальная модель и нотация: класс, пространственные отношения, пространственные ограниченные целостности
Прикладной уровень	Онтология инфраструктуры объектов ГИС «РЯД»: станции, перекрестки и др.	Концептуальная схема БД: атрибутивное описание сущностей ГИС «РЯД»

Рис. 1. Уровни онтологий

На этом уровне онтологии описывают словарь, который используется, чтобы представить действительное содержание знания о свойствах геоданных. Онтология географических понятий, которая описывает географическое пространство, географические объекты и явления географического пространства, явно присутствует на этом уровне.

На прикладном уровне онтологии более конкретны, являясь уточнением специализаций уровня типов геоданных, и формируются в соответствии с концепциями поля знания, заданного приложением. На этом уровне онтология – это способ осмысления набора концепций, позволяющего совместно и согласованно использовать его группой пользователей. В концептуальном моделировании данных на прикладном уровне примитивы концептуальной модели объединены, чтобы образовать удобочитаемые диаграммы, из которых можно получить детальные потребности приложения по организации данных. Следовательно, примитивы модели данных используются, чтобы определить концептуальную схему приложения, перемещаясь от уровня типов геоданных до прикладного уровня.

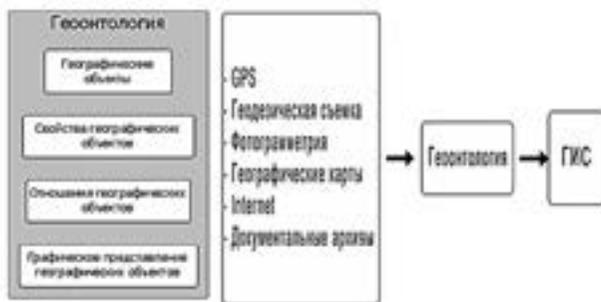


Рис. 2. Формирование геоонтологии

Представление пользовательских онтологий прикладной области в этом контексте рассматривается как существенная часть фиксации концепций информационного пространства. Исследование онтологического статуса пространственных типов данных [6] – наиболее актуальное направление в геоинформатике. В [7] впервые было введено понятие ГИС, управляемой онтологиями, призванной обеспечивать пользователей географической информацией возможностью достигнуть соглашения по основным сущностям географического мира. Идея управления с помощью онтологий заключается в том, что существенная часть географического знания зафиксирована процедурами, которые извлекают информацию из пространственных наборов данных, т. е. для этого необходимо создать онтологии не только для объектов некоторой области, но также и для намеченных действий, которые выражены процедурами, применимыми к набору данных, предназначенному для извлечения знания.

Модели географического мира должны сводиться друг к другу, а формальное описание геоинформационных сущностей может обеспечить создание онтологий географических видов (рис. 2).

2. Структура семантической геоинтероперабельности

В [8] было введено понятие интероперабельности, означающей способность клиентов одной системы использовать части другой системы без специальных условий. Здесь с позиции информатики основная суть определения – это способность использовать информацию, полученную в результате обмена.

В свою очередь, географическая интероперабельность – это способность информационных систем к 1) свободному обмену всех видов пространственной информации о Земле и об объектах и явлениях на, выше и ниже поверхности Земли; 2) совместному сетевому использованию программного обеспечения, предназначенному для управления такой информацией». Семантическая геоинтероперабельность заключается в обеспечении согласованного понимания смысла гео-

данных, например в процессе взаимодействия пользователей геопорталов при решении задач, требующих совместной обработки и использования ими геоданных, или при решении задач концептуального поиска в базах геоданных. Семантическая геоинтероперабельность принципиально отличается от синтаксической [8], так как в последнем случае речь идет только об обеспечении согласованной обработки и обмена геоданными на нескольких уровнях взаимодействия (сетевом, обменных форматах, вызовах удаленных процедур, запросов к базам геоданных).

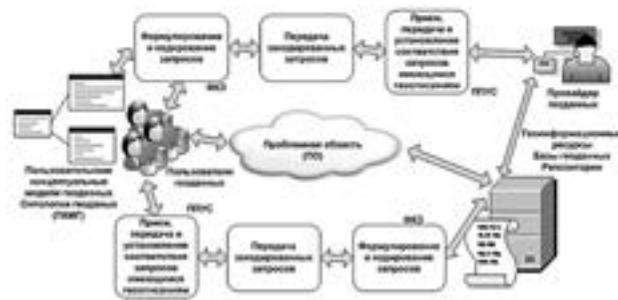


Рис. 3. Структура семантической геоинтероперабельности

Геоинтероперабельность можно сравнить с межличностным процессом коммуникации. Попробуем описать это в контексте взаимодействия двух агентов, т.е., пользователя (П) и провайдера данных (ПД), взаимодействующих на основе географической информации (рис. 3). П хотел бы получить информацию о некоторых географических характеристиках местности, пусть это дорожная сеть в некотором регионе. П посылает запрос дорожной информации к ПД по интернету (каналу коммуникации), используя собственный словарь. Как только запрос достигает ПД, ПД интерпретирует его, чтобы идентифицировать и собрать имеющуюся информацию для ответа на запрос П (например, улица Первомайская, Сиреневый бульвар и т.д.; пространственные пиктограммы, содержащие одномерные и двумерные объекты). В свою очередь, когда П получил ответ на свой запрос от ПД, он интерпретирует его, чтобы определить, удовлетворяет ли ответ посланному запросу. Геоинтероперабельность между двумя агентами существует, если посланный запрос удовлетворен. Здесь два агента используют свои собственные словари, чтобы выразить абстракции реальных явлений. Эта ситуация показывает четыре различных выражения действительности, обозначенных через ПО, ПКМГ, ФКЗ и ППУС. Эти выражения связаны друг с другом как части процесса коммуникации. Во-первых, есть топографическая действительность (ПО), поскольку она существует на данный момент и предъясняется П. Это референт для П.

Во вторых, П разработал свое собственное когнитивное представление ПО, т.е. ПКМГ как симбиоз ее наблюдения и структуры справочной информации, т.е. набора правил и знаний, используемых для абстрагирования явлений. Оно составлено на основе существенных свойств (например, геометрический объект, временные и описательные свойства, поведение и отношения), которые объединяются и структурируются в понятия (т.е. символизируются). Следовательно, понятие – это упрощенное представление реального явления или его части, которое соответствует символу восприятия. Таким образом ПКМГ состоит из онтологий, созданной П.

Так как понятия – это только теоретические представления реальных явлений, П не может передать их непосредственно. Следовательно, понятия должны быть преобразованы в физические формы (например, звуки, биты и байты, и т.д.), чтобы образовать сообщение. Этот процесс называется операцией кодирования. С ее помощью П преобразует понятия топографической действительности в знаки, такие как слова, сокращения, пунктуации, символы и пиктограммы, организованные определенным способом, например, «мост через реку». Эта часть коммуникации обозначена как ФКЗ и относится к организации знаков. После того, как сообщение закодировано, оно может быть отправлено по каналу коммуникации в сторону ПД. После передачи сообщение теряет свое значение и становится набором данных, передающихся с целью взаимодействия. Когда ПД получает сообщение, он начинает операцию декодирования, которая является необходимой для интерпретации сообщения. Так же, как и П, ПД полагается на свой собственный набор понятий, т.е. ППУС, чтобы определить соответствующее значение полученному сообщению. В нашем примере это соответствует «мост через реку». Здесь ППУС является онтологией ПД.

В то время, когда ПД придал значение сообщению, он инициирует поиск и сбор информации, которая позволяет выполнить запрос (т.е. Крымский мост, Строгинский мост и т.д.). В результате эта информация кодируется и помещается в канал коммуникации как данные для П. Эта часть коммуникации обозначена как ФКЗ.

Когда П получает ответ на свой запрос, он инициирует декодирование сообщения, идентифицирует понятия, которые он знает, чтобы придать значение сообщению, и, наконец, оценивает, отвечает ли сообщение правильно на его начальный запрос. Эта часть коммуникации обозначена как ППУС. Успешное взаимодействие соответствует установлению геоинтероперабельности между двумя агентами П и ПД.

Структура семантической геоинтероперабельности включает четыре различных случая (рис.3) семиотического треугольника Фреге (рис. 1), изображенные на рис.4.

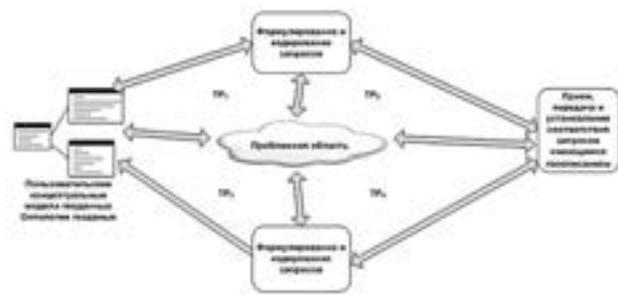


Рис. 4. Семиотика в структуре семантической геоинтероперабельности

Первый треугольник возникает как результат отношений между действительностью (ПО), онтологией П – (ПКМГ) и закодированным запросом (ФКЗ). Второй треугольник – отношения между действительностью (ПО), закодированным запросом (ФКЗ) и онтологией ПД (ППУС). Третий треугольник появляется в результате отношений между действительностью (ПО), онтологией ПД – (ППУС) и закодированным ответом (ФКЗ). Наконец, четвертый треугольник – это отношения между действительностью (ПО), закодированным ответом (ФКЗ) и онтологией П – (ПКМГ). Все это показывает, что моделирование семантики глубоко внедрено в структуру геоинтероперабельности и, таким образом, обеспечивает исчерпывающее описание семантической геоинтероперабельности в целом, которая лежит в основе развития семантической пространственной инфраструктуры данных и геосемантической сети Geosemantic Web.

3. Семантическая геоинтероперабельность через SDIs

Геоинтероперабельность представляет собой основу для развития и реализации пространственных инфраструктур данных (Spatial Data Infrastructures (SDIs)) [9]. Цель SDIs состоит в том, чтобы координировать полезный обмен и совместное использование географической информации с использованием соответствующих сервисов. SDIs – это средства разработки функциональной совместимости для географической информации. SDIs составлены из пяти элементов: методики, технологии, стандарты, человеческие ресурсы и релевантные действия, требуемые для сбора, обработки, управления, доступа, поставки и использования географической информации. SDIs были разработаны на основе референсной модели для Open distributed processing (RM-ODP) [10]. RM-ODP состоит из структуры пяти разделов: раздел предприятия, информационный раздел, вычислительный раздел, технический раздел и раздел технологии. В контексте SDIs раздел предприятия описывает цели и возможности, методики, обязанности и бизнес-процессы SDIs. Информа-

ционный раздел, по существу, посвящен информации, доступной через SDIs и необходимой для семантической геоинтероперабельности. Вычислительный раздел касается функциональной декомпозиции SDIs в сервисы с интерфейсами и операциями. Этот раздел представляет большой интерес для определения семантических компонентов и сервисов. Технический раздел главным образом связан с взаимодействием между данными, сервисами и системными взаимосвязями. Наконец раздел технологии относится к определению выбранной технологии для реализации SDIs.

Первые три из указанных разделов особенно важны с точки зрения семантической геоинтероперабельности. Именно в разделе предприятия цель достижения семантической геоинтероперабельности должна быть четко сформулирована. Раздел предприятия должен идентифицировать любой репозиторий, который должен участвовать в SDIs, а также поставщиков данных, которые помогут пользователям и провайдером в поиске соответствующих данных, релевантных их словарю и семантике. Вряд ли все пользователи могут знать заранее точный словарь и семантику, используемую геоинформационными источниками, доступными в SDIs.

Поэтому пользователи должны быть в состоянии взаимодействовать с SDIs, используя свой собственный словарь и находить данные, которые соответствуют их определенной цели. Следовательно, информационный раздел должен включать необходимые информационные компоненты, чтобы обеспечить семантические запросы (т.е. запросы, сделанные в словаре пользователя и правильно интерпретируемые информационным сервером). Поэтому онтологии должны быть объединены как часть информационного раздела, обеспечивая фундаментальное знание для рассуждения, интерпретации запроса и выдачи соответствующих ответов. Вычислительный раздел нуждается также в определенном внимании, чтобы можно было решать проблемы определения семантических интерфейсов, связанных с онтологиями, включая операции и функции логического вывода, которые помогают интерпретации запросов и ответов. Этот раздел включает также кодирование онтологий, позволяющее устанавливать с помощью интерфейса связь с семантическими сервисами.

Учет семантики на раннем этапе разработки SDIs облегчает их дизайн и позволяет идентифицировать онтологии и требуемые семантические сервисы.

Заключение

Семантическая геоинтероперабельность стала областью активных научных исследований в течение последних двух десятилетий. Эта работа посвящена описанию структуры семантической геоинтероперабельности в процессах совместной обработки географической информации. Моделью семантики здесь является классическая триада (семиотический треугольник Фреге), включающая, знак (символ), концепт (осмысление) и денотат (референт). Познание напрямую связано с семантикой, где перцепционные символы, сохраненные в человеческой памяти, составляют набор понятий, используемых людьми. Информатика заимствовала понятие онтологии из философии для описания понятий, которые необходимы для развития семантической геоинтероперабельности. Онтология – это часть жизненного цикла данных, которые должны быть разработаны и сделаны доступными с соответствующими спецификациями.

Литература

1. Фреге Г. Смысл и денотат // Семиотика и информатика. Вып. 35. М.: Языки русской культуры, 1997. С. 352–379.
2. Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф. Базы знаний интеллектуальных систем // СПб: Питер 2000.
3. Burrough, P. and A. Frank, eds. Geographic Objects with Indeterminate Boundaries. Taylor & Francis: London. 1996.
4. Ikujiro Nonaka & Hirotaka Takeuchi. The Knowledge Creating Company: How Japanese Companies Create the Dynamics of Innovation. Oxford University Press, 1995 (<http://users.ccnet.com/~tom1359/books.htm#knowledge>).
5. Дулин С.К., Поповидченко В.Г. Структура представления онтологии геоданных. М.: ВЦ РАН, 2007. 23 с.
6. Fonseca F., et al. Ontologies and Knowledge Sharing // Urban GIS. Computer, Environment and Urban Systems, 2000. № 24, Vol. 3. P. 232-251.
7. Fonseca F. and Egenhofer M. Ontology-Driven Geographic Information Systems. // 7th ACM Symposium on Advances in Geographic Information Systems. 1999. Kansas City, MO: ACM Press, N.Y.
8. Дулин С.К., Дулина Н.Г. От согласованности геоданных к семантической геоинтероперабельности. М.: ВЦ РАН, 2014. 28 с.
9. J. Hjelmager, H. Moellering, A. Cooper, T. Delgado, A. Rajabifard, P. Rapant, D. Danko, M. Huet, D. Laurent, H. Aalders, A. Iwaniak, P. Abad, U. Düren, A. Martynenko: An initial formal model for spatial data infrastructures, Int. J. Geogr. Inf. Sci. 22, 1295–1309 (2008).
10. ISO/IEC 10746:1998 Information technology – Open distributed processing – Reference model: Overview (International Organization for Standardization, Geneva 1998).

Розенберг Е.Н., ОАО «НИИАС», г. Москва

Приоритет российских технологий при организации высокоскоростного движения

Потребность в развитии высокоскоростного движения в России продиктована растущими пассажиропотоками, изношенностью и устареванием существующей железнодорожной сети и потребностью страны в современных, надежных, высококачественных и безопасных транспортных услугах для пассажиров, отвечающих стандартам XXI века.

Важное место при организации высокоскоростного движения отводится системам управления и обеспечения безопасности движения поездов. Создание подобных систем дает толчок для инновационных решений, обеспечивающих технологический прорыв не только в области железнодорожного транспорта, но и в других отраслях промышленности. Он стимулирует активный научный поиск и технологическое воплощение прикладных исследований, обеспечивает создание новых рабочих мест, влияет на качество жизни населения.

ОАО «НИИАС» принимает в реализации интеллектуального высокоскоростного сообщения самое непосредственное участие, аккумулируя не только опыт, но и новейшие отечественные разработки ученых в области управления движением, обеспечения безопасности движения и управления функционированием сложной инфраструктуры. У Института есть значительный технический и технологический задел. ОАО «НИИАС» принимал участие в проектировании таких высокоскоростных магистралей со смешанным движением, как Санкт-Петербург – Москва, Санкт-Петербург – Хельсинки, Москва – Нижний Новгород. Институт выполнял проектирование систем управления движением, комплектовал отечественными локомотивными системами безопасности подвижной состав компании «Сименс», которая строит электропоезда «Сапсан» и «Ласточка» для Российских железных дорог. И это позволяет институту в кратчайшие сроки создать интеллектуальные системы для высокоскоростного движения. Востребован был и богатый опыт участия института в создании транспортной инфраструктуры Олимпийского Сочи, где применялись самые передовые технологии, получившие высокие оценки экспертов.

Высокоскоростное движение требует особого подхода к строительству инфраструктуры: пути, стационарного развития, системы обеспечения безопасности, – все это необходимо учитывать для того, чтобы новый вид транспорта был не только максимально комфорт-

ным, но и безопасным. И здесь огромную роль играет предварительный анализ задач проектирования посредством моделирования. Следует заранее предусмотреть, как будет выполняться управление движением, чтобы обеспечить график не только скоростного поезда, но и при смешанном движении – пассажирских и пригородных поездов. Для максимального удобства пассажиров должны быть развиты транспортно-пересадочные узлы, согласованы графики движения всех пассажирских поездов, разработаны новые маршруты автомобильного транспорта и т.д. Для этого ведутся работы по созданию комплексных систем управления движением и систем моделирования движения поездов, системному анализу и оценке рисков нарушения безопасности движения, построению матриц ответственных технологических процессов на железнодорожном транспорте, исследованию электромагнитной совместимости оборудования.

Современная отечественная система многоуровневого управления и обеспечения безопасности движения может успешно конкурировать на международном рынке с подобными системами.

Многоуровневая система управления и обеспечения безопасности движения поездов охватывает весь комплекс технологических процессов путевого и энергетического хозяйства, систем телекоммуникаций и связи, проведения ремонтных и восстановительных работ и др. Она включает резервирование функций управления и каналов передачи информации, обеспечивает работу автодиспетчера на всем участке, а также бортовых систем и систем спутниковой навигации.

Аналитико-управляющие системы высшего уровня получают данные, необходимые для принятия решения от информационных систем, сопряженных с системами железнодорожной автоматики. Такой принцип охватывает всю инфраструктуру и позволяет создать интеллектуальную управляющую систему, в которой роль влияния человеческого фактора будет сведена к минимуму.

Для высокоскоростного движения временной фактор зачастую играет решающую роль. Этот сложный программно-технический комплекс позволит сделать серьезный вклад в дальнейшее развитие систем для автоматизации процесса диспетчерского управления движением поездов с использованием интеллектуальных технологий на объектах железнодорожного

транспорта, требующих особых режимов обеспечения надежности и безопасности. В числе целей его создания – выполнение плановых графиков движения поездов, а также повышение оперативности, качества и эффективности диспетчерского управления. В системе объектом автоматизации является процесс диспетчерского управления движением, включая мониторинг движения (дислокации) поездов на участке, мониторинг инфраструктуры, распознавание конфликтных ситуаций, расчет прогнозного графика движения поездов для разрешения конфликтных ситуаций, управление движением поездов в автоматизированном режиме и установка маршрутов.

Подобные автоматизированные системы являются не только надежным средством управления движением, но и элементом будущего интеллектуального транспорта. Если мы говорим о создании перспективной системы, то мы должны понимать, что необходимо закладывать технические требования и на будущее.

Не отвергая системы с рельсовыми цепями, которые прекрасно себя зарекомендовали на протяжении десятилетий, мы должны создавать и новые, перспективные системы, с кабельными оптоволоконными сетями. Они интересны в плане стратегического развития, обеспечивают мониторинг распределенных объектов инфраструктуры на основе оптоволоконного кабеля. То, что по ним уже начались исследовательские работы, как у нас России, так и за рубежом, показывает, что это направление не осталось без внимания научно-технического сообщества.

Говоря о надежности и комфорте высокоскоростных поездов, мы не должны забывать и об уровне общей безопасности. И здесь опыт эксплуатации поездов «Сапсан», и особенно решение комплексной задачи по обеспечению безопасности на олимпийской инфраструктуре Сочи, убедительно показали эффективность применяемых методов и технологий. Именно комплексный подход способен обеспечить необходимый уровень безопасности. Он включает в себя и управление движением поездов, и решения по обеспечению безопасности на транспорте, и информационную безопасность и охрану правопорядка.

Мы соблюдаем важнейший принцип – все системы управления и обеспечения безопасности движения должны быть российскими. Это принципиальная позиция, вызванная необходимостью обеспечить российские железные дороги такими системами, которые позволят организовать безаварийное движение поездов строго по графику. Ни одно бортовое устройство сегодня не работает по чужой технологии. У нас сейчас более 16 тысяч подвижных единиц, оборудованных микропроцессорными системами со спутниковой навигацией ГЛОНАСС/GPS, системами автоматической локомотив-

ной сигнализации, которые позволяют организовать движение поездов с точностью метрополитена.

Глобальное разделение труда, миграция технологий и ресурсов не должны сказаться на главном – обеспечении национальных интересов и безопасности, в том числе и в транспортной сфере. Поэтому отработываются стратегии киберзащиты и импортозамещения.

Киберзащитность играет важную роль в обеспечении экономических интересов при управлении железнодорожным транспортом, в решении проблем безопасности движения поездов. Современные технологии киберзащиты будут решающими при организации высокоскоростного движения и построении интеллектуальных центров управления, особенно с учетом исходящих угроз и потенциальной подверженности информационной инфраструктуры компьютерным атакам.

Одним из направлений обеспечения киберзащиты является импортозамещение. Анализ выявил критичные риски, которые возникают при использовании импортных вычислительных систем. Прежде всего, это возможность встраивания закладок в программное обеспечение и технические средства. При невозможности замены всей технологии на российскую, необходима разработка и внедрение отечественных технологий, обеспечивающих контроль над исполнением критичных функций безопасности, реализуемых зарубежными продуктами, или частичный отказ от использования отдельных функций зарубежных продуктов и дублирование отечественными продуктами для замещения этих функций.

Сегодня мы активно создаем комплексную систему защиты информационной инфраструктуры железнодорожного транспорта от компьютерных атак и ее основной компонент – систему обнаружения и предупреждения компьютерных атак. Оперативное и оптимальное управление инфраструктурой железнодорожного транспорта, обеспечивающее повышение надежности всех узлов и снижение эксплуатационных расходов, является важнейшей целью ОАО «РЖД» в настоящее время.

Следует переходить на полный цикл производства критически важных систем в России с использованием отечественной элементной базы. Нужно внедрять принципы открытого программного продукта и разрабатывать новые альтернативные варианты управления движением поездов при безусловном сохранении существующих резервных режимов управления, которые будут незаменимы в случаях широкого проведения кибератак.

Все программно-управляемые микропроцессорные системы железнодорожного транспорта необходимо обязательно проверять на функциональную безопас-

ность, отсутствие недеklarированных возможностей и несанкционированного доступа. Схемотехнические решения и программное обеспечение таких систем уже на стадии проектирования должны учитывать возможность проведения различного рода кибератак.

Это должно быть отражено в нормативно-правовых и методических документах. Поэтому требуется создать новую и актуализировать существующую нормативно-техническую и методическую базы в области киберзащитности.

В качестве головного института отрасли и полномочного представителя ОАО «РЖД» Институт проводит

изучение и освоение передового мирового опыта и технологий в интересах железных дорог России, при этом особое внимание уделяется вопросам адаптации зарубежных решений к техническим, эксплуатационным и нормативно – правовым требованиям ОАО «РЖД».

Созданный учеными ОАО «НИИАС» научно-технический задел позволяет приступить к реализации нового этапа инновационного развития железнодорожной отрасли – широкомасштабному применению спутниковых и геоинформационных технологий, созданию интеллектуальных систем управления и обеспечения безопасности движения поездов.



Бутакова М.А., Гуда А.Н., Ковалев С.М., Чернов А.В., РГУПС, г. Ростов-на-Дону

Методы синтеза темпоральных слабоструктурированных графовых баз данных в интеллектуальных системах управления на транспорте *

Введение

Целью статьи является обсуждение новых моделей хранения данных для интеллектуальных систем управления железнодорожным транспортом и методов синтеза хранилищ данных нового типа. Любая информационно-управляющая система имеет в своем составе базу данных, реализованную в том или ином виде. Большинство баз данных информационно-управляющих систем на железнодорожном транспорте исторически построены на основе реляционной модели данных. Она обладает как достоинствами, так и недостатками. Реляционная модель отличается простотой описания и физической реализации в виде баз данных, высокой эффективностью обработки данных; в ней поддерживаются требования к транзакциям и транзакционным системам ACID (Atomicity (Атомарность), Consistency (Согласованность), Isolation (Изолированность), Durability (Надежность)). Недостатки реляционной модели данных – это сложность иерархических и сетевых описаний, нормализации данных для таких описаний, сложность описаний неполных и слабоструктурированных данных; затрудненное масштабирование баз данных, хранение разнородной информации; невозможность реализации таблиц данных с нелинейной структурой; ограниченный набор типов данных; низкая производительность при поиске по ключевым полям. Таким образом, достоинства состоят

в простоте этой модели и соответственно понимании реляционной алгебры как таковой, поддержке транзакций ACID. Однако, нельзя упускать из виду перечисленные существенные недостатки, одним из которых можно считать затрудненное хранение различных сложных видов информации, а также исторических данных (темпоральных данных).

Проблемы применения существующих и синтеза новых моделей данных

Интеллектуальные технологии и системы, развиваемые на железнодорожном транспорте, требуют развития и внедрения **новых** моделей данных. Модель данных будем рассматривать как совокупность средств описания структур данных для приложения или класса приложений. Модель данных включает в себя типы и структуры данных, систему операций, средства описания ограничений. Модели данных можно классифицировать на: полностью структурированные (реляционные); полностью неструктурированные (документо-ориентированные); слабоструктурированные (темпоральные).

Модель структурированных данных обладает следующими особенностями. Во-первых, на данные накладываются заранее определенные ограничения по типу и длине каждого атрибута, что делает затрудненным, а зачастую даже невозможным, модификацию

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов 13-08-12151-офи_м, 15-08-01886-а, 15-01-03067-а

модели в соответствии с изменившимися с течением времени требованиями. Во-вторых, структура данных известна и определена при помощи схемы данных, её автоматическое изменение в процессе работы модели затруднено. Интерпретировать данные без знания схемы не представляется возможным. При этом в процессе разработки схемы необходимо провести формализацию обрабатываемых данных, что делает невозможным автоматизацию корректировки схемы в процессе использования модели.

Разработка модели для неструктурированных данных является крайне сложной задачей по следующим причинам. Во-первых, данные, как правило, представлены на естественном языке, что затрудняет работу с ними. Во-вторых, полное отсутствие предопределенной структуры накладывает серьезные ограничения на возможные операции с данными. Автоматическое выделение структуры в таких данных, как правило, не может быть выполнено однозначным образом.

Слабоструктурированными данными являются любые промежуточные данные между структурированными и неструктурированными. Такие данные обладают следующими особенностями. Во-первых, структура данных может быть неполной, недоопределенной, а также допускать исключения. Во-вторых, значения скалярных данных представлены в виде текстовой информации. В-третьих, возникает проблема определения принадлежности данных, т.к. не всегда можно однозначно судить о корректности обрабатываемого документа.

Мы определяем темпоральные данные следующим образом. *Темпоральность баз данных* – это присутствие в базе атрибута времени, ведение хронологии событий, возможности установления фактов истинности (валидности) хранимых данных на определенные интервалы времени. *Темпоральность* можно рассматривать как одно из проявлений *слабой структурированности данных*, так как схема данных является истинной (валидной) лишь в ограниченных рамках времени.

Приведем примеры слабой структурированности документов в различных системах верхнего уровня управления (Таблица).

Таблица. Примеры темпоральности схем данных в информационно-управляющих системах на железнодорожном транспорте

Факторы, влияющие на схемы данных	Информационно-управляющие системы (ИУС)
Изменения в бухгалтерской и налоговой отчетности	Системы формирования сводной отчетности ОАО «РЖД», бухгалтерская, налоговая, управленческая, кадровая отчетность, отчетность платежного баланса, отчетность ЦСВТ

Разные подходы при выполнении факторного анализа, проводимого ДНЧ на разных классах станций с различными техническо-распорядительными актами	АИС ДНЧ – Автоматизированная информационная система контроля и анализа выполнения оперативным персоналом станций правил безопасности движения
	АС КМО – Автоматизированная система ведения актов комиссионных осмотров и контроля за устранением неисправностей

Источники слабоструктурированной и темпоральной информации

Особый интерес в отношении хранения и поиска представляют слабоструктурированные данные, представленные в виде цельных документов, относящихся к какой-либо категории или классу. Типичным примером слабоструктурированного документа, однако, четко попадающего во вполне определенный класс, является «счет-фактура». Организации, в том числе и ОАО «РЖД», могут различным образом формировать нумерацию, адрес, подписи и другие реквизиты документа в процессе своей деятельности, реформирования организации и принципов учета. Счета-фактуры, выписываемые ОАО «РЖД» транспортным компаниям с иностранным капиталом (инвойсы) могут содержать поля, практически не используемые в отечественных документах, например, поле *Value Added Tax* (налог на потребление, являющийся некоторым аналогом отечественного налога на добавленную стоимость).

Рассмотрим несколько подсистем среднего уровня управления, в которых зарождается слабая структурированность информации. Например, среди ИУС, используемых на предприятиях Дирекции управления движением – филиала ОАО «РЖД», есть приведенные в таблице системы: АИС ДНЧ, применяемая в производственных процессах, обеспечивающих безопасность движения; 2) АС КМО. Эти системы являются взаимосвязанными, и первая из них предназначена для сбора, хранения и аналитической обработки информации о нарушениях правил безопасности движения работниками хозяйства перевозок, выявляемых ревизорами движения (ДНЧ), улучшения организации и систематизации работы ДНЧ. Вторая система предназначена для повышения уровня контроля за качеством и своевременностью устранения неисправностей технических устройств станций, улучшения комиссионных осмотров станций с анализом данных и ведением электронной документации. Слабая структурированность данных в этих ИУС проявляется в фактически разных подходах при выполнении факторного анализа, проводимого ДНЧ на разных классах станций с различными техническо-распорядительными актами. Различия проявляются также во вводе наименований и способов устранения неисправностей, а также в определении корректирующих мер, содержащих последователь-

ность и сроки выполнения корректирующих действий, направленных на улучшение состояния безопасности движения и охраны труда на ревизорском участке.

На нижнем уровне управления, в различных АСУ, применяемых в подразделениях хозяйств железнодорожного транспорта, также можно выделить подсистемы со слабоструктурированными документами. Предприятия железнодорожного транспорта могут заключать договоры, формировать акты обследования, приемки-сдачи оборудования, работ, услуг, вести информационное обеспечение функционирования в виде эскизов, чертежей, проектных решений, с применением видео, аудио и фотосъемки. В автоматизации вагонного хозяйства и депо применяется автоматизированная система выполнения рекламационно-претензионной работы для линейных предприятий вагонного хозяйства. Одной из отчетных форм на грузовые вагоны, не выдержавшие гарантий, являются рекламации-акты по форме ВУ-41М. Они позволяют организовать учет некачественно отремонтированных или изготовленных вагонов и их комплектующих на пономерной основе, а также подготовку аналитического материала для принятия соответствующих управленческих решений в вагонных депо. Форма ВУ-41М и порядок её заполнения закреплены в утвержденном ОАО «РЖД» руководящем документе РД 32 ЦВ 134 -2013. Она представляет собой, в целом, структурированный документ, однако, для пояснения дефекта к рекламации прилагается еще дополнительная информация: фотография, эскиз, диаграмма, акт экспертизы. Эти данные выводят документ ВУ-41М из разряда строго структурированных, потому, что указанные дополнительные материалы могут быть получены и выполнены различными методами, в частности съемка с различного ракурса и разрешения, диагностика методами разрушающего и неразрушающего контроля с применением различного диагностического оборудования и так далее.

Предлагаемый подход к синтезу информационных хранилищ

Для развития ИСУЖТ важен учет следующих особенностей моделей данных:

- данные могут поступать в базу из гетерогенных источников. Они могут содержать пропуски, дублирование, либо иметь вложенность различной глубины;
- схема данных может меняться в зависимости от семантической интерпретации хранимых данных. Например, схема данных изменяется в зависимости от подхода к составлению коллекции неформатированных текстовых документов, посвященных некоторой тематике;
- схема данных постоянно усложняется и требует детализации. Например, часто изменяются условия

внешней среды, граничные значения показателей, состав базовых и нормативных характеристик, сохраняемых в базах данных (БД);

- схема данных должна доставляться вместе с запрошенными данными, то есть быть встроенной. Например, различные уровни доступа к конфиденциальной информации не должны обнаруживать и раскрывать целиком всю структуру БД.

Понятие темпоральности данных означает скорее не тот факт, что данные не могут иметь определенную структуру, а то, что схема данных подвержена достаточно частому изменению по числу и типу атрибутов сущностей и связей между ними. На этапе разработки схемы данных, в принципе, нет препятствий для реализации в реляционных таблицах намного большего числа атрибутов данных, чем требуется практически, то есть как-бы на «будущее» их применение. Зачастую при проектировании схемы данных разработчики поступают именно таким образом, в дальнейшем получая *громоздкую и избыточную структуру хранения*, не поддающуюся адекватному формализованному описанию.

Подчеркнем, что для новых классов систем необходимы новые подходы к применению хранилищ данных.

Некорректным подходом к разработке новых классов ИСУЖТ мы считаем подход, при котором данные для интеллектуальных систем хранятся в реляционном виде. На *логическом* уровне проектирования подсистем ИСУЖТ в теории и на уровне алгоритмов интеллектуальные технологии оперируют с недоопределенными, неточными, неполными, некорректными, нечеткими данными (и другими «НЕ»-факторами). На *практике* при реализации такие данные «подгоняются» под некоторый шаблон полностью определенной модели, построенной на реляционной алгебре отношений и реляционной модели данных. Происходит это за счет усложнения алгоритмов реализации интеллектуальных методов. Увеличивается число атрибутов хранимых данных, которые почти всегда остаются незаполненными, а сами таблицы в реляционных БД подсистем ИСУЖТ становятся сильно разреженными, что увеличивает их объем и усложняет индексацию и поиск необходимой информации.

Корректным подходом представляется использование *новых специализированных моделей хранения данных, ориентированных на эффективное хранение и доступ к разнородным и имеющим особенности данным* (темпоральным, слабоструктурированным, недоопределенным, некорректным, нечетким и так далее). Среди перспективных методов хранения данных, специализированных под конкретные задачи, можно выделить темпоральные модели; NoSQL (*Not only SQL*) модели; графовые модели.

В работе [1] предложена универсальная архитектура интеллектуальной обработки мультиструктурированной информации, подходящая для новых классов ИСУЖТ, а

в работе авторов данной статьи [2] разработана многоуровневая модель хранилища такой информации.

Теоретическая модель темпоральной графовой БД

Слабоструктурированная БД может быть представлена в виде графовой модели $O = \langle ID, A, z, r \rangle$, где ID – множество идентификаторов, узлов графа; A – множество помеченных направленных дуг (p, l, c) , $p, c \in ID$, l – «строка-метка», запись (p, l, c) означает, что между узлом p (*parent*) есть связь (дуга) l (*labeled*) к узлу c (*child*); z – функция, отображающая каждый узел $n \in ID$ в конкретное значение составного или атомарного типа, то есть $z : n \rightarrow v$;

$$v = \begin{cases} complex, & \text{составной тип,} \\ atomic, & \text{атомарный тип;} \end{cases}$$

r – особый корневой узел графа.

Нами разработан метод извлечения данных из темпоральных слабоструктурированных БД, описанных в графовом виде.

$DB = (G_1, G_2, \dots, G_n)$, где G_i – граф, основанный на коррелированности, поясним на примере. Пусть имеется некоторая слабоструктурированная БД, в которой содержится справочная информация из подсистем АСУЖТ в виде двух подграфов G_1 и G_2 , как показано на рис.1.



Рис.1. Фрагмент графовой БД документов «Техническо-распределительные акты»

Цифры, стоящие в узлах графов обозначают количество запрошенных документов (за некоторое время). Очевидно, что в G_1 было запрошено суммарно 155 документов, а в G_2 – 45. Пусть запросы к документам исполняют несколько человек, работающих с этой БД. К части графа G_1 было выполнено 100 запросов, а к части G_2 было выполнено 40 запросов. Тогда коррелированность запросов с частями графовой БД в первом случае: $Corr(G_1) = 100 / 155 = 0,645$, во втором: $Corr(G_2) = 40 / 155 = 0,258$. Эти цифры показывают частоту паттерна графа G_1 выше, чем частоту паттерна графа G_2 .

Приведем теоретические положения разработанного метода определения устойчивости паттерна. Устойчивость паттерна (шаблона) графа означает наличие в темпоральной слабоструктурированной графовой БД устойчивой и валидной схемы данных.

Для графовой БД $DB = \{G_1, G_2, \dots, G_n\}$, содержащей проекции (в виде подчиненных графов $G \subseteq DB$), $D_G \{G' : G' \in DB, G' \supseteq G\}$, определен коэффициент устойчивости паттерна

$$supp(G, DB) = \frac{freq(G, DB)}{|DB|} = \frac{D_G}{|DB|}, \text{ где } freq(G, DB) -$$

относительная частота запрашивания подграфа G в DB .

Некоторый паттерн графа G называется устойчивым, если $supp(G, DB) \geq \sigma$, где σ – некоторое, устанавливаемое пороговое значение, $0 \leq \sigma \leq 1$. Аналогично, для запрашиваемых подграфов G_1 и G_2 из DB можно определить совместную частоту их запрашивания, как $freq(G_1, G_2) = |DB_{G_1} \cap DB_{G_2}|$, а совместный коэффициент устойчивости паттерна

$$supp(G_1, G_2) = \frac{freq(G_1, G_2)}{|DB|}.$$

С помощью совместных коэффициентов устойчивости паттернов определяется коэффициент коррелированности, аналогично Пирсоновскому коэффициенту корреляции:

$$\varphi(G_1, G_2) = \frac{supp(G_1, G_2) - supp(G_1)supp(G_2)}{\sqrt{supp(G_1)supp(G_2)(1 - supp(G_1))(1 - supp(G_2))}}$$

Если $supp(G_1)$ или $supp(G_2)$ равны 0 или 1, то $\varphi(G_1, G_2) = 0$.

Общий подход к исполнению конвертирования реляционных БД в темпоральные графовые БД приведен на рис.2.

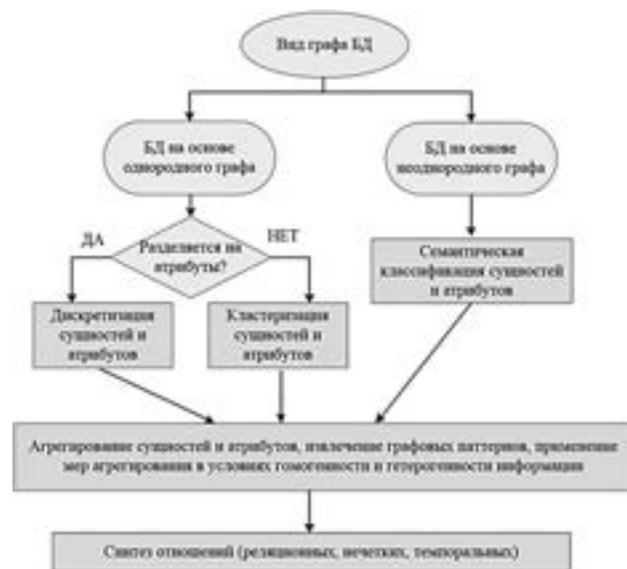


Рис.2. Общий подход к конвертированию баз данных

Заключение

Применение предложенных и обсуждаемых идей имеет смысл при учете нескольких существенных обстоятельств, объективно присутствующих в ИУС на железнодорожном транспорте, которые необходимо принимать во внимание при распространении и внедрении новых методов организации специализированных хранилищ данных. Первым важным обстоятельством является объективно присутствующая реляционность таблиц и БД. В силу многолетнего развития систем и средств автоматизации и информатизации на железнодорожном транспорте отказываться от применения традиционных СУБД нецелесообразно. Особенно, это касается ИУС, требующих транзакционной обработки, например, в системах, связанных с обработкой и формированием управляющих воздействий на устройства железнодорожной автоматики и телемеханики. Другим вопросом является сложность миграции на платформу NoSQL и графовые БД в условиях сверхбольшого объема накопленных данных и невозможности выключения

ИУС из информационного обслуживания реальных производственных процессов. Однако, для некоторых ИУС, ранее реализованных на реляционных СУБД имеет смысл конвертировать имеющиеся в реляционных БД данные, в графовые отношения. Таким образом, также должна быть решена задача разработки подхода к конвертированию реляционных БД в темпоральные графовые БД.

Литература

1. Климанская Е.В. Современные платформы интеллектуальной аналитической обработки информации: графовые базы данных // Наука вчера, сегодня, завтра : Сб. ст. по материалам X междунар. науч.-практ. конф. № 3 (10). Новосибирск: Изд. «СибАК», 2014. С. 9 – 16.
2. Chernov A.V., Butakova M.A., Klimanskaya E.V., Yants V.I. Multilevel data storage model of fuzzy semi-structured data // Soft Computing and Measurements (SCM), 2015 XVIII International Conference, vol. 1, pp.112-114, 19-21 May 2015. doi: 10.1109/SCM.2015.7190427.



Замышляев А.М., Шубинский И.Б., ОАО «НИИАС», г. Москва
Игнатов А.Н., Кан Ю.С., Кибзун А.И., Платонов Е.Н., МАИ, г. Москва

Методика вычисления вероятности столкновения пассажирского поезда с маневровым составом на железнодорожной станции

Согласно [1] основной задачей управления рисками на железнодорожном транспорте является достижение и поддержание допустимого уровня риска при обеспечении функциональной безопасности объектов инфраструктуры и подвижного состава, в том числе:

- повышение надежности и функциональной безопасности технических средств, входящих в состав объектов инфраструктуры и подвижного состава;
- снижение вероятности возникновения транспортных происшествий;
- предотвращение или сокращение гибели и травматизма людей;
- снижение ущерба имуществу субъектов деятельности в сфере железнодорожного транспорта и других потерь.

Самой дорогостоящей инфраструктурой в составе железных дорог являются станции, на которых движение поездов является наиболее опасным и интенсивным. Движение на станции включает в себя передвижение пассажирских и грузовых поездов, маневровых локомотивов. Кроме того, многие транспортные про-

исшествия происходят при участии пассажирских поездов, что часто приводит к человеческим жертвам. Топология станции бывает весьма сложной, а изменение этой топологии зачастую сопряжено с массой ограничений, поскольку многие крупные станции расположены в черте города. Поэтому весьма актуальной становится задача правильной оценки рисков столкновений на железнодорожных станциях с учётом имеющейся топологии станции. Согласно [1] количественное значение риска описывается функционалом, связывающим вероятность возникновения события и математическое ожидание последствия (ущерба) от этого события.

Предложенная методика позволяет оценить вероятность столкновения вследствие проезда маневровым или поездным локомотивом запрещающего сигнала и выработать рекомендации, позволяющие снизить вероятность столкновения при проведении маневровых работ на станции. Предполагается, что расписание и маршруты движения пассажирских поездов известны, а движение маневровых локомотивов характеризуется интенсивностями их движения через

стрелочные переводы, которые определяются для конкретной станции в зависимости от её топологии.

Исходные параметры и источники их получения для расчета вероятности столкновения маневровой группы и пассажирского поезда

Пусть имеется расписание движения пассажирских поездов из АСУ «Экспресс» за некоторый промежуток времени. А также заданы параметры, указанные в Таблице 1 и Таблице 2.

Алгоритм вычисления вероятности столкновения маневровой группы с пассажирским составом за произвольный промежуток времени

1. задается промежуток времени T , для которого необходимо провести расчет вероятности столкновения, получение расписания следования пассажирских поездов из АСУ «Экспресс». Согласно расписанию определяются все пассажирские поезда, следующие через станцию в течение времени T . Проводится заполнение таблиц №1 и №2.
2. Определяется I – общее количество пассажирских поездов, проезжающих через станцию в течение времени T .
3. Присваиваются номера пассажирским поездам, следующим через станцию за рассматриваемый промежуток времени, по времени прибытия на станцию. Пассажирские поезда перенумеровываются согласно порядку их прибытия на станцию, то есть первый прибывший поезд, получает номер 1, второй номер 2 и так далее.
4. Для каждой стрелки вычисляется интенсивность $\tilde{\lambda}_i$ пересечения ее маневровой группой

$$\tilde{\lambda}_i = \sum_{l=1}^I \frac{N_l}{N}$$

Величины N_l и N задаются по таблице №1.

Предполагая, что маневровый локомотив пересекает стрелочный перевод равновероятно в любом из возможных направлений (всего таких направлений может быть 4, см. рис. 1), интенсивность λ_m^1 пересечения стрелки маневровой группой в некотором направлении 1 вычисляется по формуле $\lambda_m^1 = \tilde{\lambda}_m / 4$.

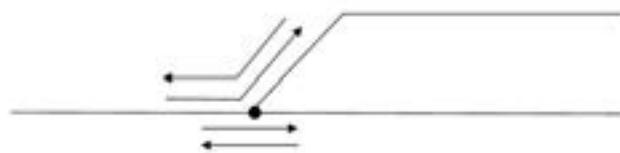


Рис. 1. Возможные направления следования (отмечены стрелочками) маневровой группы через стрелочный перевод (отмечен кружком).

Вероятность проезда машинистом маневрового локомотива светофора с запрещающим показанием вычисляется по формуле $P_m = P_{\text{двое}} \cdot P_{m(\text{двое})} + (1 - P_{\text{двое}}) \cdot P_{m(\text{один})}$, величины $P_{\text{двое}}, P_{m(\text{двое})}, P_{m(\text{один})}$ задаются по таблице №1.

5. Величина i (номер поезда) полагается равной единице.
6. Вычисляется K – общее число возможных маршрутов для i -го поезда.
7. Величина k (номер маршрута) полагается равной единице.
8. Для i -го поезда определяется частота использования того или иного маршрута $P(R_k) = m_{R_k} / n$, где m_{R_k} – число проехавших пассажирских поездов с номером i по маршруту R_k , а n – общее число пассажирских поездов с номером i , проехавших через станцию за время наблюдения.
9. При обработке маршрута R_k присваиваются номера стрелкам, входящим в этот маршрут, согласно следованию через этот маршрут i -го поезда, то есть первая стрелка, которую пересекает пассажирский поезд, получает номер 1, вторая стрелка, которую пересекает пассажирский поезд, получает номер 2 и так далее. Пусть m – общее число стрелок, которые i -ый поезд, пересекает на маршруте R_k .
10. Величина j (номер стрелки) полагается равной единице.
11. В случае неизолированности j -ой стрелки маршрута R_k i -го пассажирского поезда определяются: λ_m – интенсивность пересечения маневровой группой j -го стрелочного перевода в направлении, при котором возможно столкновение (выбирается из λ_m^1 , полученных на шаге 4, для j -ой стрелки, см. рис.2);

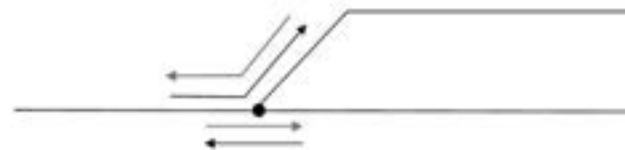


Рис. 2. Направление следования (отмечено красной стрелочкой) маневровой группы через стрелочный перевод (отмечен кружком), при котором возможно столкновение с пассажирским составом, следующим в направлении, показанном зеленой стрелочкой.

λ_c – интенсивность останавливающихся на j -ой стрелке маневровых групп (выбирается из λ_c^d , полученных на шаге 1);

τ_c – среднее время нахождения маневровой группы на j -ой стрелке при условии остановки на ней (выбирается из τ_c^d , полученных на шаге 1);

¹ Интенсивности могут быть уточнены при непосредственном сборе данных для каждого стрелочного перевода на рассматриваемой железнодорожной станции.

Таблица 1. Блок данных, описывающий топологию станции и маневровые работы на ней (строятся на основании наблюдений за сутки)

Наименование	Обозначение	Ед. изм.	Источник получения
Общее количество стрелок на станции	N	шт	ГРА станции
Количество маневровых локомотивов	L	шт	Технологический процесс работы станции
Количество проезжаемых стрелок маневровой группой в час (для каждого маневрового локомотива) ²	N_1, \dots, N_L	шт, ..., шт	Натурные обследования
Средняя длина маневровой группы ³	L_m	км	Натурные обследования
Средняя скорость движения маневровой группы по станции ⁴	v_m	км/ч	Скоростемерная лента
Вероятность проезда машинистом маневрового локомотива светофора с запрещающим показанием при работе без помощника машиниста («в одно лицо»)	$P_{\text{м(один)}}$		Задается на основании таблицы П.5.2 Вероятность ошибок человека-оператора из [2].
Вероятность проезда машинистом маневрового локомотива светофора с запрещающим показанием при работе с помощником машиниста	$P_{\text{м(двое)}}$		Задается на основании таблицы П.5.2 Вероятность ошибок человека-оператора из [2].
Вероятность комплектования локомотивной бригады маневрового локомотива машинистом и его помощником	$P_{\text{двое}}$		Журнал комплектования пар локомотивных бригад
Интенсивность останавливающихся на стрелочных переводах маневровых групп, не нарушивших при пересечении стрелки безопасности движения (для каждой стрелки)	$\lambda_c^1, \dots, \lambda_c^N$	1/ч, ..., 1/ч	Натурные обследования
Среднее время нахождения на стрелочном переводе маневровой группы, не нарушившей при пересечении стрелки безопасности движения, при условии остановки на стрелочном переводе (для каждой стрелки)	$\tau_c^1, \dots, \tau_c^N$	ч, ..., ч	Натурные обследования

Таблица 2. Блок данных, описывающий передвижение пассажирского поезда по станции (строятся на основании прошлых проездов пассажирского поезда через станцию)

Наименование	Обозначение	Ед. изм.	Источник получения
Средняя длина пассажирского поезда	$l_{\text{п}}$	км	ГИД «Урал»
Средняя скорость движения пассажирского поезда по станции (для проходящего поезда/для поезда с остановкой) ⁵	$v_{\text{п}}$	км/ч	Скоростемерная лента
Вероятность проезда запрещающего сигнала пассажирским поездом	$P_{\text{п}}$		Задается на основании таблицы П.5.2 Вероятность ошибок человека-оператора из [2].
Маршруты (последовательность стрелочных переводов, которые пересекает пассажирский поезд при движении через станцию) следования пассажирского поезда с указанием изолированных и неизолированных стрелочных переводов ⁶	R_1, \dots, R_k		Схема станции
Количество проездов пассажирским поездом по маршруту R_i	m_{R_1}, \dots, m_{R_k}	шт, ..., шт	Наблюдения за проездами поезда через станцию

² Эта величина также может быть рассчитана на основе полной длины путей на станции, процента времени, в которое маневровый локомотив находился в движении, условной длины вагонов, количества стрелок на станции, а также показателей выработки по маневровым локомотивам.

³ Пусть все перемещения маневровых групп через стрелочные переводы упорядочены по возрастанию времени заезда на стрелочные переводы, а l_i – длина маневровой группы при i по порядку пересечения стрелочного перевода. Тогда средняя длина маневровой группы вычисляется по формуле $l_m = \sum_{i=1}^I l_i / I$, где $I = 24 \sum_{i=1}^L N_i$ – общее число перемещений маневровых групп через стрелочные переводы.

⁴ Средняя скорость передвижения по станции вычисляется по формуле $v_m = \sum_{i=1}^L l_i / \sum_{i=1}^L t_i$, где l_i – длина i -го передвижения какого-либо из локомотивов, а t_i – время, которое заняло это передвижение. Суммирование проводится по всем передвижениям всех локомотивов.

⁵ По скоростемерной ленте определяются пройденное расстояние l_1 и время t_1 с точки входа на станцию до момента остановки, а также пройденное расстояние l_2 и время t_2 с момента отправки до точки выхода со станции, тогда средняя скорость $v_{\text{п}}$ для поезда с остановкой вычисляется по формуле $v_{\text{п}} = l_1 + l_2 / t_1 + t_2$.

⁶ Изолированным стрелочным переводом называется тот, на котором столкновение, вызванное проездом светофора с запрещающим показанием, невозможно, неизолированным стрелочным переводом называется тот, на котором столкновение возможно.

⁷ Если отсутствуют данные о прошлых проездах поезда через станцию, то все маршруты полагаются равновероятными, то есть для любого k вероятность $P(R_k)$ использования маршрута R_k вычисляется по формуле $P(R_k) = 1/K$.

P_{nc} – вероятность остановки i -го пассажирского поезда на j -ой стрелке (выбирается из P_{nc}^d , полученных на шаге 1);

τ_{nc} – среднее время стоянки i -го пассажирского поезда на j -ой стрелке (выбирается из τ_{nc}^d , полученных на шаге 1);

вероятность столкновения, произошедшего по вине машиниста маневрового локомотива, проехавшего светофор с запрещающим показанием

$$P(A_m) = \lambda_m P_m \left(\frac{l_n}{v_n} + \frac{l_m}{v_m} + P_{nc} \tau_{nc} \right),$$

величины $\lambda_i, P_i, l_i, v_i, l_i, v_i$ задаются по таблицам №1 и №2;

вероятность столкновения, произошедшего по вине машиниста пассажирского поезда, проехавшего на запрещающий сигнал

$$P(A_n) = P_n \lambda_m \left(\frac{l_m}{v_m} + \frac{l_n}{v_n} \right),$$

Величина P_n задается из таблицы №2;

вероятность столкновения, произошедшего по вине машиниста пассажирского поезда, проехавшего на запрещающий сигнал и столкнувшегося с вагонами, стоящими на стрелочном переводе $P(A_c) = P_n \lambda_c \tau_c$;

вероятность столкновения при проезде светофора с запрещающим показанием и машинистом маневрового локомотива, и машинистом пассажирского поезда

$$P(A_{tn}) = \lambda_m P_m P_n \left(\frac{l_n}{v_n} + \frac{l_m}{v_m} \right).$$

Результирующая вероятность столкновения на j -ой стрелке вычисляется по формуле

$$P(A_{k;j}) = \left(\lambda_m \left(\frac{l_n}{v_n} + \frac{l_m}{v_m} \right) (P_m (1 + P_n) + P_n) + \lambda_c P_n \tau_c + \lambda_m P_m P_n \tau_{nc} \right) \cdot k_c,$$

где k_c принимает значение 1, если стрелочный перевод неизолированный, и 0, если изолированный, а остальные переменные, входящие в эту формулу, определены на шаге 1 и 4.

12. Если $j=t$, то переход к шагу 14, иначе переход к шагу 13.

13. $j:=j+1$, переход к шагу 11.

14. Вычисляется вероятность того, что с i -ым пассажирским поездом на маршруте R_k произойдет хотя бы одно столкновение, которая составляет

$$P(A_i | R_k) = 1 - \prod_{j=1}^m (1 - P(A_{k;j})),$$

где вероятности $P(A_{k;j})$ вычислены на шаге 11, величина m – на шаге 9.

15. Если $k=K$, то переход к шагу 17, иначе переход к шагу 16.

16. $k:=k+1$, переход к шагу 8.

17. Вычисляется вероятность того, что произойдет хотя бы одно столкновение пассажирского поезда с номером i при движении через станцию

$$P(A_i) = \sum_{k=1}^K P(A_i | R_k) P(R_k),$$

где вероятности $P(A_i | R_k)$ вычислены на шаге 14, а вероятности $P(R_k)$ – на шаге 8, величина K – на шаге 6.

18. Если $i=I$, то переход к шагу 20, иначе переход к шагу 19.

19. $i:=i+1$, переход к шагу 6.

20. Рассчитывается вероятность того, что за промежуток времени T произойдет хотя бы одно столкновение

$$P(A_T) = P(A_1 + A_2 + \dots + A_I) = 1 - \prod_{i=1}^I (1 - P(A_i)).$$

Предложенная методика позволяет:

- оценить вероятность столкновений пассажирских поездов с маневровыми составами;
- выделить факторы, оказывающие наибольшее влияние на вероятность столкновения;
- оценить величину вероятности для различных маршрутов следования пассажирских поездов через станцию;
- оценить влияние времени суток, дня недели, времени года на вероятность столкновения;
- провести совершенствование работы пассажирского парка железнодорожной станции.

Литература

1. ГОСТ Р 54505–2011 «Безопасность функциональная. Управление рисками на железнодорожном транспорте».
2. Шубинский И.Б. Функциональная надежность информационных систем. Методы анализа, Ульяновск: Областная типография «Печатный двор», 2012.



Дубинский С.И., Казарян Н.А., Шамшурин А.И., ООО «Спектрум-Холдинг», г. Москва

Численное моделирование аэродинамических воздействий высокоскоростного и магнитно-левитационного транспорта на инфраструктуру

Введение

В России с целью создания научно-технического задела в области грузовых транспортных систем на основе магнитной левитации специалистами Петербургского университета путей сообщения (ПГУПС) выполнен цикл фундаментальных исследований по разработке отечественной магнитолевитационной транспортной технологии «МагТранСити» ([1,2]). Финансирование работ осуществлялось по грантам Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) при софинансировании ОАО «Российские железные дороги» (ОАО «РЖД»). Между ОАО «РЖД» и ПГУПС заключен договор о разработке и испытаниях грузовой магнитолевитационной транспортной платформы для перевозки 40-футовых морских контейнеров (рис. 1). Проектируемая грузовая магнитолевитационная транспортная платформа состоит из двух несущих тележек-модулей. Принятая конструкция позволяет транспортировать контейнеры серии 1AAA, 1AA или 1A.



Рис.1. Несущая тележка и транспортировка контейнеров

Одним из наиболее важных аспектов при проектировании высокоскоростной грузовой магнитолевитационной магистрали является аэродинамика. В работе изложены основные принципы методологии численного моделирования аэродинамики транспортного контейнера с использованием современных программных средств и алгоритмов, а также приводятся некоторые предварительные результаты, которые необходимо учесть при реальном проектировании.

Методика моделирования

Расчеты ветровых потоков и воздействий сводятся к численному решению трехмерных нестационарных нелинейных уравнений гидрогазодинамики в постановке Навье-Стокса:

$$\rho \frac{\partial u}{\partial t} + \rho u \frac{\partial u}{\partial x} + \rho v \frac{\partial u}{\partial y} + \rho w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left[\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right]$$

$$\rho \frac{\partial v}{\partial t} + \rho u \frac{\partial v}{\partial x} + \rho v \frac{\partial v}{\partial y} + \rho w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left[\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right]$$

$$\rho \frac{\partial w}{\partial t} + \rho u \frac{\partial w}{\partial x} + \rho v \frac{\partial w}{\partial y} + \rho w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left[\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right]$$

Кроме того, должны удовлетворяться уравнения неразрывности (сохранения массы) и состояния:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0$$

Здесь u, v, w – искомые компоненты вектора скорости (по осям x, y, z), p – давления, t – время, μ – динамический коэффициент вязкости для воздуха, ρ – плотность.

Прямое решение уравнений (3.1-3.3) с учетом вихрей всех масштабов (DNS, Direct Numerical Simulation) при современных возможностях ЭВМ практически реализуемо только для очень малых скоростей потока и чисто исследовательских задач. Как следствие, в современной расчетной практике доминирует полуэмпирический подход, основанный на разложении скорости на осредненную во времени и пульсационную составляющие $u_i(t) = \bar{u}_i + u'_i(t)$ и переходе к решению т.н. «осредненных по Рейнольдсу уравнений Навье-Стокса» (Reynolds averaged Navier-Stokes Method, RANS):

$$\frac{\partial}{\partial t}(\bar{\rho} u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\bar{\rho} u_i u_j) = -\frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) - \overline{\rho u'_i u'_j} \right]$$

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_i} = 0, \quad \frac{\partial \bar{u}'_i}{\partial x_i} = 0,$$

где $\bar{}$ – средние давления, индексы $i=1,2,3$ и $j=1,2,3$ соответствуют координатам x, y, z . Сдвиговые (рейнольдсовы) напряжения $\overline{\rho u'_i u'_j}$ являются дополнительными шестью неизвестными к параметрам осредненного движения ($\bar{}, \bar{p}$) и аппроксимируются, как правило, по гипотезе Буссинеска:

$$\overline{\rho u'_i u'_j} = -\mu_t \left(\frac{\partial \overline{u_i}}{\partial x_j} + \frac{\partial \overline{u_j}}{\partial x_i} \right) + \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij}$$

где μ_t – дополнительная вязкость, вызванная пульсациями; k – осредненная энергия турбулентных пульсаций (TKE). Система является незамкнутой и требует дополнительных соглашений («моделей турбулентности»).

Важным аспектом решения уравнений Навье-Стокса является схема дискретизации. Наиболее эффективным в настоящее время признан «метод конечных объемов» (МКО), не требующий столь детального моделирования пограничного слоя, как метод конечных элементов (МКЭ), и более удобный при описании сложных расчетных областей реальных застроек, чем метод конечных разностей. Современные подходы (схемы адвекции второго порядка, применение пристеночных функций и увеличение числа точек интегрирования в ячейке) значительно снижают требования к расчетной сетке и ресурсам ЭВМ. Решение уравнений может проводиться как в стационарной, так и в нестационарной постановке. Стационарная задача сводится к итерационному решению редкозаполненной системы линейных алгебраических уравнений, с узловыми давлениями, компонентами скоростей и мерами локальной турбулентности (в частности, TKE) в качестве неизвестных. Определяются осредненные во времени величины, число которых для рассматриваемых объектов/задач может достигать сотен миллионов. Итерационный процесс решения системы проводится по связанной многосеточной схеме (coupled multigrid) и считается сошедшимся при малых относительных невязках решения системы. Для улучшения сходимости в качестве предобуславливателя используется неполное треугольное (ILU) разложение матрицы. Проведенное представительное тестирование на широком круге практических задач с развитым вихреобразованием (включая сравнение с данными испытаний в аэродинамических трубах) позволило определить наиболее пригодную для данного класса задач модель турбулентности. Модель SST (Shear Stress Transport, перенос сдвиговых напряжений, F.Menter, 1993), комбинируя достоинства классических моделей «k- ϵ » и «k- ω », обеспечивает достаточную точность результатов и эффективную сходимость итерационного процесса даже при относительно грубых сетках и умеренном разрешении пограничного слоя.

Нестационарные расчеты RANS (Unsteady RANS, URANS) также не всегда позволяют правильно отследить срывные потоки. В этой связи наиболее активно в настоящее время развиваются «гибридные» подходы. При DES-подходе (моделировании «отсоединенных» вихрей, Detached Eddy Simulation, M.X. Стрелец и P.R. Spalart, 1997) комбинируются LES (моделирование крупных вихрей, Large Eddy Simulation) и URANS, что позволяет во много раз уменьшить трудоемкость расчетов по сравнению с

«классическим» LES. Вихри в пограничном слое и вблизи него моделируются интегрально, отсоединенные вихри предлагается моделировать детально (аналогично LES), применяя достаточное разрежение сетки. При подходе SAS (Scalable Adaptive Simulation, Menter, Egorov, 2005) комбинируются уже DES и URANS, в процессе нестационарного расчета гибко изменяется предельный размер учитываемых вихрей. Неявные схемы интегрирования позволяют [3] применять временной шаг с числами Куранта $C_o < 2$ при условии отслеживания отклика системы.

Методика расчета аэродинамики плохообтекаемых конструкций и сооружений и ее программная реализация были защищены как диссертация [3]. Разработанная и верифицированная методика применялась для расчетов целого ряда сооружений и высотных зданий. Среди них ЖК «Акварин» во Владивостоке, ЖК «Зодиак», ЖК «СкайФорт», ЖК «Дирижабль», ЖК «Газойл-Сити», ЖК «Рублевские огни», стадион «Москвич» и др. объекты в Москве, стадион «Зенит» и торговый комплекс «Аутлет Пулково» в Санкт-Петербурге, Железнодорожный вокзал в Адлере, градирни Нововоронежской АЭС-2, Бизнес-Центр «Гриндейл», МФК «Алкон», ЖК «Скай Сити» и «Сердце Столицы» в Москве и мн. др., а также ряда сооружений ММДЦ «Москва-Сити» и олимпийских объектов..

Нами применялся лицензионный программный комплекс ANSYS CFX [6], приобретенный ООО «Спектрум-Холдинг» (ген.директор В.Ф. Иванов).

Опыт расчетов поезда Сапсан и его воздействия на инфраструктуру

В рамках гранта РФФИ в 2011-2013 гг. совместно с Институтом Машиноведения РАН нами исследовалось влияние аэродинамических воздействий скоростного поезда «Сапсан» на придорожную инфраструктуру и людей. Приведем некоторые наиболее важные аспекты.

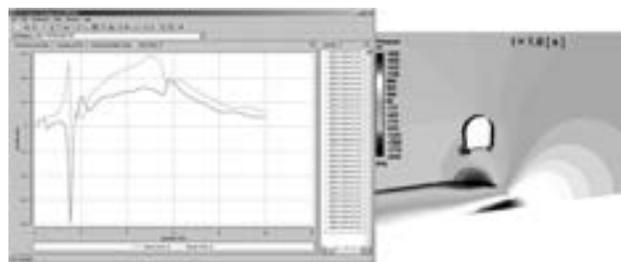


Рис.2. Изменение во времени погонных горизонтальных и вертикальных нагрузок от «Сапсан» на надземный переход. Распределение давлений для момента максимального (по модулю) воздействия

Кроме того, в инициативном порядке выполнялось моделирование нагрузок на фермы железнодорожного моста. Нужно отметить, что 8-10 раз в сутки нагрузки могут достигать величин, соответствующих ураганно-му ветру с 50-летней повторяемостью.

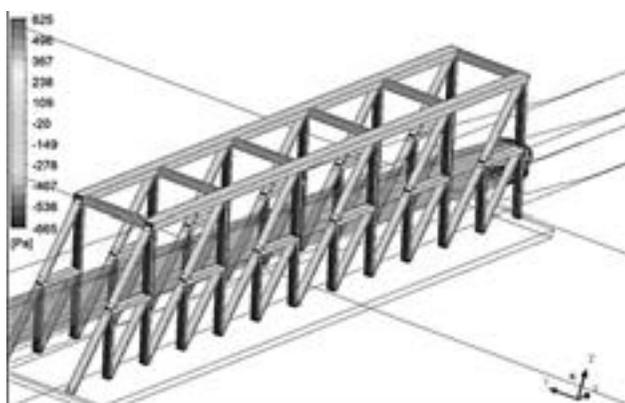


Рис.3 Нагрузки на ферму моста длиной 110 м при прохождении поезда скоростью 350 км/ч

Разработанные методики и полученные результаты [4-5] были применены для оценки аэродинамики контейнера на магнитолевитационной транспортной платформе.

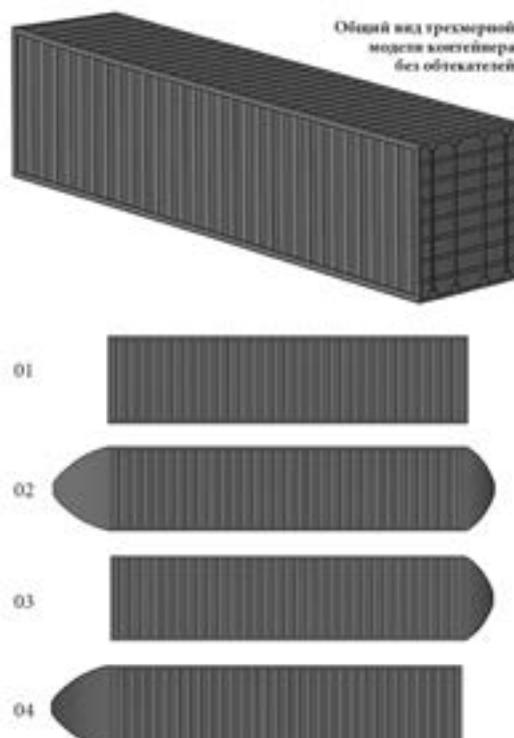


Рис.4. Варианты обтекателей контейнера.

Расчетные модели

При помощи программ SolidWorks и AutoCAD, было создано несколько вариантов контейнера, как с обтекателями, так и без. Форма обтекателей выбрана «из опыта» и, разумеется, является лишь первой прикидкой.

С использованием параметризуемых макросов APDL [3-6] были созданы сеточные разбивки расчетной области (включая эстакаду). Для вариантов с обтекателями дополнительно был создан пограничный слой. Размер моделей составлял 1-1.5 миллиона узлов и 7-10 миллионов ячеек. Ниже показаны фрагменты расчетной модели.

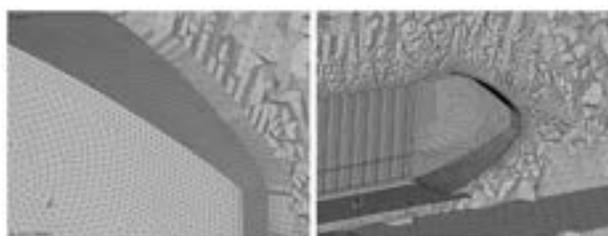


Рис.5. Элементы разбивки домена для модели с обтекателем. Пограничный слой.

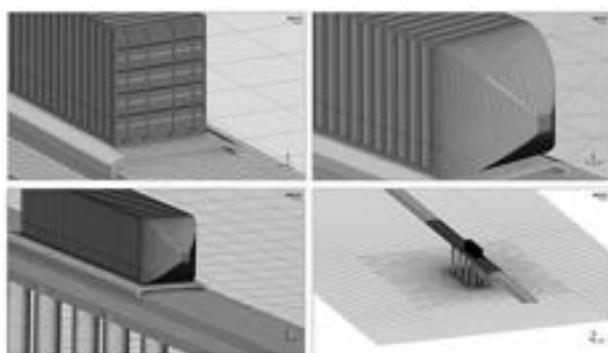


Рис.6. Фрагменты сеточной разбивки на поверхностях домена.

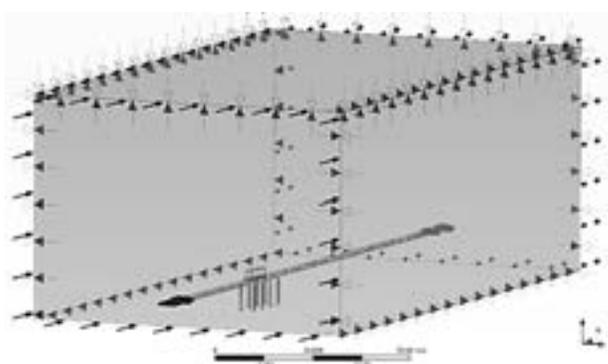


Рис.7. Общий вид расчетного домена с граничными условиями.

Результаты расчетов аэродинамики

С использованием ANSYS CFX были выполнены расчеты в стационарной (варианты 1-4) и нестационарной (вариант 2) подстановках для скорости 50 м/с (180 км/ч). Все расчеты в стационарной постановке в данной работе выполнялись SST. Расчеты в нестационарной постановке выполнялись DES.

Можно предполагать автомодельность потока, т.е. малую зависимость от скорости движения безразмерных аэродинамических коэффициентов (нагрузок, отнесенных к производству площади поперечного сечения на давление набегающего потока).

Приведем для справки линии воздушного потока в плоскости симметрии контейнера.

Приведем безразмерные аэродинамические коэффициенты лобового сопротивления C_x отдельно для зон контейнера.

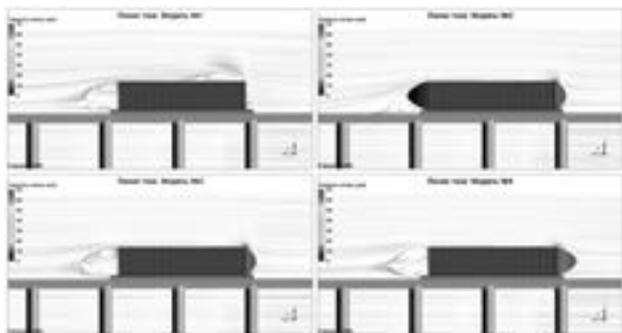


Рис.8. Линии тока в плоскости симметрии контейнера для различных вариантов

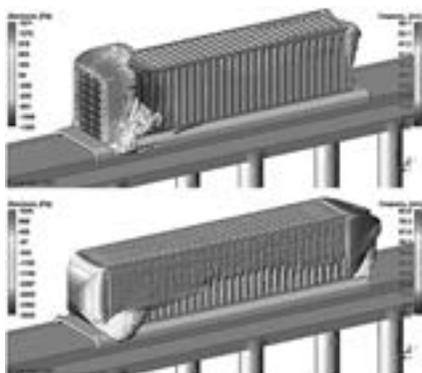


Рис. 9. Результаты нестационарного расчета. Модели 1 и 2, давления на внешних поверхностях, изоповерхности завихренностей и скорости потока на них.

Таблица 1. Коэффициенты лобового сопротивления для различных вариантов обтекателя.

Модель	1		2		3		4	
	Стац.	Нестац.	стац	нестац	стац	стац	стац	стац
C_x	0,78	0,79 ± 0,15	0,16	0,17 ± 0,04	0,16	0,16	0,14	
Нос								
Хвост	0,17	0,18 ± 0,09	0,16	0,15 ± 0,03	0,22	0,22	0,22	
Боковая поверхность	0,06	0,06 ± 0,08	0,15	0,16 ± 0,05	0,16	0,16	0,18	
Суммарный коэффициент	1,01	1,03 ± 0,14	0,47	0,48 ± 0,05	0,54	0,54	0,54	

Как видно из таблицы 1, применение предложенных обтекателей примерно впятеро уменьшает лобовое сопротивление носовой части. Форма обтекателей хвостовой части нуждается в доработке. Суммарное C_x составляет до 0,48, что примерно соответствует «фуре».

Приведем также некоторые результаты нестационарных расчетов, проведенных для моделей 1 и 2 при скоростях 50 м/с (180 км/ч)

Результаты оценки прочности контейнера

Стенки типового контейнера выполнены из гофра, но не являются несущими и необходимо проверить их прочность при аэродинамическом воздействии. Проведено моделирование напряженно-деформированного состояния и собственных колебаний боковой стенки на оболочечной

модели с использованием программного комплекса по методу конечных элементов ANSYS Mechanical 15.0. По оценкам при 350-400 км/ч возможно разрушение боковых стенок исходного варианта. Для возможности движения при планируемых скоростях до 500 км/ч может потребоваться их усиление или закрытие обтекателями. Для исключения вероятности динамических резонансных явлений при совпадении частоты собственных колебаний боковой стенки с частотой изменения аэродинамических нагрузок необходим дополнительный анализ спектра нагрузок.



Рис.11. Эквивалентные напряжения (до 82 МПа) от распределенного равномерного аэродинамического давления на боковую стенку ($C_p=1.5$) при скорости 250 км/ч

Выводы

Выполнено численное моделирование аэродинамических нагрузок при движении контейнера на магнитолевитационной платформе. Предложены несколько вариантов обтекателей для снижения лобового сопротивления и определены пути их дальнейшего совершенствования. Проведены оценки прочности контейнера при скоростном движении.

Литература:

1. Зайцев А. А., Талашкин Г. Н., Соколова Я. В. Транспорт на магнитном подвесе. СПб.: ПГУПС. – 2010. – 160 с.
2. Антонов Ю. Ф., Зайцев А. А. Магнитолевитационная транспортная технология. М.: Физматлит. – 2014. – 476 с.
3. Дубинский С.И. Численное моделирование ветровых воздействий на высотные здания и комплексы. Дисс. К.т.н. МГСУ 2010
4. Дубинский С.И., Каплунов С.М., Верификация расчета аэродинамических нагрузок от прохождения скоростного состава на конструкции инфраструктуры РЖД. Труды Международной конференции «Живучесть и конструкционное материаловедение». ИМАШ РАН, 22-24 октября 2012. С.120-128
5. Дубинский С.И., Каплунов С.М. и др. Моделирование аэродинамических нагрузок на элементы инфраструктуры РЖД. Третья международная научно-практическая конференция «Интеллектуальные системы на транспорте», Сборник материалов, Санкт-Петербург 3-5 апреля 2013г., 232-238
6. ANSYS 15.0 User's Guide. Canonsburg,2014

Гуда А.Н., Храмов В.В., Ковтун О.Г., РГУПС, г. Ростов-на-Дону

Модель коррекции координат подвижных объектов транспорта по дополнительным источникам информации

Введение

Данные дистанционного зондирования Земли (ДДЗ) активно применяются для мониторинга состояния и динамики развития наземных объектов в самых разных областях человеческой деятельности – в области сельского и лесного хозяйства, для контроля землепользования, мониторинга строительства, в первую очередь протяженных объектов, к которым можно отнести элементы железнодорожной инфраструктуры, и во многих других сферах.

Пространственно-распределенная информация, получаемая, в том числе и с помощью ДДЗ составляет три большие группы: семантическую, метрическую и топологическую. Структурированная совокупность этих групп информации о конкретной территории, представленной в форме, пригодной для автоматизированной обработки, образует цифровую модель местности (ЦММ).

В основе такой ЦММ заложена способность одной группы информации (как системы) использовать части другой группы [1,2], то есть способность взаимно использовать информацию в каждой из этих групп (систем).

Международная организация по стандартизации ISO 19119 предлагает такое определение [3]: «Интероперабельность представляет собой способность соединяться, выполнять программы или передавать данные среди различных функциональных модулей способом, который не требует, чтобы пользователь имел знания о характеристиках этих модулей».

Это означает, что две взаимно интероперабельные системы могут действовать совместно для выполнения стоящей задачи.

Для географической области применимо следующее описание термина «географическая интероперабельность» [3]: «геоинтероперабельность – это способность информационных систем к [4]:

- 1) свободному обмену всех видов пространственной информации о Земле и об объектах и явлениях, выше и ниже поверхности Земли;
- 2) совместному сетевому использованию программного обеспечения, предназначенному для управления такой информацией».

Установление семантической геоинтероперабельности выходит за пределы простой возможности получить доступ к информации географических баз данных.

Сама идея создания геопространственной Semantic Web впервые была представлена в 2002 году [5].

Очевидно, хранение и поддержка такой постоянно развивающейся модели требует соответствующих информационных ресурсов, доступных, на данном этапе, в рамках концепции хранилища данных (ХД).

Форма организации базы геоданных, сочетающих ЦММ и реляционные базы данных является на данный момент чаще всего встречающейся. Однако сложность такой организации, вызванная набором инструментов создания и поддержки топологии данных создает определенные проблемы [7]. Такая модель данных не допускает большой гибкости и ориентирована на конкретные, заданные программным обеспечением, системы управления базами данных.

Она должна улучшить семантическую функциональную совместимость геоинформации в Web [6].

Основные предпосылки

Проблема создания высокоточных систем позиционирования подвижных единиц транспорта (ПЕТ) в настоящее время является одной из важнейших при обеспечении безопасности движения. Одним из перспективных путей ее решения является тесная интеграция позиционной информации от спутниковых навигационных систем (СНС) с показаниями бортовой инерциальной навигационной системы (БИНС). Но на сегодняшний день разработка алгоритмов интеграции предполагает использование только линейных или линейризованных (кусочно-линейных) первичных измерений СНС и линейных уравнений ошибок БИНС, которые, в общем случае, устойчивы лишь в небольших интервалах времени [1,2]. Это, в свою очередь, накладывает серьезные ограничения на временной интервал автономного движения ПЕТ (например, при пропадании сигналов спутниковых измерений).

На современном информационно-технологическом и техническом уровне развития железнодорожного транспорта задача определения пространственных координат подвижных объектов, долгое время остающаяся актуальной, стала вполне разрешимой. При этом актуальность этой задачи повысилась за счет внедрения ресурсосберегающих технологий, требующих обеспечить «интеллектуальное управление» движением поездов, экономного разгона и торможения и т.д. Появилась необходимость использовать цифровые мо-

дели путей (ЦМП), основанные на ЦММ, определять с высокой точностью координаты текущего местонахождения (ПЕТ), т.е. их положение на ЦМП. Для решения этой задачи необходимо обеспечить несколько условий, в то числе.

1. Построение с заданной точностью ЦМП с соответствующей привязкой ключевых элементов железнодорожной инфраструктуры - зданий, стационарных технических объектов и пр.
2. Высокоточное позиционирование ПЕТ.

В последнее время подходы к решению данной задачи и в России, и в мировой практике, реализуются, в основном, по двум направлениям: за счет использования навигационной информации непосредственно от СНС на борту ПЕТ и интеграцией измерений БИНС с координатно-скоростной информацией от СНС.

Первый подход, в принципе, не в состоянии полностью решить проблему позиционирования ПЕТ гарантированно и с требуемой точностью в силу следующих обстоятельств:

- 1) отказов работы СНС при высоком уровне атмосферных помех, в туннелях, глубоких карьерах, в горах, при многократных отражениях от складок местности и т.п.;
- 2) необходимости создания дорогостоящей (особенно с учетом протяженности отечественных железных дорог) и сложной сети станций дифференциальных поправок для обеспечения требуемого уровня точности;
- 3) изменения точности СНС в зависимости от конфигурации спутникового созвездия, наблюдаемого в текущий момент времени, а также от помех, искажающих спутниковые сообщения при их прохождении через тропосферу и ионосферу;
- 4) принципиального роста стоимости и сложности СНС с повышением требований к ее точности.

При реализации второго подхода воспользуемся так называемым «режимом тесной интеграции», при котором первичная позиционно-скоростная информация, полученная от СНС непосредственно используется для коррекции ИНС.

Целесообразность использования этого режима обусловлена тем, что:

- в процессе обработки информации используется вся навигационная информация от ИНС и СНС;
- интегрированная НС может работать в условиях малого количества наблюдаемых спутников, когда штатная работа СНС невозможна;
- возможно комплексированное использование навигационной аппаратуры различных производителей.

Методика коррекции навигационных параметров

Предлагаемая интегральная модель включает [8,9] датчик пути (ДП), блок контроля курса и местоположения (БККМ), блок хранения ЦМП (БХ), датчик высоты над уровнем моря (ДВ), блок управления и индикации (БУИ), вычислительный блок (ВБ) и работает следующим образом.

В исходном состоянии с БУИ в ВБ записываются на основании ЦМП исходные данные X_0, Y_0, H_0, α , соответствующие координатам движущегося объекта в начале движения и начальному дирекционному углу. В процессе своего движения ДП, БККМ и ДВ вырабатывают сигналы о текущих значениях приращения пройденного пути ΔS , дирекционного угла $\Delta \alpha$ и высоты над уровнем моря ΔH . После преобразования *аналог – код* эти сигналы поступают в ВБ, где обрабатываются по алгоритму решения прямой геодезической задачи, т.е. определяется текущие значения координат X_T и Y_T по формулам:

$$\begin{cases} X_T = X_0 + \sum_{i=1}^N \cos(\alpha_0 \pm \Delta \alpha_i) \cdot \Delta S_i \\ Y_T = Y_0 + \sum_{i=1}^N \sin(\alpha_0 \pm \Delta \alpha_i) \cdot \Delta S_i \end{cases}$$

кроме того, там же определяется величина пройденного пути S по формуле:

$$S = \sum_{i=1}^N \Delta S_i$$

В соответствии со значением S ВБ вырабатывает адрес A_S , по которому в БХ ЦМП хранятся параметры $X_M(S), Y_M(S), H_M(S)$, определяющие значения координат траектории эталонной модели дороги. Так как очевидно, что для каждой реальной железнодорожной трассы значения координат каждой ее точки между собой связаны, то предоставляется возможным это учесть при определении фактических значений координат движущегося транспортного средства. Поэтому в ВБ определяют коэффициенты согласования пути и величин коррекции курсового угла для пар координат $\{X, Y\}, \{X, H\}, \{Y, H\}$ по формулам:

$$\begin{cases} \Delta W_{X,Y} = \frac{\Delta X \cdot X_M(S) + \Delta Y \cdot Y_M(S)}{X_M^2(S) + Y_M^2(S)} \\ \Delta \alpha_{X,Y} = \frac{\Delta Y \cdot X_M(S) - \Delta X \cdot Y_M(S)}{X_M^2(S) + Y_M^2(S)} \end{cases}$$

$$\begin{cases} \Delta W_{X,H} = \frac{\Delta X \cdot X_M(S) + \Delta H \cdot H_M(S)}{X_M^2(S) + H_M^2(S)} \\ \Delta \alpha_{X,H} = \frac{\Delta H \cdot X_M(S) - \Delta X \cdot H_M(S)}{X_M^2(S) + H_M^2(S)} \end{cases}$$

$$\begin{cases} \Delta W_{Y,H} = \frac{\Delta Y \cdot Y_M(S) + \Delta H \cdot H_M(S)}{Y_M^2(S) + H_M^2(S)} \\ \Delta \alpha_{Y,H} = \frac{\Delta H \cdot Y_M(S) - \Delta Y \cdot H_M(S)}{Y(S) + H_M^2(S)} \end{cases}$$

$$\Delta X = X_T(S) - X_M(S);$$

где $\Delta Y = Y_T(S) - Y_M(S);$

$$\Delta H = H_T(S) - H_M(S).$$

Попарно откорректированные значения текущих координат ПЕТ получают в вычислительном блоке по формулам:

$$\begin{cases} X_{T1}(S) = \frac{X_M(S)}{1 + \Delta W_{X,Y}} + \frac{\Delta \alpha_{X,Y} \cdot Y_M(S)}{1 + \Delta W_{X,Y}} \\ Y_{T1}(S) = \frac{Y_M(S)}{1 + \Delta W_{X,Y}} - \frac{\Delta \alpha_{X,Y} \cdot X_M(S)}{1 + \Delta W_{X,Y}} \end{cases}$$

$$\begin{cases} X_{T2}(S) = \frac{X_M(S)}{1 + \Delta W_{X,Y}} + \frac{\Delta \alpha_{X,Y} \cdot H_M(S)}{1 + \Delta W_{X,Y}} \\ H_{T1}(S) = \frac{H_M(S)}{1 + \Delta W_{X,Y}} - \frac{\Delta \alpha_{X,Y} \cdot X_M(S)}{1 + \Delta W_{X,Y}} \end{cases}$$

$$\begin{cases} Y_{T2}(S) = \frac{Y_M(S)}{1 + \Delta W_{X,Y}} + \frac{\Delta \alpha_{X,Y} \cdot H_M(S)}{1 + \Delta W_{X,Y}} \\ H_{T2}(S) = \frac{H_M(S)}{1 + \Delta W_{X,Y}} - \frac{\Delta \alpha_{X,Y} \cdot Y_M(S)}{1 + \Delta W_{X,Y}} \end{cases}$$

После усреднения в вычислительном блоке получают окончательные значения координат по формуле:

$$X(S) = \frac{X_{T1}(S) + X_{T2}(S)}{2}$$

$$Y(S) = \frac{Y_{T1}(S) + Y_{T2}(S)}{2}$$

$$H(S) = \frac{H_{T1}(S) + H_{T2}(S)}{2}$$

При этом, в случае наличия связи со СНС X2i получает от нее, при потере связи со спутниками используем значения координат от ЦМП.

Заключение

Полученный опыт использования методики коррекции навигационных параметров подвижных единиц транспорта, передвигающихся по известным трассам, задаваемым 3D цифровой моделью пути, разработанной с применением принципа семантической геоинтероперабельности, позволил выявить и доказать на практике свою состоятельность и перспективность применения в интеллектуальных системах управления движением транспорта, в частности на Российских железных дорогах Юга страны.

Литература

1. Словарь Merriam-Вебстера, <http://www.m-w.com>
2. Толковый словарь, <http://www.dictionary.com>
3. ISO 191xx series of geographic information standards.- http://www.wmo.int/pages/prog/www/TEM/ET-WISC-I/ISO_191xx.doc
4. Розенберг, И.Н. Семантическая геоинтероперабельность – основа интеллектуализации корпоративного доступа к данным / И.Н. Розенберг, С.К. Дулин.- Труды третьей НТК с международным участием «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте» ИСУ ЖТ-2014.- С.131-135
5. Berners-Lee, T.: Artificial intelligence and the Semantic Web, Proc. Conf. Artif. Intell. AAAI-06 (2006).
6. Щукин, В.А. Семантические Web-сервисы // Информационно-измерительные и управляющие системы, № 6, т. 11, 2013. – С. 60-64.
7. Долгий, И.Д. Решение задачи тесной интеграции инерциально-спутниковых навигационных систем, комплексированных с неинерциальными измерителями / И.Д. Долгий, С.В. Соколов // Труды второй НТК с международным участием «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте» ИСУ ЖТ-2013.- С.124-127
8. Патент ФРГ №3033279
9. Храмов В.В. Система коррекции местоположения транспортного средства, а.с. СССР №1217051



Бородин А.Ф., ОАО «ИЭРТ», г. Москва

О гармонизации развития и использования железнодорожной инфраструктуры и перевозочных ресурсов

На отечественном железнодорожном транспорте создан мощный научно-методический потенциал для расчета перевозочной мощности транспортных систем. Но сам по себе расчет этой мощности недостаточен для менеджмента отрасли. Ему, в конечном счете, надо получить ответы на вопросы – тактические (куда направить транспортные потоки?) и стратегические (куда направить инвестиции?).

Литература по вопросам этапного развития транспортных систем также весьма обширна. При этом подавляющее большинство работ исходит из предположения монотонного роста перевозочной работы. В действительности приходится иметь дело и с падением, и с диверсификацией транспортных потоков, с перепрофилированием объектов инфраструктуры либо с их закрытием.

В последнем случае вместо срока окупаемости инвестиций за счет дополнительных доходов и (или) снижения эксплуатационных расходов будут иметь место единовременная экономия и срок ее «проедания», за пределами которого эксплуатационные расходы будут расти до тех пор, пока не будут сделаны новые капиталовложения.

И главное – на протяжении ряда десятилетий использование и развитие инфраструктуры и перевозочных ресурсов железнодорожного транспорта происходит в условиях жестких ограничений доступных инвестиционных средств. Поэтому не теряет актуальности поиск ответа на вопрос: от чего и в какой последовательности отказываться, чтобы минимизировать потери технологического эффекта?

В работе [1] методологически сформулирован подход к обоснованию комплексных стратегий овладения перевозками, включающих инвестиции в развитие инфраструктуры, изменение структуры и численности локомотивного и вагонного парка, улучшения технологии управления движением (снижения доли непроизводительного использования мощности инфраструктуры).

Например, дефициты мощности сортировочных станций и участков можно предотвращать различными техническими, технологическими и организационными мерами: реконструкция; перераспределение поездопотоков и сортировочной работы; улучшение поездной работы и ее тягового обслуживания, включая рационализацию и унификацию норм веса и

длины поездов; улучшение станционной технологии (перераспределение мощности, уплотнение использования устройств); развитие других станций и участков (в том числе не имеющих дефицитов мощности) для концентрации перевозочной работы и повышения ее экономичности.

Известны два принципиальных методических направления в решении задачи комплексного развития станций и участков в масштабах всей железнодорожной сети.

Первое направление предусматривает расчет эффективных (эффективно-реализуемых) вариантов распределения и организации сетевых вагонопотоков и поездной работы на перспективу с последующим определением инвестиций в инфраструктуру и подвижной состав, с частичной корректировкой отдельных вариантов для снижения общей суммы строительно-эксплуатационных затрат.

Второе направление предусматривает расчет эффективных (эффективно-реализуемых) вариантов распределения и организации сетевых вагонопотоков и поездной работы на перспективу с непосредственным включением в расчеты строительных затрат в развитии станций и участков, с последующим уточнением суммы всех расходов для лучших вариантов.

При разработке «Схем размещения и развития сортировочных станций» (2007 и 2014 гг.) был применен синтез обоих методических направлений с тем, чтобы целенаправленно сгенерировать несколько вариантов решения с различными эксплуатационными преимуществами, проводя для них уточняющие расчеты по отдельным узлам для окончательного выбора решения.

Опыт указанных разработок показал, что оптимальный план формирования однопутных поездов, рассчитанный без учета инфраструктурных ограничений, требует для его реализации большого количества сортировочных путей. Однако ограничения по числу назначений, установленные исходя из существующего количества и специализации сортировочных путей, при расчете на перспективные потоки могут вызвать потребность укладки не меньшего (если не большего) числа путей в приемных парках и усиления горок, при этом будет получено замедление продвижения вагонопотоков. Кроме того, при ограниченном путевом развитии сортировочных парков схемы станций оказываются недостаточно приспособленными к изменению

постройного состава вагонопотоков и их регулированию. Поэтому следует:

- рассчитать наборы эффективных вариантов сетевого плана формирования одногруппных поездов при различных степенях жесткости инфраструктурных ограничений;
- при создании регулировочных резервов путевого развития на сортировочных станциях стремиться, насколько позволяют местные условия, создавать их прежде всего в сортировочных парках, и уже затем – в парках отправления и приема.

Решение проблемы оптимизации технологии перевозочного процесса и развития сети базируется на применении комплекса взаимосвязанных математических моделей (рис. 1). Принципиально набор пространственно-временных сетевых потоковых моделей с основными режимами их функционирования представлен на рис. 2. Режим оптимизации должен выдавать набор значений следующих управляемых переменных: назначения грузовых поездов; прикрепление вагонопотоков к назначениям грузовых поездов; направления пропуска грузовых поездов по железнодорожной сети; нормы веса и длины грузовых поездов с их тяговым обеспечением; специализация ниток и графиковые размеры движения грузовых поездов; расписания грузовых поездов и периодичность их курсирования.



Рис.1. Комплекс взаимосвязанных математических моделей для решения проблемы выбора эффективных параметров технологии перевозочного процесса и развития сети

Режим оценки вариантов формирует набор значений следующих оценочных показателей: пробеги поездов, вагонов и локомотивов; парк вагонов по их принадлежности; парк поездных и маневровых локомотивов и штат локомотивных бригад; графиковые размеры движения грузовых поездов; топливно-энергетические ресурсы; эксплуатационные расходы.

Система ограничений должна обеспечивать выполнение при решении задач ряда необходимых условий:

- инфраструктурных, связанных с пропускной способностью и путевой емкостью элементов железнодорожной сети;
- ресурсных, связанных с величиной доступных ресурсов локомотивных и вагонных парков;

- логистических, связанных с допустимыми режимами продвижения транспортных потоков по железнодорожной сети, включая допустимое время нахождения на сети и ее элементах.

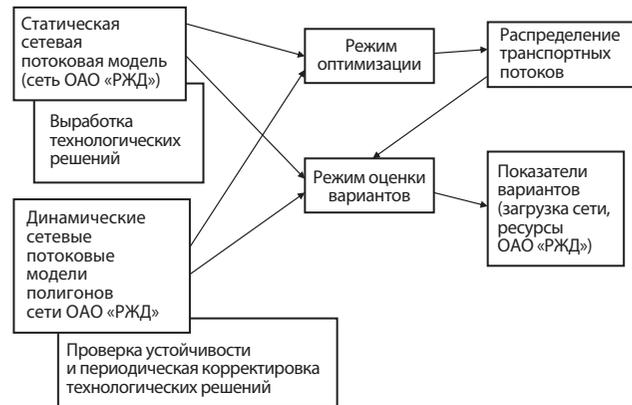


Рис.2. Принципиальная структура и основные функции сетевых потоковых моделей

Необходимо обеспечить расчет загрузки и показателей работы всех элементов железнодорожной сети. При накладке вагонокорреспонденций от каждой станции отправления вагонов определяется маршрут следования по плану формирования до каждой станции назначения, идентифицируются назначения поездов и станции переработки на маршруте следования. В свою очередь для каждого назначения поездов строится последовательность участков работы локомотивных бригад (УРЛБ), по которым следует поезд этого назначения, идентифицируются станции, проходимые поездами транзитом без переработки. При этом на модель сети дорог, состоящую из перегонов и станций, «накладывается» сеть бригадных участков и технических станций. В процессе расчетов на сеть бригадных участков и технических станций должна, в свою очередь, «накладываться» сеть назначений поездов с их характеристиками, а на нее – сеть ниток графика движения грузовых поездов.

Рассматриваемые задачи относятся к классу NP-полных задач, для которых нет алгоритмов строгой оптимизации. Поэтому режим оптимизации должен предусматривать приближенный поиск базового решения (пошаговое распределение транспортных потоков по сети [2]) и ряд эвристических процедур улучшения базового решения.

Поиск эффективных параметров овладения перевозками при этом следует рассматривать как итерационный процесс, в котором чередуются оптимизационные расчеты и экспертный анализ. При этом генерируется группа вариантов, из которой отсеиваются непригодные по значениям целевой функции и ограничениям на параметры решения. Отобранные варианты прора-

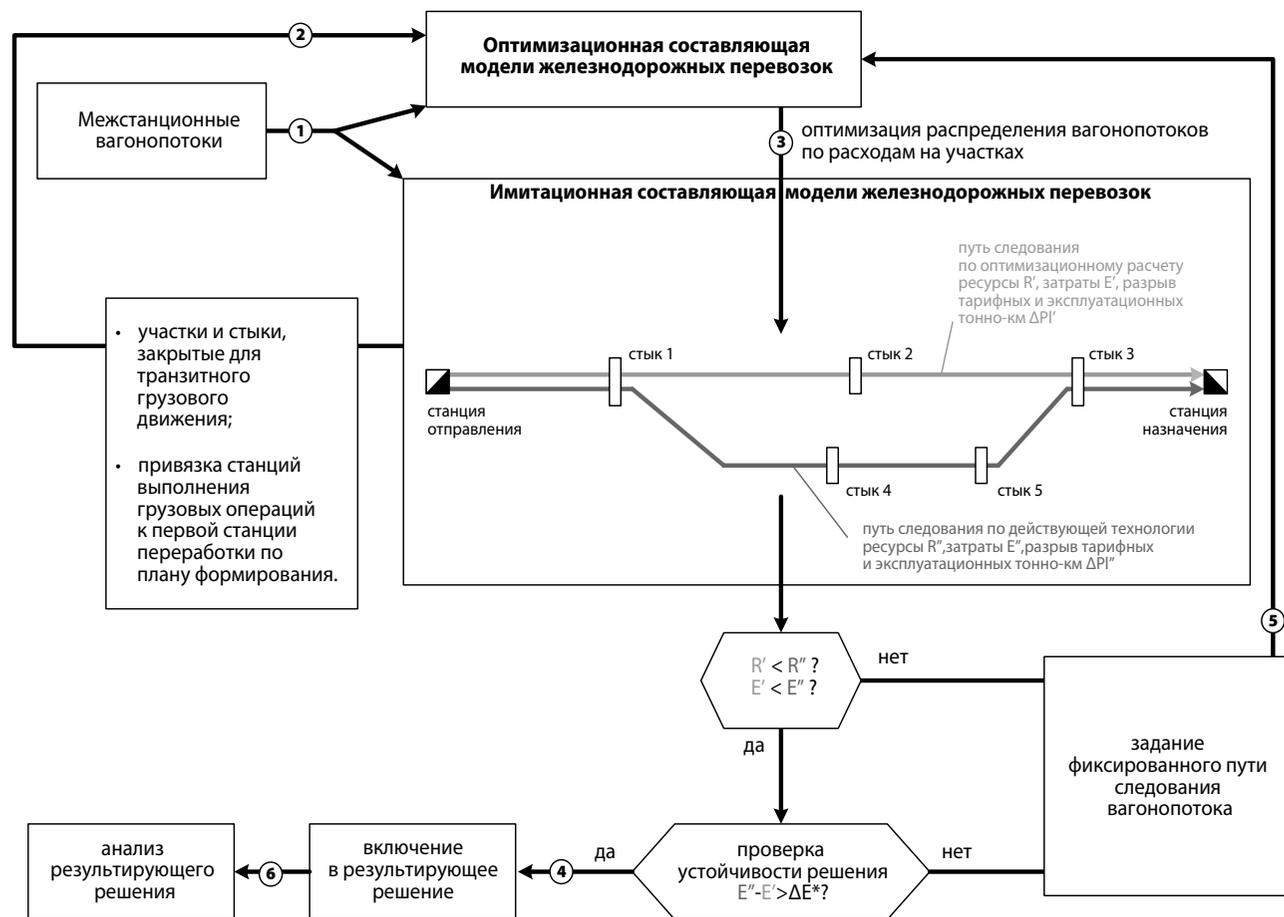


Рис.3. Взаимодействие оптимизационной и имитационной подсистем Модели железнодорожных перевозок ОАО «РЖД»

бываются с глубиной детализации следующего этапа, непригодные опять отсеиваются, и т. д.

Поэтому разрабатываемая автоматизированная система «Модель железнодорожных перевозок ОАО «РЖД» имеет двухуровневое построение (рис. 3). Межстанционные корреспонденции груженых и порожних вагонопотоков служат входной информацией (1). База данных имитационной подсистемы формирует входные ограничения (2) для оптимизации распределения вагонопотоков по расходам на участках (3). Имитационная подсистема моделирует реализацию оптимального решения в заданных технико-технологических условиях, оценивая изменение ресурсов, затрат, разрыва тарифных и эксплуатационных тонно-километров. В результирующее решение включаются (4) оптимизирующие изменения следования вагонопотоков, эффективность которых подтверждена имитационной подсистемой, а экономический эффект не ниже заданной величины, обеспечивающей устойчивость решения. Для вагонопотоков, не включенных в результирующее решение, пути следования по сети согласно базовой технологии фиксируются в качестве обязательных (5) для следующей итерации оптимизационных расчетов. По результирующему решению производится развер-

нутый анализ показателей (6) в Автоматизированной системе прогноза ресурсов сети АС ПРОГРЕСС [3].

Таким образом, имитационная составляющая Модели железнодорожных перевозок ОАО «РЖД» должна проверять возможность практической реализации решения оптимизационной задачи распределения вагонопотоков на сети, уточнять показатели оптимизационного расчета с учетом реального нелинейного характера целевой функции, параметров решения и ограничений (с наличием в их составе дискретных компонентов), подтверждать эффективность включения результатов, полученных для определенных вагонокорреспонденций, в результирующее решение либо генерировать (исходя из технологии перевозочного процесса) фиксированные пути следования определенных вагонокорреспонденций, подавая их на вход следующей итерации оптимизационного расчета.

Решение рассматриваемой проблемы осложняется тем, что существующая информация о размерах и структуре вагонопотоков не обладает необходимой глубиной и достоверностью. С достаточной уверенностью можно определить лишь зоны (интервалы), в которых могут находиться значения расчетных вагонопотоков. Порожние вагонопотоки обладают еще

большей неопределенностью, чем грузы. На перспективу достаточно сложно указать, какая доля перевозок будет выполняться в вагонах отдельных операторов; какая система регулирования вагонных парков будет выстроена этими операторами; кто из них заключит договора с ОАО «РЖД» на накопление составов и формирование поездов из порожних вагонов на станциях инфраструктуры общего пользования, прежде всего на сортировочных.

Поэтому следует использовать метод, позволяющий в условиях неполноты информации выбирать решения, которые не теряют своей эффективности при практически возможных изменениях исходных данных, по критерию среднего экономического риска.

Процесс решения задачи предусматривает составление и компьютерный анализ специальной таблицы, в которой приняты обозначения:

- h^{*ij} , h_{ij} – характеристика соответственно оптимального и близкого к нему варианта решения при i -м варианте реализации внешних условий (стоимостных параметров, размеров вагонопотоков) и j -м варианте внутренних условий (технологии организации и пропуска вагонопотоков);
- $E_{h,ij}^*$, $E_{h,ij}$ – суммарные сопоставимые расходы в оптимальном и близком к нему вариантах решения;
- $R_{h,ij} = E_{h,ij} - E_{h,ij}^*$ – величина экономического риска варианта (h,ij) .

В таблицу заносятся данные не заранее сформированного набора альтернатив (вариантов решения задачи), а данные вариантов (эффективного и ряда близких к нему), полученных в результате решения задачи оптимизации распределения сортировочной работы и развития станций. По данным таблицы для каждого h -го варианта решения вычисляется среднее значение экономического риска, и рекомендуется к реализации вариант, у которого величина указанного риска минимальна. Если варианты условий (i, j) равновероятны, то решением задачи, как правило, будет вариант h , остающийся эффективным в большинстве вариантов (i, j) .

Технологические аспекты устойчивости решений к дифференциации и динамике транспортных потоков,

преимущества и недостатки концентрации определенных вагонопотоков и (или) операций либо рассредоточения и дублирования сортировочной и поездной работы представлены в работе [4].

Плодотворным направлением разработок по моделированию развития и использования инфраструктуры и перевозочных ресурсов должна стать совместная оптимизация этапности реконструктивных работ и организации эксплуатационной работы при их проведении, включая перераспределение сортировочной и поездной работы на полигонах сети, организацию транзитных и местных вагонопотоков на полигонах взаимодействия реконструируемых объектов (включая весовые нормы и маршрутизацию перевозок), тяговое обслуживание, комплексный выбор очередности закрытия устройств и самих способов реконструкции. Сегодня, например, практически не применяется эффективный скоростной способ переустройства станций, предусматривающий полное закрытие технологических линий и парков станции в основной период работ с обеспечением сокращения сроков и стоимости строительно-монтажных работ.

Каждый этап развития инфраструктуры характеризуют стоимость ПИР и СМР; физические объемы строительства; срок строительства; технологический результат (изменение потребности в локомотивах ДМ, локомотивных бригадах ДБ и топливно-энергетических ресурсах ДА, потребности в вагонном парке ДР, пробегов локомотивов ДМС и вагонов DNS, скорости доставки грузов DV_{дост}).

При этом с учетом ограниченности инвестиционных ресурсов, производственной и строительной базы необходимо учитывать следующие основные факторы: предоставление при прочих равных условиях преимущества объектам, у которых выше темп прироста объемов работы; создание нормальных условий работы на решающих направлениях сети; наличие станций и участков со значительным ростом размеров местной работы, которая не может быть перераспределена; сохранение необходимого уровня маневренности полигонов сети [1, 5] при закрытии устройств для производства реконструктивных работ.

Варианты внешних условий	$i = 1$	...	I						
Варианты внутренних условий	$j = 1$	...	J	$j = 1$	...	J	$j = 1$	...	J
Эффективный вариант решения	h^{*11}	h^{*1j}	h^{*1I}	h^{*i1}	h^{*ij}	h^{*iJ}	h^{*I1}	h^{*Ij}	h^{*IJ}
Ближайший к эффективному вариант решения	h_{11}	h_{1j}	h_{1I}	h_{i1}	h_{ij}	h_{iJ}	h_{I1}	h_{Ij}	h_{IJ}
...

На основе исследования взаимосвязей уровней организации транспортных потоков и манёвренности полигонов железнодорожной сети сформулирован [1, 5] вывод о том, что взаимоувязанное планирование перевозочного процесса, реконструктивных и ремонтных работ и бюджетных показателей требует полноценного перехода от вариантных графиков движения поездов на участках и направлениях к вариантным технологическим режимам работы полигонов железнодорожной сети.

Каждый i -й вариантный технологический режим $W(t_i)$ характеризуется периодом действия длительностью t_i с датами начала T_{0i} и завершения T_i и с набором параметров $\{W_1(t_i), W_2(t_i), W_3(t_i), W_4(t_i), W_5(t_i), W_6(t_i), W_7(t_i)\}$, где $W_j(t_i)$, $j = 1, \dots, 7$ – вектор, характеризующий j -ю подсистему технологии эксплуатационной работы полигона.

Переменные, составляющие вектор $W_1(t_i)$, характеризуют действующую на полигоне технологию организации вагонопотоков; $W_2(t_i)$ – параметры внутриузловой (внутристанционной) технологии; $W_3(t_i)$ – график движения поездов и технологию поездной работы; $W_4(t_i)$ – систему тягового обслуживания; $W_5(t_i)$ – регулирование порожних вагонов; $W_6(t_i)$ – технологии работы путей необщего пользования и других железнодорожных инфраструктур; $W_7(t_i)$ – пассажирское и пригородное движение.

При этом переменные $W_5(t_i)$, $W_6(t_i)$, $W_7(t_i)$ находятся (полностью или частично) вне зоны ответственности ОАО «РЖД» как владельца инфраструктуры и гарантирующего перевозчика. Поэтому в конкретной постановке указанные переменные выступают либо как управляемые переменные в многокритериальной задаче, либо как система ограничений в однокритериальной задаче.

Задачи отыскания эффективного набора параметров вариантного технологического режима $W^*(t_i)$ должны учитывать затраты, связанные со сменой технологических режимов, с передислокацией мощностей строительных организаций, занятие инфраструктуры

хозяйственными поездами и завозом стройматериалов, а также стоимостную оценку набора возможных технологических изменений при колебаниях предъявляемых вагонопотоков.

Включение в систему расчетов по использованию и развитию инфраструктуры и перевозочных ресурсов указанных параметров адаптируемости к колебаниям спроса на перевозки позволит отбирать решения, повышающие качество оперативно-регулирующей деятельности железных дорог и отдельных узлов; улучшающие согласованность работы взаимодействующих звеньев перевозочного процесса на полигонах сети.

Литература

1. Сайбаталов Р.Ф., Бородин А.Ф. Вагонный парк, инфраструктуру и управление движением – к общему знаменателю. – Ж. д. транспорт, 2014. - № 11. – С. 26 – 34.
2. Батурин А.П., Бородин А.Ф., Панин В.В., Шумская О.А., Пояркова М.А. Организация сетевых вагонопотоков в одnogруппные поезда. – Ж. д. транспорт, 2005. - № 6. – С. 17 – 24.
3. Бородин А.Ф. Технологическое обеспечение перевозочного процесса. – Труды первой научно-технической конференции «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте» (ИСУЖТ-2012) – Москва, 15–16 ноября 2012 года. – С. 72 – 76.
4. Бородин А.Ф. Адаптивное управление вагонопотоками. Ж. д. транспорт, 2005. - № 1. – С. 33 – 37..
5. Бородин А.Ф., Сайбаталов Р.Ф. Методы устранения эксплуатационных затруднений на основе оценки манёвренности и вариантных технологических режимов работы полигонов железнодорожной сети. – Труды третьей научно-технической конференции с международным участием «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование» (ИСУЖТ-2014). – Москва, 18 ноября 2014 года. – С. 20 – 23.



Обухов А.Д., МГУПС (МИИТ), г. Москва

Интеллектуализация процессов управления на сортировочной станции

В настоящее время большую роль в управлении транспортными процессами играют интеллектуальные системы. Прежде всего, это связано с невозможностью полного автоматического режима функционирования транспортных объектов с применением традиционного подхода к их управлению. Разработка и внедрение такого рода систем обеспечат интеллектуализацию принятия решений по управлению транспортными процессами на сортировочных станциях (СС) [1].

В процессе принятия решения по управлению сортировочным процессом станционный и маневровый диспетчеры должны уметь прогнозировать, распознавать и определять вероятные последствия ситуации затруднения и контролировать ее выполнение, обеспечивая успех снятию затруднения. В этих условиях лицо принимающее решение может допустить серьезную ошибку, забыв важное правило, что в конечном итоге может привести к ухудшению эксплуатационной обстановки на сортировочной станции. Необходимо отметить влияние временного фактора, ведь диспетчеру приходится принимать управленческое решение в крайне сжатые сроки.

В этой связи к проектируемой системе управления работой сортировочной станции с элементами искусственного интеллекта (ИС) [2] предъявляется ряд важных и обязательных требований. Одно из них обусловлено необходимостью наличия в ней интерпретирующих возможностей, которые позволяют подробно разобрать и объяснить, каким образом достигнута конкретная ситуация в перевозочном процессе. Следует сказать, что реальные входные данные, поступающие от различных источников информации и диагностирования технических объектов в процессе интерпретации имеют неполный, ненадежный, а иногда ошибочный характер.

В условиях проектирования данной системы управления особую актуальность приобретают прикладные аспекты искусственного интеллекта, где реализуются функции воспроизведения и самостоятельного применения лучшего опыта диспетчеров – их процедуры, стратегии, эмпирические правила и т.п. Здесь главная роль отводится организации специальных баз знаний [3]. Данный процесс проводится в два основных этапа: на первом должны быть формализованы и структурированы экспертные знания о предметной области; на втором - необходимо формализовать представления этих знаний с помощью широко известных моделей ИИ.

Существуют десятки языков представления знаний для различных предметных областей, большинство которых можно классифицировать на: производственные модели, семантические сети, фреймы и формальные логические модели. Применительно к базе знаний интеллектуальной системы управления сортировочной станцией представляется перспективным применение производственных правил, которые представлены в форме динамических продукций. Они полностью дают возможность точного отражения логико-математических и эвристических знаний диспетчерского персонала об организации перевозочного процесса на СС, а также логики принятия управленческих решений.

Под производственными системами понимается метод формализации знаний, при котором знания представляются в виде организованного множества правил-продукций, преобразующих некоторую информационную структуру, моделирующую элементы реального мира. Правило-продукция имеет вид: <условие применения> → <действие>, где <условие применения> правила специфицируют некоторые требования к текущему состоянию информационной структуры, а <действие> содержит описание тех операций, которые нужно произвести, если структура удовлетворяет этим требованиям.

Иерархическое разбиение множества продукций позволяет более эффективно организовать их выполнение, существенно сократив затраты на перебор множества продукций при проверке условия их срабатывания, что определяет дополнительный интерес к производственным системам.

Сами продукции могут быть элементами смешанных систем представления знаний, например, выступать в качестве значений некоторых слотов фреймов или приписываться вершинам семантической сети.

Среди достоинств производственных систем выделяют следующие:

- универсальность метода программирования, что обеспечивает возможность создания многообразия различных проблемно-ориентированных производственных систем, различающихся средствами представления правил вывода и обрабатываемых структур;
- модульность организации знаний в производственных системах, при которой каждая продукция представляет собой законченный фрагмент знаний о предметной области, все множество продукций

может быть декомпозировано на подмножества, относящиеся к одинаковым компонентам знаний;

- в значительной степени эта модульность обеспечивается: независимостью каждой продукции от содержания других; ограниченностью фрагмента знаний, представляемого каждой продукцией; его функциональной локальностью в общей сумме информации о предметной области; отсутствием взаимодействия продукции друг с другом (эффект применения каждой из них определяется изменением, которое она производит в информационной структуре, что обеспечивает легкость и естественность спецификации продукционных знаний, простоту их модификации и расширения);
- частью продукционных систем является некоторым образом описанная информационная структура, являющаяся декларативным знанием о предметной области, что позволяет рассматривать продукционные системы как синтетические, в которых достигнуто большее единство в представлении процедурной и декларативной составляющих знаний;
- асинхронность, недетерминированность и возможная параллельность продукционных систем делают их весьма перспективными для реализации на параллельных ЭВМ, ориентированных на продукционное программирование.

Основными недостатками продукционных систем являются:

- во-первых, низкая эффективность в сравнении с традиционными методами программирования, объясняющаяся главным образом конвейерным способом обработки информации;
- во-вторых, сложность или даже невозможность контроля правильности программ продукционных систем методом воображаемой или реальной прокрутки соответствующего вычислительного процесса, что характерно для недетерминированных систем.

Динамические продукции являются модифицированной версией наиболее простого и эффективного машинно-ориентированного языка – правила продукции «Если, то» («Условие, Действие»). В данном случае Действие и Условие представляются набором логических формул с применением пространственно-временных отношений, что полностью отражает характер движения поездов, вагонов, локомотивов по станционным путям.

Динамические продукционные правила с нечеткими и детерминированными темпоральными параметрами являются удобным средством представления

знаний оперативно-диспетчерского персонала сортировочной станции. Они открывают большие горизонты использования данного подхода к точному прогнозированию поездной обстановки в границах любой технологической подсистемы. Продукционные правила автономны по отношению к использованию их в сложных процедурах вывода, они содержатся в базе знаний вне кода основной моделирующей программы, поэтому для изменения логических правил в организации технологических цепочек на сортировочной станции отсутствует необходимость перепрограммирования всей системы, так как необходимо лишь модифицирование наборов продукционных правил в БЗ управляющей системы.

При выполнении условия применимости ядер продукции для группы продукции может возникать дилемма выбора той продукции, которая в данной ситуации будет активизирована. Решение данной задачи возлагается на систему управления системой продукции. При реализации проектируемой системы интеллектуального управления на платформах с параллельной архитектурой, то из фронта готовых продукции может выбираться не одна продукция, а столько, сколько параллельных ветвей может одновременно в данной ситуации может выполнять системный процессор. В этой связи возможности применения данного метода практически безграничны исходя из возможностей современной компьютерной техники. Эта задача характерна не только для систем продукции, но и для всех систем, где необходимо выполнение параллельных процессов. При этом возможны два способа ее решения: централизованный и децентрализованный. В первом случае решение об актуализации принимается специальной системой управления, при втором – складывающейся в данный момент ситуацией.

Литература:

1. Обухов А.Д. Совершенствование технологии работы сортировочных станций в современных условиях на основе факторного анализа // Бюллетень транспортной информации. - 2015. № 1. – С. 28 - 33.
2. Обухов А.Д. Разработка интеллектуальной системы управления работой сортировочной станцией // Инновации и исследования в транспортном комплексе: Материалы III Международной научно-практической конференции. Часть I (в двух частях) – Курган, 2015. С. 223-226.
3. Базы знаний интеллектуальных систем / Т.А. Гаврилова, В.Ф. Хорошевский – СПб: Питер, 2000. – 384 с.: ил.



Белоусов А.А., Старков Ю.В., ООО «НПК «Разумные решения», г. Самара
Никищенок С.А., СамГУПС, г. Самара

Перспективы развития АСУ контейнерных площадок дирекций по управлению терминально-складскими комплексами с применением мультиагентных технологий

При организации процесса управления контейнерной площадкой приходится непрерывно сталкиваться с большим количеством возмущений, разных по характеру, которые могут приводить к увеличению времени обработки контейнеров, в частности, и к снижению пропускной способности площадки, в общем. Сейчас время разрешения конфликтных ситуаций, связанных с перемещениями, обработкой и отгрузкой контейнеров полностью зависит от опыта конкретного диспетчера и исполнителей, задействованных на местах (крановщики, грузчики). Это часто приводит к нерациональным действиям операторов кранов, погрузчиков или составителей поездов.

Постоянный рост контейнерных перевозок в мире привёл к тому, что с начала века контейнерный грузооборот уже к 2012 году увеличился почти втрое (с 598 млн. до 1498 млн. тонн) [1]. И только в 2015 году негативная экономическая ситуация в России привела к сокращению объёмов таких перевозок. Однако по мнению аналитиков, в скором времени положение стабилизируется и значительное сокращение импорта начнёт замещаться ростом экспорта [2]. Текущая ситуация временного снижения активности толкает прозорливых операторов контейнерных площадок к принятию мер для подготовки к новому росту грузооборота и повышению собственной конкурентоспособности (актуально для клиентоориентированных компаний). Это, в свою очередь, ставит определённые задачи по сокращению времени обработки контейнеров, снижению влияния человеческого фактора за счёт автоматизации процесса принятия решений и внедрения интеллектуальных систем, обеспечивающих быстрое и эффективное урегулирование конфликтов.

Разрабатываемая интерактивная информационная система автоматизированного планирования и управления работой контейнерной площадки предназначена для решения обозначенных выше задач через ликвидацию разрыва взаимодействия обслуживающей станции и контейнерной площадки, визуализацию местонахождения контейнеров через создание 3D модели площадки и переход к максимальной автоматизации составления планов работы контейнерной площадки.

Данная система строится на основе мультиагентных технологий с использованием механизмов 3D мо-

делирования, предоставленных СамГУПС. Опираясь на введённые в систему данные о порядке следования контейнера (если транзитный) или времени забора перевозчиком (если грузовой), его размеры, тип, статусы, даты и направления отгрузки, интеллектуальная система планирует любые действия с ним с точностью до минут. А это весь путь контейнера – от момента поступления до покидания им площадки. Кроме порядка действий, каждому пользователю системы предоставляется специальная инструкция оптимального перемещения по площадке для выполнения того или иного задания. Таким образом минимизируются непроизводительные пробеги техники.

Архитектура мультиагентной системы представляет из себя программный модуль принятия решений, технический носитель данного модуля (вычислительные мощности), 3D модель контейнерной площадки (виртуальная подробная схема текущих условий площадки), интерфейс (АРМ) для диспетчеров и дистанционные терминалы сбора данных (ТСД). При дальнейшем развитии продукта возможно разработать отдельные АРМы для операторов кранов, погрузчиков и других ресурсов (персонала) площадки.

Главной движущей силой механизма является функционирование интеллектуального ядра системы, где каждому объекту контейнерной площадки ставится в соответствие условно автономный программный агент, способный действовать от его лица и по его поручению, формируя сети потребностей и возможностей (ПВ-сети). Поиск решений в системе осуществляется через переговоры агентов, результаты которых выдаются диспетчеру. В результате подобных переговоров агенты системы могут решать различные конфликты, например, меняясь местами в очереди на обработку или выбирая оптимальное положение в стеке (для контейнеров). Ресурсы контейнерной площадки (краны, погрузчики и др.) получают от системы решения для персональных маршрутов перемещения по площадке, порядок выгрузки и погрузки контейнеров. Кроме этого система выдаёт рекомендации по времени, количеству, типу вагонов и их порядку, которые должны быть поданы к погрузочно-разгрузочному терминалу. При наличии отклонений от планов (в любой части схемы), система в реальном времени заново планирует пере-

мещение контейнеров и маршруты ресурсов согласно крайним изменениям (возмущениям). Любые перепланировки случаются только в той части, в которой агенты системы не могут выполнить свои задания согласно предыдущему плану. То есть, возмущения в одной части системы могут привести лишь к локальному перепланированию, что значительно снижает требования к вычислительным мощностям для программного комплекса и ускоряет передачу оптимального варианта решения диспетчеру.

Результатом внедрения системы будет являться повышение эффективности за счёт снижения непроизводительных расходов, временных, технических, и трудовых

ресурсов, оптимизации производственных процессов, использования подходов бережливого производства, что, в свою очередь, приведёт к поднятию обслуживания клиентов на качественно новый уровень.

Литература:

1. К.В. Никола. Текущее состояние и прогноз рынка контейнерных перевозок в России // Транспорт Российской Федерации. – 2013. №5. – С. 46 – 51.
2. Обзор рынка контейнерных железнодорожных перевозок (август 2015 г.) // TKS.RU новости логистики <http://www.tks.ru/logistics/> . URL: <http://www.tks.ru/logistics/2015/09/28/0004> (09.10.2015).



Юренко К.И., РГУПС, г. Ростов-на-Дону

Математическое моделирование интеллектуальных бортовых систем управления и автоведения ЭПС

Современный локомотив представляет собой сложный технический объект, включающий разнородное бортовое оборудование (электронное, электромеханическое, энергетическое, механическое, пневматическое и др.). Взаимодействие бортовых систем при реализации технологического процесса ведения поезда в режиме реального времени обеспечивается посредством бортовой системы управления и автоведения, взаимодействующей с локомотивной бригадой, спутниковыми системами, железнодорожными АСУ и наземными сервисными и оперативными службами. Интеллектуализация функций бортовой системы является одним из основных путей повышения качественных и эксплуатационных характеристик современных локомотивов.

Такая система представляет собой многоуровневый иерархический аппаратно-программный комплекс на основе сетевой архитектуры, примерная структура которого приведена на рис.1.

На рисунке представлены основные бортовые подсистемы, характерные для современных локомотивов [1]. Они осуществляют управление и диагностику всего бортового оборудования, реализацию человеко-машинного интерфейса. Другой важной функцией такой системы является автоматизированное ведение поезда. Данная функция реализуется бортовой системой автоведения и её использование способствует повышению энергоэффективности, безопасности, улучшению ис-

полнения графика движения [2]. Совершенствование таких систем является одним из путей повышения качественных и эксплуатационных характеристик перспективного подвижного состава. С точки зрения управления движением поезда функциональная схема системы автоведения может быть представлена на рис. 2 [3],

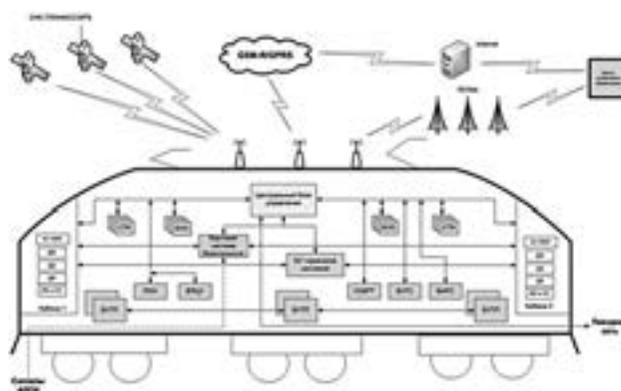


Рис.1. Структура современной бортовой информационно-управляющей системы ЭПС. На рисунке обозначены: БУ МКК – блок управления микроклиматом кабины; ДМ – дисплей машиниста, ДД – диагностический дисплей, ДВ – дисплей видеонаблюдения, КМ и ОУ – контроллер машиниста и органы управления, БУТП – блок управления тяговым приводом, ПСН – преобразователь собственных нужд, БПЦУ – блок питания цепей управления, СТК – система термоконтроля, БУО – блок управления оборудованием, УОКРТ – устройство управления и контроля рода тока, БУГС – блок управления гребнесмазывателем, БАРС – противоюзловая защита.

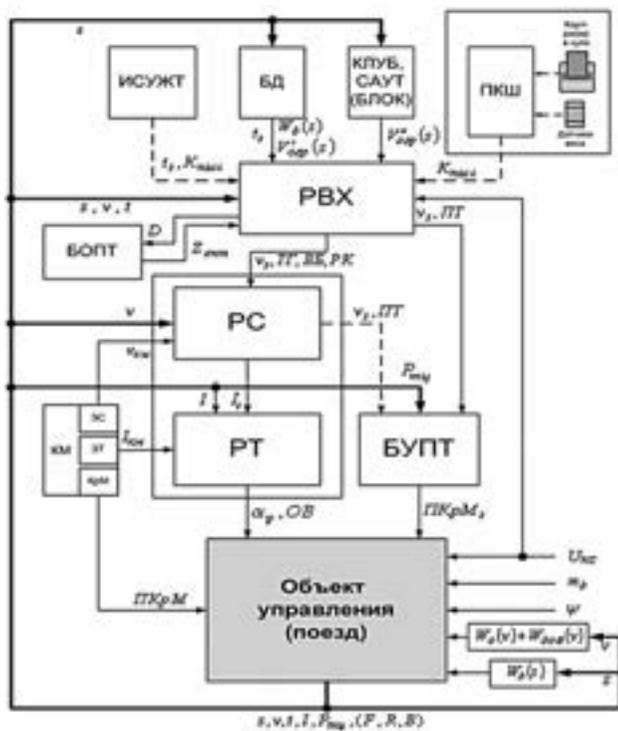


Рис.2. Функциональная схема системы автоведения электровозов с плавным регулированием сил тяги и электрического торможения

где приняты следующие обозначения: КМ – контроллер машиниста; КрМ – кран машиниста; ЗС и ЗТ – датчики скорости и тока; КЛУБ – комплексное локомотивное устройство безопасности; САУТ – система автоматического управления тормозами; БЛОК – безопасный локомотивный объединенный комплекс; БД – база данных; RBX – регулятор времени хода; БОПТ – блок оптимизатора; PC – регулятор скорости; РТ – регулятор тока; БУПТ – блок управления пневматическим торможением; $K_{насс}$ – число пассажиров; $U_{кс}$ – напряжение в контактной сети; ψ – коэффициент сцепления; I – ток тяговых двигателей, $I_z, I_{км}$ – задание по току от контроллера машиниста и регулятора скорости; α_p – угол открытия тиристорov выпрямительно-инверторного преобразователя; OB – ступень ослабления возбуждения тягового двигателя, $P_{тц}$ – давление в тормозных цилиндрах; $ПКрМ_3, ПКрМ$ – положения крана машиниста, заданные соответственно блоком управления и установленное машинистом; $V'_{огр}(s), V''_{огр}(s)$ – ограничения скорости, получаемые соответственно из БД и БЛОК.

Следует отметить, что такая схема характерна для локомотивов с плавным регулированием сил тяги и электрического торможения, к числу которых относятся пассажирский электровоз ЭП1, грузовой 2ЭС5К и некоторые другие их типы, оборудованные статическими тяговыми преобразователями, где используется

двухконтурная система подчинённого регулирования: «PC–РТ».

Основными модулями системы автоведения являются RBX и БОПТ, определяющий на основании исходных данных D оптимальную траекторию движения $Z_{опт}$, а также бортовая БД, содержащая информацию о времени хода поездов в соответствии с расписанием и профилем пути. На схеме показаны связи RBX с ISUZHT и ПКШ, по которым может передаваться информация о количестве пассажиров в поезде. С помощью первой из них на борт локомотива поступает скорректированный график движения из АСУ диспетчера.

Математическое моделирование движения поезда позволяет решать задачи построения оптимальных систем управления и автоведения, совершенствовать методы и интеллектуальные алгоритмы энергоэффективного ведения поезда, что может быть использовано в бортовых системах, при разработке режимных карт для эффективного вождения поездов, тренажеро-моделирующих комплексах обучения локомотивных бригад, в информационно-вычислительных центрах железных дорог для оптимизации поездной работы.

Современные возможности вычислительной техники и программных средств позволяют осуществлять исследование систем автоведения с помощью технологии имитационного моделирования. Среда Matlab совместно с пакетом моделирования динамических систем Simulink является мощным инструментом имитационного моделирования сложных систем. При моделировании с использованием Simulink реализуется принцип визуального программирования, в соответствии с которым, пользователь на экране из библиотеки стандартных блоков создает модель системы и осуществляет расчеты [4].

С использованием средств библиотеки блоков Simulink на основе функциональной схемы, представленной на рис. 2, была разработана имитационная модель движения поезда (рис.3). Она включает в себя подсистемы тяги, торможения, расчёта основного и дополнительного сопротивлений движения, сцепления, механического движения поезда, регуляторов скорости и времени хода, а также блоки ввода исходных данных, управления вычислительным экспериментом и визуализации результатов. Моделирование различных режимов ведения поезда позволяет исследовать и оптимизировать работу бортовой системы автоведения. В частности, модель может использоваться для сравнения различных методов оптимального управления, моделирования интеллектуальных функций системы, выполнения вариантных тяговых расчётов с учетом большего числа факторов, а также изменения параметров внешней среды.

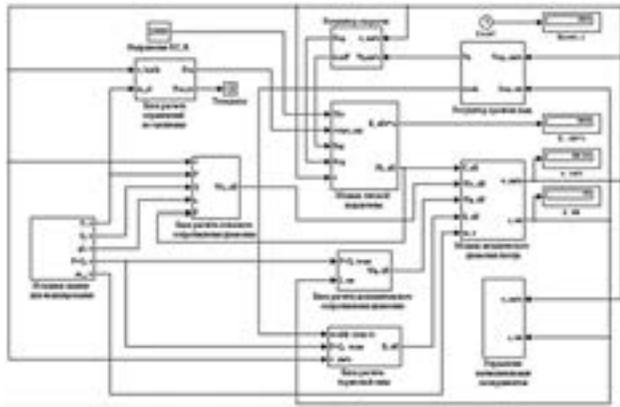


Рис.3. Функциональная схема системы автоведения в среде Matlab/Simulink

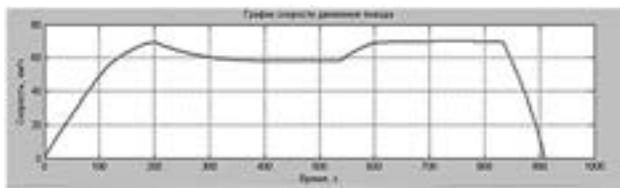


Рис. 4. График скорости движения поезда

Таблица 1. Профиль пути на участке

№	Координата начала элемента, км	Длина Элемента, м	Значение уклона, %
1	0	2500	0
2	2,5	5500	8
3	8,0	3000	0
4	11,0	1500	-1,5
5	12,5	2000	0

В качестве примера рассмотрим расчёт на основе вычислительного эксперимента траектории движения поезда массой 3600 тонн по участку пути длиной 14,5 км и профилем пути, данные о котором представлены

в таблице 1, под управлением интеллектуальной системы автоведения.

График скорости, полученный в результате вычислительного эксперимента, представлен на рис. 4. Время хода составило 909 с, а расход энергии – 1057 кВт·ч.

Таким образом, вычислительный эксперимент с разработанной имитационной моделью позволяет исследовать режимы и траектории движения поездов с определением расхода энергии и времени хода. Возможности исследования различной структуры и параметров модели системы автоведения позволяют решать задачи оптимизации алгоритмов и интеллектуализации её функций.

Литература

1. Юренко, К.И. Анализ тенденций развития и задачи по созданию перспективных бортовых систем управления подвижного состава железных дорог / К.И. Юренко, В.Г. Щербаков, А.Н. Сапунков, И.К. Юренко // Известия вузов. Электромеханика. № 5. 2013. – С. 68-74.
2. Юренко, К.И. Пути совершенствования бортовых систем автоведения локомотивов / «Академические фундаментальные исследования молодых ученых России и Германии в условиях глобального мира и новой культуры научных публикаций»: Сб. матер. междунар. молодёж. конф.- Новочеркасск, 4-5 октября 2012 г. ЮРГТУ (НПИ), ЛИК, 2012. - С.404 – 406.
3. Юренко, К.И. Математическое моделирование энергооптимальных режимов ведения поезда с учетом возмущений / К.И. Юренко, А.Н. Савоськин, Е.И. Фандеев // Изв. Вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 2015. № 3. С. 34-44.
4. Черных И.В. Simulink: среда создания инженерных приложений. Учебно-справочное пособие. Под общ. ред. В. Г. Потемкина. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2003. – 496 с.



Астрахан В.И., Кисельгоф Г.К., ОАО «НИИАС», г. Москва

Функции интеллектуального бортового комплекса (ИБК) системы управления и обеспечения безопасности движения поездов (СУОБДП) при решении задач оперативного планирования и управления в ИСУЖТ

В странах с развитым железнодорожным движением, в частности таких, где эксплуатируются высокоскоростные магистрали и линии с интенсивным движением поездов, обязательно применяются СУОБДП. Это обусловлено тем, что на таких линиях психофизиологическая нагрузка на локомотивные бригады выходит за рамки возможностей человека объективно и своевременно воспринимать и оценивать внешнюю обстановку и принимать правильные решения по управлению.

Первые СУОБДП были бортовыми. Они принимали команды с пути о допустимой скорости движения и производили регулирование скорости. В памяти бортовых устройств был записан график или расписание движения, выполнение которого также возлагалось на бортовую аппаратуру. При этом использовались энергооптимальные алгоритмы управления режимами тяги поездов.

Позднее стали разрабатываться и применяться многоуровневые и многофункциональные системы, в которых каждый поезд рассматривается как звено единого транспортного конвейера движущихся по линии поездов.

У нас в стране более широкое распространение получили двухуровневые системы с прямым управлением из ЦДУ – это системы на скоростной линии Санкт-Петербург-Москва и пригородной линии в г. Сочи.

В штатной ситуации при малых отклонениях в движении поездов от планового графика движения (ПГД), обычно, поездной диспетчер только контролирует движение поездов и не вмешивается в процесс управления (фрагмент ПГД) поездов приведен на рис.1).

В нештатных ситуациях диспетчер принимает непосредственное участие в процессе управления, используя графиковые, интервальные, графико-интервальные и другие комбинированные алгоритмы управления, отработанные для конкретных нештатных поездных ситуаций. Библиотека таких алгоритмов образует базу знаний поездного диспетчера и является основой для принятия интеллектуальных решений в ИСУЖТ. Основная нагрузка в управлении движением поезда лежит на локомотивной бригаде и лично машинисте, который непрерывно в течение всей рабочей смены управляет движением в разных поездных си-

туациях, внешних и погодных условиях и при разной степени исправности сложного бортового оборудования и систем управления. Без преувеличения можно сказать, что работа машиниста – это работа супермена, особенно в нештатных ситуациях.

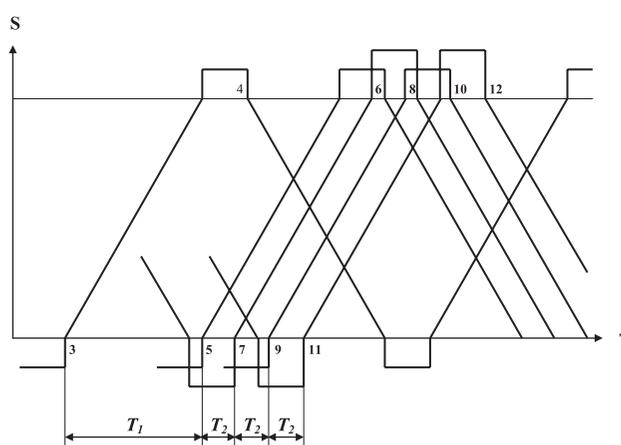


Рис.1. Фрагмент планового графика движением поездов по линии

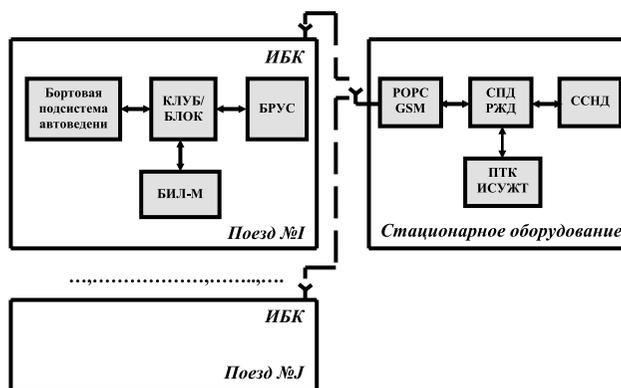


Рис.2. Структурная схемы системы управления обеспечения безопасности движения поездов (СУОБДП) ИСУЖТ

Структурная схема СУОБДП ИСУЖТ приведена на рис. 2 и включает программно технический комплекс (ЦПК ИСУЖТ - центр управления линией); систему сбора навигационных данных (ССНД); систему передачи данных РЖД (СПД РЖД); ремонтно-оперативную радиосвязь РЖД стандарта GSM (РОРС GSM);

интеллектуальный бортовой комплекс (ИБК), состоящий из КЛУБ/БЛОК – бортового комплекса обеспечения безопасности); бортовой подсистемы автоведения, блока индикации локомотивного (БИЛ-М) и бортового радиосигнального устройства связи (БРУС).

К ИБК СУОБДП ИСУЖТ предъявляются повышенные требования по надежности, безопасности, информационной защищенности, качеству диагностики, контролю правильности действий локомотивной бригады, быстродействию при выработке интеллектуальных управляющих и советующих решений для выполнения ПГД при оптимальном расходе энергоресурсов на тягу, максимальному использованию расчетной пропускной способности участков линий и перегонов.

В ИБК ИСУЖТ решаются на новом уровне задачи планирования, управления и обеспечения безопасности движения поездов за счет целого ряда новых программно-технических решений.

Особое значение придается реализации функций контроля за действиями локомотивной бригады и исключению отрицательного влияния «человеческого фактора» на качество управления и обеспечение безопасности движения.

Не менее важной функцией является интеллектуализация бортовых средств диагностики, отображения информации, формирования и своевременного вывода информации об угрозах сбоев и отказов в работе бортового оборудования и объектов инфраструктуры, а также информации о рекомендуемых режимах движения и действиях локомотивной бригады в штатных и нештатных ситуациях. Основой для интеллектуализации в ИБК последней из перечисленных функций является база знаний и библиотека алгоритмов действий локомотивной бригады в штатных и нештатных ситуациях.

Важнейшей особенностью структуры СУОБДП в ИСУЖТ является наличие непрерывного скоростного канала связи «Центр – ИБК» с адаптацией ИБК к работе на участках с различными системами цифровой передачи данных (GSM/GSM-R/TETRA и др.) и определение местоположения поездов на линии с использованием высокоточных спутниковых навигационных систем. Это позволяет реализовать новые функции:

1. Обеспечить достоверность и юридическую значимость передаваемой информации.

Масштабность использования информационных технологий в системах управления предопределяет возрастание рисков, связанных с киберугрозами. Поэтому одной из приоритетных задач в настоящее время является разработка и использование программно-технических средств информационной защиты всех средств ИСУЖТ, в том числе ИБК.

Одним из основных методов обеспечения информационной безопасности является электронная

цифровая подпись (ЭЦП), основанная на технологии инфраструктуры открытых ключей (ИОК). Технология ИОК является наиболее эффективной и широко применяемой в мировой практике для обеспечения информационной безопасности и юридической значимости электронного обмена данными.

В ОАО «РЖД» юридически значимое взаимодействие реализуется в рамках специализированной сети передачи данных СПД, защищенной комплексом программно-аппаратных средств от киберугроз, источником которых является, в первую очередь, сеть Интернет с открытым доступом.

Современные системы обеспечения безопасности движения поездов оказываются уязвимыми к кибератакам, поскольку взаимодействуют с другими системами и устройствами регулирования движения поездов по незащищенным сетям связи, в том числе по радиоканалам.

Для нейтрализации киберугроз необходимо интегрировать технологии ИОК и в современные локомотивные системы обеспечения безопасности ИБК, КЛУБ и БЛОК и др., а также в поддерживающие их работу программно-аппаратные комплексы для подготовки, формирования и корректировки электронных карт участков железных дорог, выдачи и отмены временных ограничений скорости, расшифровки кассет регистрации, сбора данных и формирования отчетов о нарушениях безопасности движения и др.

Внедрение электронной подписи в указанные программно-аппаратные средства обеспечит полную достоверность передаваемой информации и команд, их защиту от неумышленных или злонамеренных и мошеннических действий, достоверную отчетность о всех действиях основных агентов технологических процессов по управлению и обеспечению безопасности движения поездов.

Использование ЭЦП предусматривается в рамках взаимодействия бортовых устройств со стационарными устройствами и системами, а также при взаимодействии систем и устройств одного уровня между собой по сетям передачи данных и по физическим интерфейсам.

2. Автоматизировать передачу на поезда с высокой скоростью информации: о временных ограничениях скоростей движения на отдельных участках, о поездной ситуации, об изменениях ПГД и расписании движения поездов, об изменениях и обновлениях базы данных электронной карты маршрута.

Передача в ИБК ответственной информации о поездной ситуации по цифровому радиоканалу позволяет на малоделятельных линиях использовать этот канал как основной, а на линиях с интенсивным движением как дублирующий канал системы АЛС. Могут применяться также гибридные решения, как, например, на

линии Москва – Нижний Новгород, где сравнительно недорогая организация передачи данных о поездной ситуации (свободности/занятости блок-участков и маршрутов приема на станцию по главным путям) в стандарте DMR по имеющемуся радиоканалу, позволила повысить скорость движения без использования дополнительной дорогостоящей напольной аппаратуры железнодорожной автоматики.

3. Повысить безопасность и надежность работы СУ-ОБДП при отказах основной системы интервального регулирования на базе рельсовых цепей за счет реализации резервной системы интервального регулирования, построенной на базе программно-технических комплексов ПТК ИСУЖТ (центров диспетчерского управления - ЦДУ) и дуплексных цифровых радиоканалов для обеспечения ЦДУ данными от спутниковых бортовых навигаторов ИБК о координатах поездов и передачи команд на поезд о допустимой скорости движения.
4. Повысить точность выполнения ПГД за счет совместного применения и функциональной увязки в ИБК комплексов, отвечающих за обеспечения безопасности (БЛОК/КЛУБ-У) и точность выполнения ПГД (автоведения) и использования распределенного по перегону/участку контроля за выполнением графика с помощью виртуальных контрольных точек (рис 3).

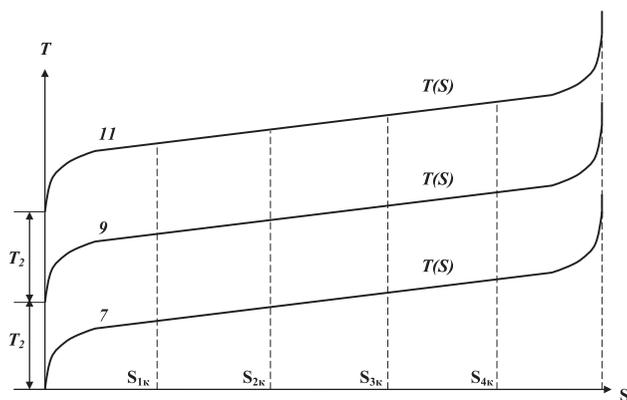


Рис.3. Управление движением поездов по линии

При высокой интенсивности и скоростях движения поездов очень важно своевременно выявлять отклонения в движении поездов от ПГД. При сбоях в движении, не превышающих по величине ресурсы регулирования линии, обычно производится ввод поездов в ПГД за счет этих ресурсов без использования специальных регулировочных мер и построения оперативных графиков для ликвидации сбоев.

При малых интервалах движения даже небольшие отклонения от графика одного поезда могут вызвать нарастающий сбой в движении других поездов. Тогда для поддержания провозной способности линии пере-

ходят на интервальный и комбинированный алгоритмы управления и производят последующее построение оперативного графика для ввода всех поездов в ПГД.

При этом, для раннего выявления отклонений от ПГД и их компенсации за минимальное время, предлагается контролировать каждую нитку исполненного движения поезда на перегоне не только по станциям, но и в контрольных точках пути $S_{1к}, S_{2к} \dots$. Контрольные точки формируются виртуально с помощью спутниковых навигационных систем (СНС), которые входят в состав ИБК и бортовых комплексов типа КЛУБ-У/БЛОК, отсчитывая отрезки пути, например, 500, 1000... м. Если задержка поезда в какой-либо контрольной точке превысит заданную величину, то подается команда на снижение на расчетную величину скорости движения сзади идущего поезда, чтобы исключить его остановку перед задержавшимся впереди идущим поездом, а также снизить потери электроэнергии на тягу, вызванные дополнительными разгонами, которые увеличиваются при разгонах поездов с нулевой скорости.

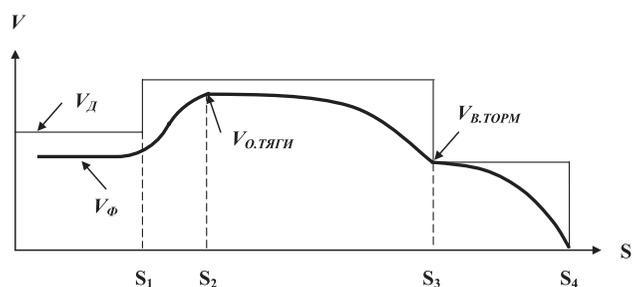


Рис.4. Регулирование скорости поезда на перегоне

Другой важной функцией ИБК является повышение степени использования пропускной способности ж.д. линий и участков за счет введения дополнительного контура регулирования скорости в бортовом комплексе, обеспечивающего формирование команды выключения тяги и отмены торможения при приближении фактической скорости к допустимой и использование коррекции по производной скорости. На рис. 4 показана траектория фактической скорости поезда на перегоне $V\phi(S)$ при его движении в режиме ограничения скорости, задаваемому системой интервального регулирования (СИР) посредством формирования программой кривой допустимой скорости $V\delta(S)$. Такой режим движения со скоростью, максимально близкой к допустимой, обычно, используется при нагоне времени опоздания. В принятом алгоритме в комплексах КЛУБ-У/БЛОК, чтобы не превысить $V\delta$ (см. участок $S_1 - S_2$) производится отключение тяги локомотива при скорости $V_{о.тяги} = V_d - \Delta V_{от}$, где $\Delta V_{от}$ является постоянной величиной для всей линии с разными уклонами участков и всех поездов одного типа с разными нагрузками. Такой алгоритм формирования

$V_{0.тяги}$ приводит к неполному использованию допустимой скорости движения, а, следовательно, к потерям времени нагона опозданий и недоиспользованию расчетной пропускной способности. Аналогично, при выполнении ограничения скорости к началу участка $S_3 - S_4$ выключение торможения производится при скорости $V_{в.торм} = V_d - \Delta V_{от}$, где $\Delta V_{от}$ является постоянной величиной для всей линии и всех поездов одного типа, что также приводит к недоиспользованию расчетной пропускной способности из-за перерегулирования в сторону снижения скорости.

Поэтому предлагается ввести в ИБК второй контур регулирования скорости с использованием при определении скоростей отключении тяги и выключения торможения в режиме движения по ограничениям скорости коррекции по производной скорости:

$$V_{0.тяги} = V_d - K_1 \times dV_{\phi}/dt; \quad V_{в.торм} = V_d - K_2 \times dV_{\phi}/dt,$$

где K_1 и K_2 – постоянные коэффициенты.

Введение коррекции по производной скорости (его ускорению/замедлению) позволяет учитывать динамические свойства и нагрузку каждого отдельного поезда на участках пути с разными уклонами и обеспечить максимальное приближение скорости поезда к допустимой и максимальное использование расчетной пропускной способности отдельных участков и линии в целом. При введении второго контура регулирования скорости значения величин $\Delta V_{от}$ и $\Delta V_{от}$ в комплексах КЛУБ-У/БЛОК уменьшаются.

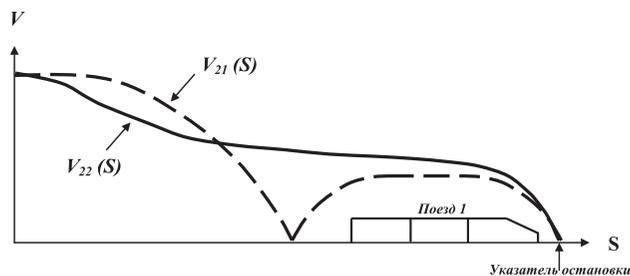


Рис.5. Регулирование скорости поезда на подходе к станции

Также в СУОБДП благодаря организации взаимодействия между поездами через ПТК ИСУЖТ и цифровой канал связи обеспечивается повышение использования пропускной способности участка подь-

езда поездов к станции. На рис. 5 показаны варианты траекторий подъезда второго поезда к станции, на которой стоит и задерживается с отправлением первый поезд. При этом возможны два варианта движения поезда 2: $V_{21}(S)$ и $V_{22}(S)$.

В первом варианте производится остановка второго поезда перед хвостом первого поезда, последующий разгон при уходе первого поезда со станции и остановка у указателя остановки;

Во втором варианте производится передача через центр управления с первого на второй сзади идущий поезд информации о задержке первого поезда с отправлением. В ответ второй поезд производит расчет необходимого снижения скорости, ее заблаговременное снижение и тем самым обеспечивает необходимую задержку с прибытием на станцию, чтобы дать возможность уйти со станции первому поезду. В этом случае второй поезд не останавливается перед станцией и не подтягивается к указателю остановки после ухода первого поезда, благодаря чему сокращается время проследования вторым поездом станционного участка и не расходуется дополнительно энергия на разгон второго поезда с нулевой скорости.

Важнейшими функциями ИБК в составе СУДБДП остаются также:

- повышение устойчивости работы поездных приемников сигналов АЛСН и АЛС-ЕН из рельсовых цепей;
- обеспечение гарантированной остановки поездов у светофоров с запрещающим показанием;
- применение различных видов торможения поездов в КЛУБ-У/БЛОК (экстренного и служебного) в зависимости от поездной ситуации без нарушения требований безопасности;
- использование общего бортового интерфейса для обмена информацией с центрами управления;
- стандартизация и унификации сервисного оборудования для обслуживания ИБК на подвижном составе различного типа.

Рассмотренные в статье функции ИБК в составе системы СУОБДП ИСУЖТ позволят в значительной мере повысить эффективность процесса управления и обеспечения безопасности движения поездов на линии.



Оськина М.А., Сергеев Б.С., ФГБОУ ВПО УрГУПС, г. Екатеринбург

Расширение функциональных возможностей светодиодных светофоров

Введение

В настоящее время на сети дорог ОАО «РЖД» происходит широкое внедрение средств светодиодной техники [1]. В значительной степени это коснулось и объектов автоматики и телемеханики. В частности, применение светодиодов и светодиодных матриц (СДМ) позволило радикально повысить надежность и долговечность их функционирования, а также улучшить энергетическую эффективность. Вследствие этого на сети дорог осуществляется планомерная замена светофоров с лампами накаливания на светодиодные. Однако, существующие светодиодные светофоры обладают рядом недостатков, которые, ограничивают функциональные возможности их применения и в некоторых случаях препятствуют выполнению некоторых требований безопасности движения.

Повышение надежности работы светодиодных светофоров

Один из недостатков светодиодных светофоров обусловлен существующей структурой реализации СДМ светодиодных светофоров. Применяемые матрицы состоят из M параллельно включенных групп светодиодов, каждая из которых является последовательным соединением N светодиодов. При этом произведение определяет требуемую яркость излучения соответствующего показания светофора. Так как практически $N > 1$, то появление обрыва в одной из последовательных групп светодиодов приводит к прекращению протекания тока и излучения всей этой группы. Очевидно, что это может привести к недопустимому снижению яркости. Причем при усилении степени неравенства $N > 1$ снижение яркости излучения будет более значительным.

На рис. 1 приведена схема светодиодного светофора, в которой выполнено резервирование отказавших светодиодов [2]. Здесь используется лишь одна последовательная группа из N последовательно включенных основных светодиодов. При появлении обрыва, например, в светодиоде ток начинает протекать через резервный светодиод, чем поддерживается неизменными производство и, соответственно, практически не изменяется яркость излучения соответствующего показания светофора. Анализ, выполненный в [3], определил требуемые параметры вспомогательных диодов для обеспечения работоспособности принципа резервирования.

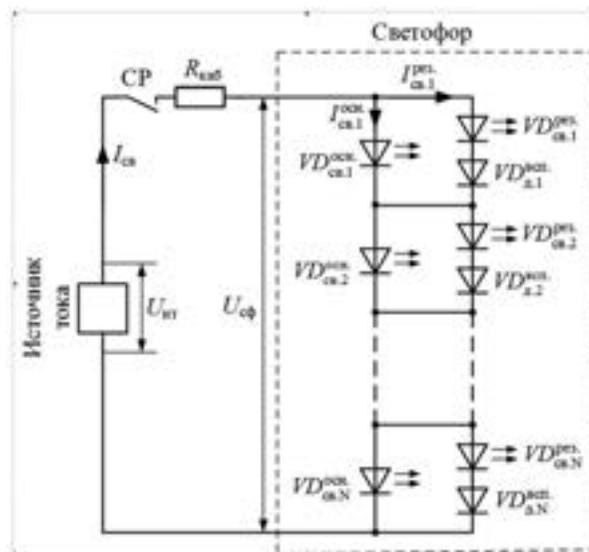


Рис. 1. Схема резервированного светофора

Принцип применения в СДМ одной последовательной цепи ($N=1$) имеет ряд других преимуществ. К одному из них относится возможность увеличения величины напряжения питания СДМ $U_{сф}$ до нескольких десятков вольт и более. Это позволяет использовать рассматриваемую схему светофора в устройствах централизованного управления светофорами и отказаться от применения сигнальных трансформаторов переменного напряжения. Кроме того, переход на питание светофоров постоянным напряжением дает возможность исключить появление эффекта подсветки ненадлежащего показания светофора, что имеет место при питании удаленных светофоров переменным напряжением за счет влияния емкостей между жилами сигнальных кабелей. Одновременно с этим переход на повышенное напряжение постоянного тока позволит увеличить максимально возможную длину стационарных сигнальных кабелей до нескольких километров и более.

Очевидно, что подобный эффективный принцип построения схем автоматики и телемеханики может быть использован и в других устройствах СЦБ, когда, например, требуется управление перегонными, переездными или другими светофорами со станции.

Управление работой удаленных светофоров

Существующие системы централизованного управления стационарными светофорами переменного

го тока обладают недостатком, который заключается в том, что при больших длинах сигнальных кабелей возможно появление подсветки ненадлежащего показания светофора, в частности, разрешающего. Это обусловлено наличием емкостей между соседними парами жил кабеля. Поэтому существуют нормативные ограничения на длину этих кабелей. В наибольшей степени этот эффект присущ светодиодным светофорам, энергопотребление которых существенно меньше, чем у ламповых [4]. Наблюдающееся в настоящее время тенденция удлинения станционных путей в значительной степени обостряет вопрос решения рассматриваемой задачи.

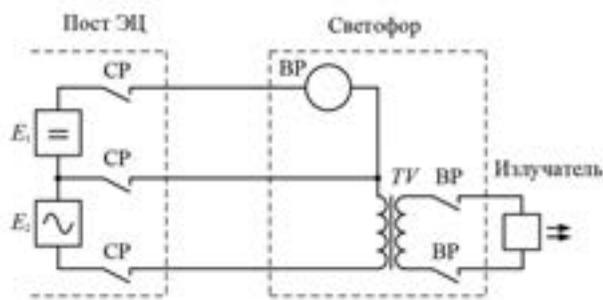


Рис. 2. Схема управления светофором с введением дополнительной жилы

Один из вариантов схемы удаленного управления светофором приведен на рис. 2 [5]. Она может быть применена как в светодиодных, так и светофорах с лампами накаливания, которые на схеме условно названы излучателем. Здесь наличие излучения светофора возможно только при включенном состоянии вспомогательного реле ВР, который управляется контактом сигнального реле СР. Питание реле ВР осуществляется от стандартного для устройств СЦБ постоянного напряжения – 12 или 24 В. В [4] рассмотрены различные варианты практической реализации подобной схемы, в том числе и с двухполюсным размыканием питания обмотки реле ВР.

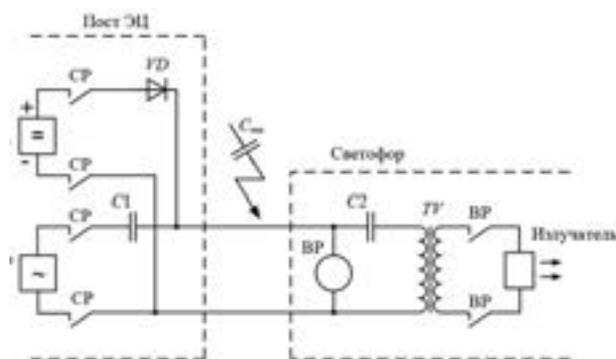


Рис. 3. Схема управления удаленным светофором по одной паре жил

Аналогичные возможности увеличения длины сигнальных кабелей при удаленном расположении светофоров могут быть достигнуты и без введения дополнительных жил кабеля. Одна из подобных схем приведена на рис. 3 [6]. Здесь при замкнутом состоянии контактов сигнального реле СР по жилам кабеля передается сигнал постоянного напряжения, управляющий вспомогательным реле ВР, которое подключает питание переменного тока на излучатель. Очевидно, что сигнал помехи, возникающий в действующей паре жил за счет емкости Смкк между жилами кабеля не влияет на нормальное и безопасное функционирование светофора.

Контроль функционирования и работоспособности удаленных светофоров

Функции контроля работоспособности светофора решаются путем решения двух задач. Первая из них заключается в контроле его работоспособности в режиме излучения. Вторая функция должна реализовать контроль целостности излучателя при гарантированном отсутствии излучения.

Контроль излучения светофора традиционно решается путем последовательного включения в цепь тока излучателя огневого реле. Светодиодные светофоры, в отличие от ламп накаливания потребляют существенно меньшую мощность, что обуславливает уменьшение потребляемого тока. В централизованных системах управления светофорами переменного тока это приводит к тому, что контролируемый ток становится настолько малым, что емкостное сопротивление между жилами пары сигнального кабеля оказывает шунтирующее влияние на передаваемый сигнал контроля тока, что не позволяет достоверно определить наличие или отсутствие излучения СДМ.

Контроль излучения светофора при больших длинах сигнального кабеля реализуется в схеме рис. 4 [5, 7]. Здесь наличие тока через излучатель, то есть его функционирование, определяется огневым реле ОР, обмотка которое включена последовательно с излучателем. Повторитель его ОРП расположен на посту ЭЦ. Очевидно, что рассматриваемая схема контроля может быть применена для удаленных светофоров и с лампами накаливания.

Контроль целостности светодиодного светофора (контроль «холодного» состояния) является более сложной задачей. Это обусловлено нелинейностью вольтамперной характеристики (ВАХ) светодиодов и нестабильностью ее параметров. Примем обычное допущение, что ВАХ в области прямой проводимости представляется ломаной линией вида:

$$I_d = \begin{cases} 0 & \text{при } U_d < U_{d0} \\ \frac{U_d}{R_{дф}} & \text{при } U_d > U_{d0} \end{cases},$$

где I_d и U_d – ток через светодиод и падение напряжения на нем; $R_{дф}$ – дифференциальное сопротивление ВАХ светодиода; $U_{до}$ – пороговое напряжение ВАХ выше которого происходит появление тока I_d , то есть точки начала излучения светодиода.

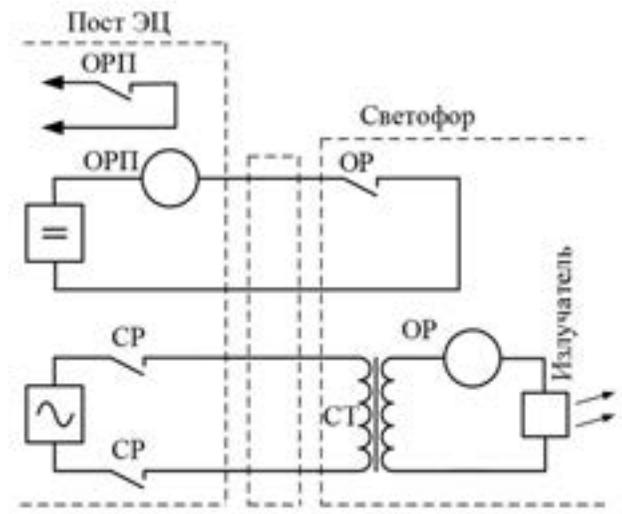


Рис. 4. Схема контроля излучения светофора

Величина порогового напряжения лежит в пределах $U_{до} = (2,5-3,5)$ В и его достаточно точная величина не нормируется. Кроме того, при изменении температуры кристалла светодиода указанный диапазон изменения порогового напряжения расширяется.

Для контроля целостности $p-n$ перехода светодиода в режиме «холодного» контроля СДМ необходимо обеспечить гарантированное отсутствие ее излучения и одновременно с этим определить требуемые параметры ВАХ светодиода. Однако гарантированное отсутствие излучения, то есть выполнение равенства тока: $I_d = 0$, обеспечивается только в том случае, когда $U_d < U_{до}$. С точки зрения электротехники задача контроля формулируется следующим образом: необходимо проверить целостность электрической цепи, не пропуская по ней электрического тока. Общеизвестными методами эта задача неразрешима. Она может быть решена путем использования емкостных свойств $p-n$ перехода светодиода. На рис. 5 приведена схема контроля, реализующая это свойство.

Здесь генератор высокочастотного переменного напряжения G подключается к цепи светодиодов VD_i в состоянии выключенного состояния сигнального реле CP , то есть при отсутствии излучения излучателя. При целостности цепи светодиодов по ним протекает переменный ток, наличие которого фиксируется датчиком тока $ДТ$ и далее компаратором K . Наличие выходного сигнала компаратора свидетельствует о целостности цепи последовательного соединения светодиодов.

Очевидно, что при практически малых емкостях $p-n$ перехода частота переменного напряжения должна быть достаточно высокой.

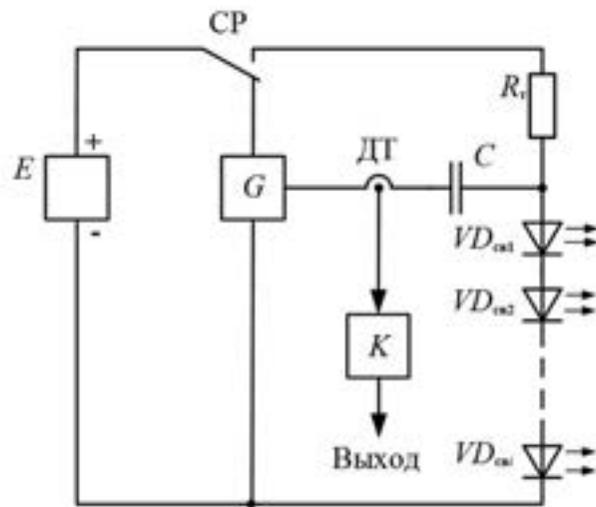


Рис. 5. Схема контроля «холодного» состояния светофора, основанная на контроле емкостных свойств светодиода

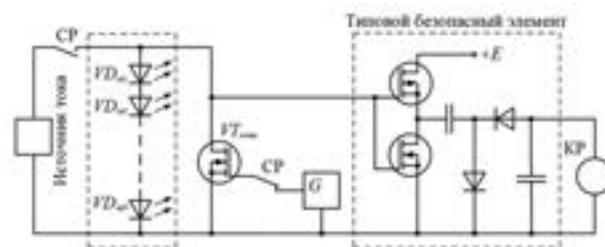


Рис. 6. Схема контроля «холодного» состояния светофора, основанная на контроле температурного потенциала $p-n$ перехода

Другой вариант схемы «холодного» контроля может быть основан на наличии температурного потенциала $p-n$ перехода. Здесь при выключенном состоянии сигнального реле CP температурный потенциал группы последовательно включенных светодиодов VD_i , который представляет собой постоянное напряжение, коммутируется МОП транзистором $VT_{комм}$. Импульсы напряжения поступающие на вход типового безопасного элемента преобразуются в напряжение питания контрольного реле KP . Наличие импульсов включает реле KP , осуществляя контроль целостности последовательной цепи светодиодов.

Заключение

Рассмотрены принципы реализации схем управления и контроля светодиодными светофорами, которые имеют ряд преимуществ перед применяющимися в настоящее время. Применение их позволяет повысить надежность их работы, увеличить максимально возможную длину сигнальных кабелей и реализовать бо-

лее оптимальные схемы контроля функционирования светофоров. Некоторые из рассмотренных устройств могут быть использованы как в светодиодных, так и в ламповых светофорах.

Литература

1. Ададуров С.Е., Розенберг Е.Н., Мурашова М.А. Концепция комплексной программы «Внедрение светодиодной техники в ОАО «РЖД» \ \ Автоматика, связь, информатика. – 2009. – № 2. – с. 2-5. ISSN 0005-2329.
2. Пат. 2528523 РФ. Резервированный светодиодный светофор / М.А. Оськина, Б.С. Сергеев // Бюл. – 2014. – № 26. – С. 4.
3. Сергеев Б.С., Оськина М.А. Анализ работы резервированного светофора // Вестник УрГУПС. – 2014. – № 4(24). – С. 4-11. ISSN 2079-0392.
4. Оськина М.А., Сергеев Б.С. Анализ работы светофоров с удаленным управлением // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2015. – № 2. – С. 14-17. ISSN 1812-6782/
5. Пат. 2544428 РФ. Устройство управления светофором (Варианты) / М.А. Оськина, Б.С. Сергеев // Бюл. 2015. – № 8. – С. 8.
6. Пат. 2556045 РФ. Светофор / М.А. Оськина, В.К. Донцов, Б.С. Сергеев // Бюл. 2015. – № 19. – С. 5.
7. Оськина М.А., Сергеев Б.С. направления совершенствования светодиодных светофоров // Транспорт Урала. – 2-13. – № 3(38). – С. 66-68. ISSN 1815-9400.



Свиридов В.В., Шевчук Л.И., АО «НИИП» им. В.В. Тихомирова, г. Жуковский

Комплексная система управления и диагностики на базе пульта машиниста УПУ для электропоезда ЭГ2Тв

Введение

Основные требования к унифицированному пулту управления (УПУ) перечислены в в техническом задании «Совершенствование электропоезда ЭД4М в части установки унифицированного пульта управления». Главная направленность этих требований – взаимодействие вычислительной системы УПУ с оборудованием пульта, поездным оборудованием, независимыми системами (безопасности, пожарно-охранной сигнализации, тягового и тормозного оборудования, оповещения пассажиров и т.д).

Основопологающим требованием является требование комплексирования полученной информации и представление результатов комплексирования на полноцветном многофункциональном дисплее в форме, наглядной и удобной для восприятия. Необходимым требованием является требование использования машинистом для управления движением электропоездом бесконтактного контроллера машиниста, установленного на столешнице пульта. Сравнительный анализ УПУ с унифицированным пультом машиниста проекта EUDDplus показал, что уровень разработки и технические характеристики УПУ не уступают характеристикам пульта проекта EUDDplus.

При модификации УПУ для электропоезда ЭГ2Тв принципиально не меняется состав основного оборудования пульта (дисплей пульта и центральный процессор), варьируется и увеличивается перечень подключаемого оборудования. Преимуществом в разработке модификаций УПУ не нарушает общей концепции функционирования аппаратуры, входящей в состав пульта.

1. Основные принципы функционирования комплекса УПУ ЭГ2Тв

УПУ применительно к современному электропоезду городского сообщения ЭГ2Тв становится информационным и интеллектуальным центром аппаратно-программного комплекса, обеспечивающего решение следующих задач:

- управление движением электропоезда как в ручном режиме управления, так и в режиме автоведения,
- взаимодействие составных частей комплекса (УПУ ЭГ2Тв, ПОС, СВН, БУВ, СИТ, поездной коммуникационной сети) с целью обеспечения единого технологического процесса ведения поезда;
- управление устройствами электропоезда по командам, получаемым от УПУ ЭГ2Тв, с учетом

сигналов от датчиков, предусмотренных схемой электропоезда;

- управление системами электропоезда: тяговым и тормозным приводами, аппаратами цепей управления;
- диагностика основного оборудования и самодиагностика;
- регистрация информации о характеристиках поездки в электронную память с последующей передачей информации по радиоканалу причастным службам.

Блок управления вагоном (БУВ) обеспечивает передачу в УПУ ЭГ2Тв бортового номера вагона и контролируемых параметров в соответствии с протоколом обмена, подключение оборудования по командам УПУ ЭГ2Тв в соответствии с протоколом обмена, передачу по шине CAN информации от датчиков или сигналов управления.

Серийно выпускаемая пожарно-охранная система (ПОС) наряду с выполнением своих основных функций обеспечивает передачу в УПУ ЭГ2Тв по запросу со стороны УПУ ЭГ2Тв порядкового номера вагонного контроллера, порядкового номера шлейфа/зоны сигнализации и сообщений в соответствии с протоколом обмена для регистрации и вывода на дисплей пульта. ПОС обеспечивает автоматическую синхронизацию даты и времени с УПУ ЭГ2Тв.

Современная система видеонаблюдения (СВН) обеспечивает хранение в основном регистраторе головного вагона информации со всех камер поезда не менее 10 суток, в дублирующем регистраторе информации со всех камер поезда не менее 3 суток, с записью по кругу, время съема информации не более 15 минут.

СВН осуществляет автоматическую синхронизацию даты и времени с УПУ ЭГ2Тв. Для автоматического включения изображения соответствующих камер вагона из УПУ ЭГ2Тв в СВН поступают данные о срабатывании ПОС, об активации связи «пассажир-машинист», о «незакрывании» дверей.

Система информационная транспорта (СИТ) обеспечивает функционирование следующего оборудования вагона:

- табло светодиодное со встроенной видеокамерой,
- табло информационное с громкоговорителями,
- блок устройства переговорного для экстренной связи «пассажир-машинист».

Вычислительная система УПУ ЭГ2Тв осуществляет передачу в СИТ сообщений для голосового оповещения пассажиров и вывода на информационные табло. В УПУ ЭГ2Тв происходит фиксация и регистрация сообщения машинисту о факте активации связи «пассажир-машинист».

Информация ПОС поступает в УПУ ЭГ2Тв от головного контроллера ПОС.

Связь УПУ ЭГ2Тв с БУВ отдельного вагона осуществляется посредством поездной магистрали CAN Open, с вагонными комплектами СИТ и СВН – по поездной шине Ethernet. Взаимодействие УПУ ЭГ2Тв, СИТ, СВН реализуется с помощью вагонных адаптеров, входящих в состав БУВ.

Структура сопряжения пульта с вагонными системами комплекса УПУ ЭГ2Тв приведена на рисунке 1.

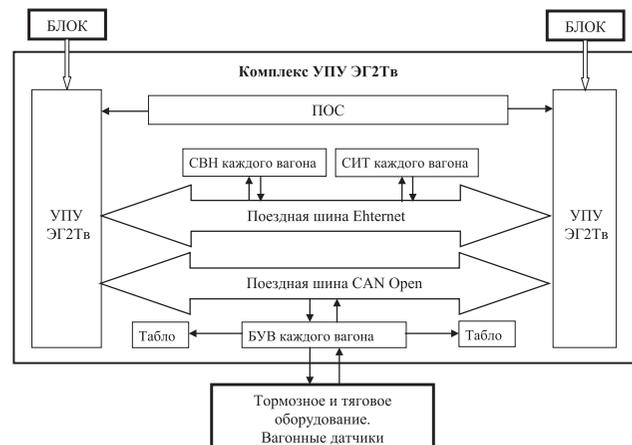


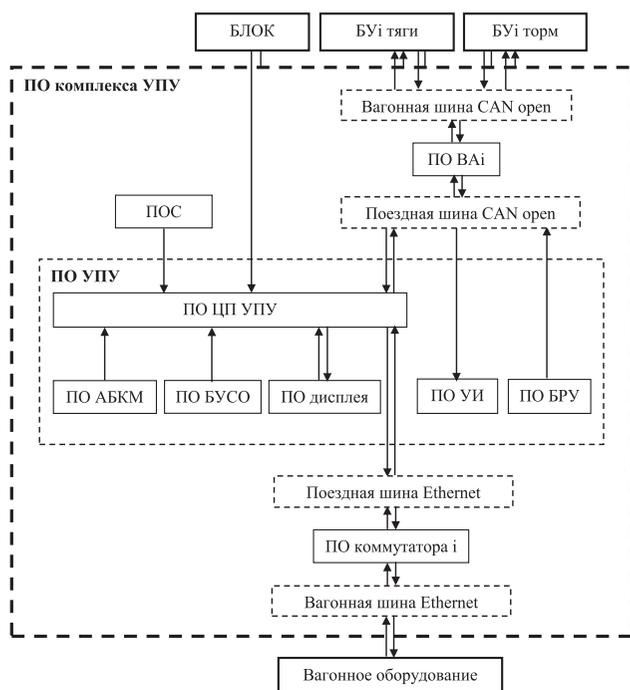
Рис.1. Структура сопряжения систем комплекса УПУ ЭГ2Тв

Вычислительная система комплекса, состоящая из вычислительных средств УПУ ЭГ2Тв, вагонных вычислителей и поездной коммуникационной сети, представляет собой сложноподчиненную иерархическую систему. Иерархическая структура программного обеспечения (ПО) всех вычислителей комплекса представлена на рисунке 2.

Вычислителем верхнего уровня иерархии является центральный процессор УПУ (ЦП УПУ). Поездная коммуникационная сеть представлена вагонными и поездными промышленными шинами CAN open или Ethernet. ПО вычислителей нижнего уровня иерархии: УПУ (ПО БУСО, ПО дисплея, ПО АБКМ, ПО УИ, ПО БРУ) и вагонных вычислителей (ПО ВАi, ПО коммутатора i) соответствуют требованиям протоколов обмена вычислительного средства с ЦП УПУ. Основная направленность всех протоколов обмена – обеспечение ЦП УПУ информацией, полученной от оборудования комплекса, от внешних систем (БЛОК, БУ тяги, БУ торм, вагонного оборудования и вагонных датчиков) или передача сигналов управления от ЦП УПУ к соответствующему оборудованию.

Создание аппаратно-программного комплекса, включающего в себя систему управления движением электропоезда, систему информационного обеспечения пассажиров и системы технической безопасности СВН, ПОС ставит перед разработчиками комплекса

проблему оптимизации обслуживания таких разных по своей сути систем, каждая из которых имеет своего разработчика.



АБКМ—Адаптер бесконтактного контроллера машиниста
 АРМ—Автоматизированное рабочее место
 БЛОК—Безопасный локомотивный объединенный комплекс
 БК02—Блок компьютера
 БРУ—Блок резервного управления
 БУ—Блок управления
 БУСО—Блок управления стеклоочистителем
 ВА—Вагонный адаптер
 ПОС—Пожарно-охранная сигнализация
 УИ—Устройство индикаторное
 УПУ—Унифицированный пульт управления

Рис.2. Структура программного обеспечения комплекса УПУ ЭГ2Тв

2 Интеллектуализация системы управления комплекса

В ЦП УПУ ведется сбор всей имеющейся информации о состоянии аппаратуры из состава комплекса и внешних систем. В ЦП УПУ решается задача представления полученной информации на многофункциональном дисплее пульта в форме рисунков, пиктограмм и текста на основе экспертных оценок специалистов-железнодорожников для сведения машинисту или диагностирования оборудования. В ЦП УПУ реализуется алгоритм автоматизированного управления движением электропоезда, позволяющий машинисту по своему усмотрению переключать режим управления с ручного ведения на автоведение.

Даже частичная интеллектуализация систем управления, как показывает имеющийся опыт, обеспечивает ускорение принятия решений и экономию ресурсов, в том числе энергетических. Примером элемента интеллектуализации в комплексе УПУ ЭГ2Тв является ре-

ализованный в УПУ режим автоведения, на каждом перегоне обрабатывающий все требуемые ограничения на скорость движения поезда, обеспечивающий устойчиво точное выдерживание графика движения и энергооптимальное ведение поезда. Автоведение строится на основании данных системы безопасности БЛОК и штатного расписания движения электропоездов.

Дальнейшая интеллектуализация системы управления комплекса заключается в поиске управляющих решений, вырабатываемых в автоматическом режиме, которые должны быть лучше решений, принимаемых в аналогичных условиях человеком [1].

Человек учитывает, нередко на подсознательном уровне, большое число параметров. Предпринятые меры по передаче в ЦП УПУ максимально возможного количества информации позволяют учесть все существенно влияющие факторы, а также условия принятия управляющих решений, что является существенным фактором получения качественных управляющих решений.

К требованиям на комплекс, для выполнения которых необходимо интеллектуальное принятие решений, можно отнести следующие требования [2]:

- должна выполняться проверка допустимости действий машиниста по управлению поездом (недопустимые состояния системы должны контролироваться или блокироваться системой управления);
- должно выполняться автоматизированное ведение поезда в автоматическом или ручном режимах управления, с учетом обнаружения опасных неисправностей;
- должна выполняться выдача рекомендаций в диалоговом режиме по желанию машиниста по обеспечению работоспособности поезда и его безопасного движения;
- должно выполняться выявление некорректных действий машиниста с выдачей соответствующих сообщений на дисплей пульта в соответствии с логикой, согласованной с Заказчиком.
- в случае отказа оборудования электропоезда требуется реализовать меры по работе систем электропоезда в аварийном режиме с включением машинистом систем резервирования.

Процесс разработки интеллектуальной системы управления для применения на мотор-вагонном подвижном составе только начинается. Формализация методов принятия интеллектуальных решений возможна только при наличии четко определенных критериев качества принимаемых решений и согласованного перечня задач.

Выводы

- УПУ для электропоезда ЭГ2Тв представляет собой модификацию серийно изготавливаемого УПУ, в

которой не меняется состав основного оборудования пульта (дисплей пульта и центральный процессор), варьируется и увеличивается перечень подключаемого оборудования.

2. Ввод в состав комплекса УПУ ЭГ2Тв поездной коммуникационной сети совместно с БУВ и специализированными вагонными системами СИТ, СВН, ПОС и существенно увеличивает количество требований к комплексу и расширяет возможности для их выполнения.
3. С увеличением количества и качества сопрягаемого с УПУ оборудования увеличивается объем диагностических параметров, что ведет к перегрузке машиниста (оператора) при визуальной диагностике и, как следствие, к необходимости автоматизировать процессы принятия решений по управлению.

4. Создание интеллектуальной системы управления для применения на мотор-вагонном подвижном составе должно опираться на наличие четко определенных критериев качества принимаемых решений и согласованного перечня задач.

Литература

1. В.И. Уманский, С.И. Долганюк. Общие принципы интеллектуализации станционных систем управления. //Вестник ВНИИЖТ, № 6, 2012//
2. Ю.Э. Пономарев. Продукционные правила базы знаний подсистемы диагностирования неисправностей стрелок, рельсовых цепей и устройств кодирования в «РПЦ-ДОН». // Вестник РГУПС, № 3, 2012//



Шаров С.В., Егоров А.А., АО «НИИП» им. В.В. Тихомирова, г. Жуковский

Особенности прицельного торможения электропоезда ЭД4М

Режим прицельного торможения к станции предназначен для обеспечения автоматической остановки электропоезда серии ЭД4М, ЭД9Э, ЭР2Т в пределах платформы.

Прицельное торможение к станции является неотъемлемой частью режима автоведения унифицированного пульта управления (УПУ), устанавливаемого на электропоездах указанных выше серий.

Для реализации режима прицельного торможения к станции используется штатное оборудование УПУ и системы безопасности КЛУБ-У. Дополнительного оборудования для реализации режима прицельного торможения не требуется.

1. Описание режима прицельного торможения электропоезда

1.1 Управление тормозами электропоезда

Электродинамическое торможение (ЭДТ) осуществляется посредством подачи напряжения на провода, соответствующие следующим положениям контроллера машиниста:

- T1 – сбор тормозной схемы с минимальной уставкой блока управления тормозами (БУТ). Ток якоря цепи 100 А.

T2 – сбор тормозной схемы с пониженной уставкой БУТ. Ток якоря цепи 250 А.

T3 – сбор тормозной схемы с нормальной уставкой БУТ. Ток якоря цепи 350 А.

T4 – комбинированное торможение. Производится сбор тормозной схемы с нормальной уставкой БУТ. В прицепных вагонах срабатывает ЭПТ.

Электропневматическое торможение (ЭПТ) осуществляется посредством подачи напряжения на провода, соответствующие следующим положениям тормозного крана машиниста:

V («Накачка») – давление в тормозных цилиндрах растет со скоростью 0,8 – 1,2 атм/с;

IV («Перекрыша») – давление в тормозных цилиндрах неизменно;

II («Отпуск») – давление в тормозных цилиндрах снижается со скоростью 0,8 – 1,2 атм/с;

1.2 Входные данные алгоритма прицельного торможения электропоезда

Входными данными алгоритма прицельного торможения являются:

- текущая координата S [м],
- текущая скорость V [км/ч],

– текущее ускорение a [м/с²].

Источником информации о текущей координате и скорости по данным GPS-модуля и датчика путевой скорости (ДПС) является система безопасности КЛУБ-У.

Точность измерения координаты +/- 30 м (максимальная ошибка).

Точность измерения скорости +/- 1 км/ч.

Источником информации о текущем ускорении является акселерометр, установленный в кабине машиниста электропоезда. После обработки в центральном процессоре УПУ данных акселерометра точность измерения (максимальная ошибка) ускорения составляет +/- 0,05 м/с².

1.3 Алгоритм прицельного торможения электропоезда

В данной статье будет рассмотрен только алгоритм прицельного ЭПТ электропоезда. Это обусловлено тем, что данный вид тормозов является более надежным и широко используемым. Кроме того, сложность набора статистики работы прицельного ЭДТ связана с неудовлетворительным состоянием материальной части в большинстве депо.

Алгоритм прицельного торможения к остановочному пункту представлен на рисунке 1.1.

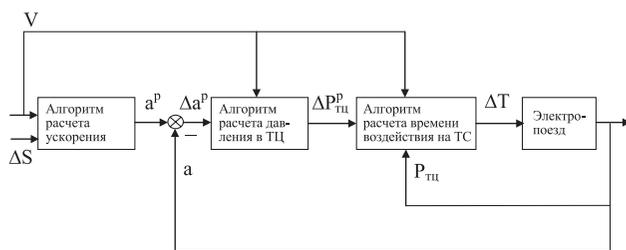


Рис.1.1. Иллюстрация алгоритма прицельного торможения

На рисунке применены следующие обозначения:

V – текущая скорость движения электропоезда;

ΔS – расстояние до остановочного пункта;

a^p – расчетное ускорение;

Δa^p – приращение ускорения;

$\Delta P^p_{тц}$ – приращение давления в тормозном цилиндре;

ΔT – время воздействия на тормозные клапаны;

a – фактическое ускорение электропоезда;

$P_{тц}$ – фактическое давление в тормозных цилиндрах электропоезда.

Алгоритм расчета ускорения предназначен для определения ускорения, необходимого для погашения скорости V за расстояние ΔS .

Алгоритм расчета давления в тормозном цилиндре (ТЦ) предназначен для определения приращения давления в ТЦ, которое нужно добавить к текущему или отнять от него для создания требуемого ускорения замедления электропоезда.

Алгоритм расчета времени воздействия на тормозную систему (ТС) предназначен для определения времени, в течение которого необходимо воздействовать на тормозные клапаны (впускной или выпускной в зависимости от необходимости увеличения или уменьшения тормозного давления).

2. Результаты натурных испытаний прицельной остановки электропоезда

Статистика по прицельной остановке ЭПТ получена при проведении сравнительных испытаний систем УПУ-3 и УСАВП/М в режиме автоведения на электропоездах ЭР2Т приписки депо «Апрелевка» 01.07.2013 – 01.08.2013, подтвержденная протоколами поездок.

Около 80% остановок выполнено без замечаний в автоматическом режиме (более 150 остановок). Все остановки осуществлены в пределах платформы.

Ошибка остановки ΔS рассчитываются в виде: $\Delta S = S_{клуб} - S_{ост}$

где $S_{ост}$ – координата точки остановки, $S_{клуб}$ – текущая координата головы поезда (из КЛУБ-У) при остановке.

Рисунки 2.1 иллюстрируют расчет ошибки остановки ΔS : а) недоезд до точки остановки, б) переезд точки остановки.

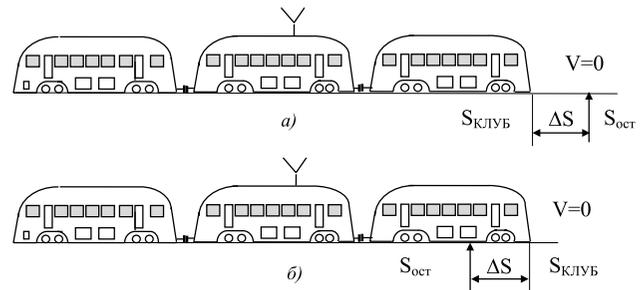


Рис. 2.1. Расчет величины ΔS

Математическое ожидание ошибки остановки составляет -3,26 м. СКО ошибки остановки 8,6 м. Основное влияние на точность остановки оказывает точность измерения текущей координаты (точки остановки) системой безопасности КЛУБ-У, которая составляет +/- 30 м.

Для оценки точности алгоритма торможения необходимо полученные статистические характеристики освободить от ошибок КЛУБ-У. Для этого предлагается воспользоваться следующим постулатом: если существуют Mx и Dx , то средний квадрат отклонения случайной величины x от числа X составляет величину $M(x - X)^2 = \sigma^2 + (Mx - X)^2$.

В соответствии с ошибками КЛУБ-У

$$M(x - X)^2 = 10^2 = 100.$$

$$\sigma^2 = 8,6^2 = 73,96, Mx = -3,26. Тогда$$

$$(Mx - X)^2 = 100 - 73,96 = 26,04 = 5,2^2.$$

Искомое число $X = -(5,2 + 3,26) = -8,5$ м.

Таким образом, средний недоезд до точки остановки, обусловленный особенностями алгоритма торможения, составляет -8,5 м.

На рисунке 2.2 представлено распределение ошибки остановки.

Знак «-» на оси абсцисс соответствует недоезду до координаты остановки.

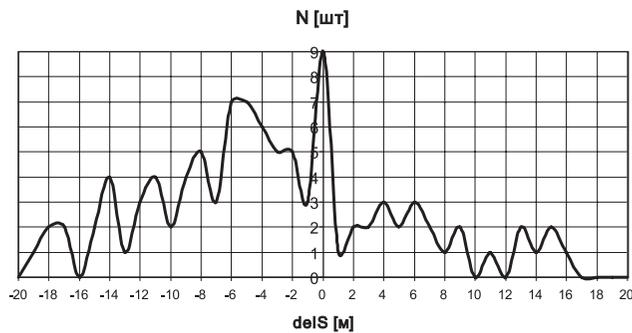


Рис.2.2. Распределение ошибок остановки

Очевидной зависимости ошибки остановки от скорости начала торможения не выявлено. Прицельное торможение к станции осуществлялось со скоростями от 37 до 113 км/ч. Все остановки были осуществлены в пределах платформы. Наличие случаев переезда координаты остановки не означает выезд за пределы платформы, т.к. координата остановки всегда ставится с запасом в 20 – 30 м.

Сравнение режимов прицельного торможения УПУ и УСАВП/М в данном документе не проводилось по причине отсутствия объективных данных о режиме прицельного торможения системы УСАВП/М.

На рисунке 2.3 представлены графики зависимостей давления в тормозном цилиндре (ТЦ), скорости, расчетного ускорения, измеренного ускорения от времени. Данный рисунок иллюстрирует принцип построения алгоритма прицельного торможения.

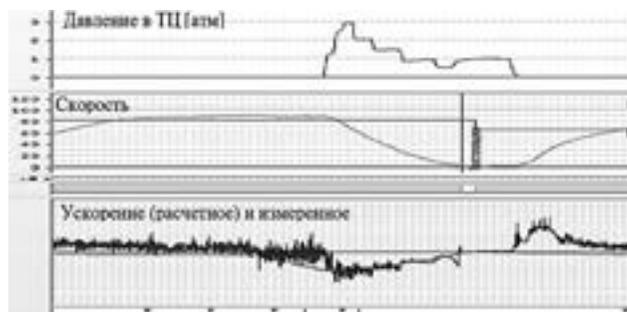


Рис.2.3. Графики зависимостей давления в ТЦ, скорости движения, расчетного и измеренного ускорения от времени

3. Проблемы режима прицельной остановки электропоезда

При проведении сравнительных испытаний УПУ

и УСАВП/М в режиме автоведения на электропоездах ЭР2Т приписки депо «Апрелевка» выявлен следующий недостаток в работе УПУ: нестабильность работы системы в режиме прицельной остановки ЭПТ, которая проявляется в разбросе времени от начала торможения до полной остановки. Как сформулировано в протоколах испытаний, торможение «затянутое» или «резкое».

Проведенный анализ поездок позволяет предположить, что причиной является несоответствие реального диаметра бандажа величине диаметра бандажа, введенной в систему безопасности КЛУБ-У.

Проведено математическое моделирование с целью оценки влияния расхождения реального диаметра бандажа и введенного в систему КЛУБ-У на алгоритм прицельного торможения режима автоведения системы УПУ-3.

При моделировании торможения со скорости 102 км/ч получены результаты, изображенные в виде графиков.

На рисунке 3.2 представлен график зависимости давления в тормозном цилиндре (в атмосферах) от времени (в секундах) при правильно введенном диаметре бандажа. Время начала торможения характеризуется ростом давления в тормозном цилиндре. Время окончания торможения показано стрелкой. На рисунке 3.2 видно, что время торможения составляет **63 секунды**.

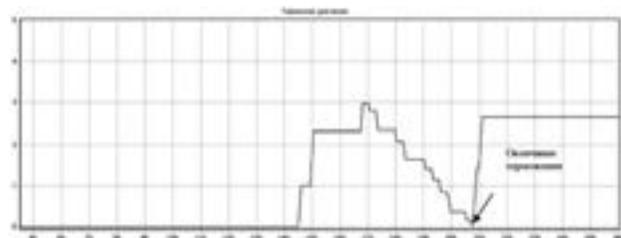


Рис.3.2. График зависимости давления в тормозном цилиндре от времени при правильно введенном диаметре бандажа.

На рисунке 3.3 представлен график зависимости давления в тормозном цилиндре от времени при неправильно введенном диаметре бандажа. Завышение на 2,5%. Время начала торможения характеризуется ростом давления в тормозном цилиндре. Время окончания торможения показано стрелкой. На рисунке 3.3 видно, что время торможения составляет **70 секунд**.

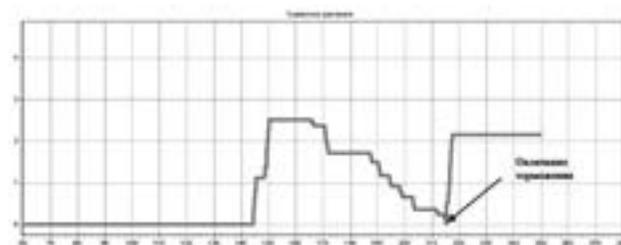


Рис.3.3. График зависимости давления в тормозном цилиндре от времени при завышении диаметра бандажа на 2,5%

На рисунке 3.4 представлен график зависимости давления в тормозном цилиндре от времени при неправильно введенном диаметре бандажа. Завышение на 5%. Время начала торможения характеризуется ростом давления в тормозном цилиндре. Время окончания торможения показано стрелкой. На рисунке 3.4 видно, что время торможения составляет **76 секунд**.

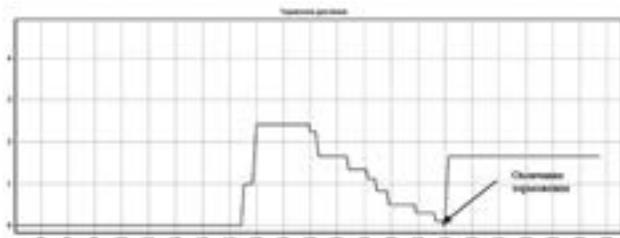


Рис.3.4. График зависимости давления в тормозном цилиндре от времени при завышении диаметра бандажа на 5%

На рисунке 3.5 представлен график зависимости давления в тормозном цилиндре от времени при неправильно введенном диаметре бандажа. Завышение на 10%. Время начала торможения характеризуется ростом давления в тормозном цилиндре. Время окончания торможения показано стрелкой. На рисунке 3.5 видно, что время торможения составляет **97 секунд**.

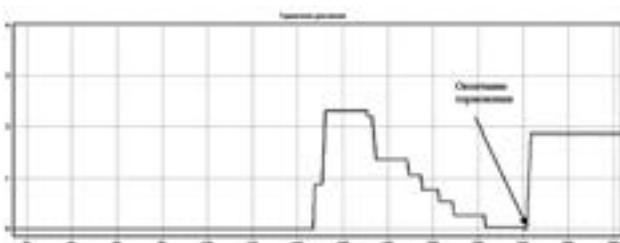


Рис.3.5. График зависимости давления в тормозном цилиндре от времени при завышении диаметра бандажа на 10%.

На рисунке 3.6 представлен график зависимости давления в тормозном цилиндре от времени при неправильно введенном диаметре бандажа. Занижение на 5%. Время начала торможения характеризуется ростом давления в тормозном цилиндре. Время окончания торможения показано стрелкой. На рисунке 3.6 видно, что время торможения составляет **52 секунды**. Однако остановка осуществлялась на повышенном давлении.

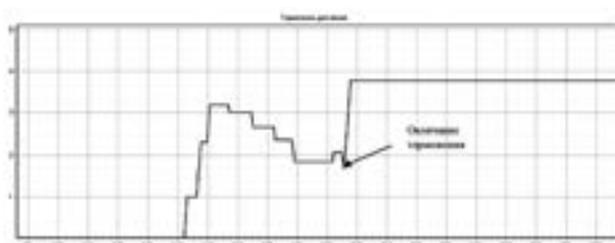


Рис.3.6. График зависимости давления в тормозном цилиндре от времени при занижении диаметра бандажа на 5%.

На рисунке 3.7 представлен график зависимости времени торможения от ошибки в диаметре бандажа.

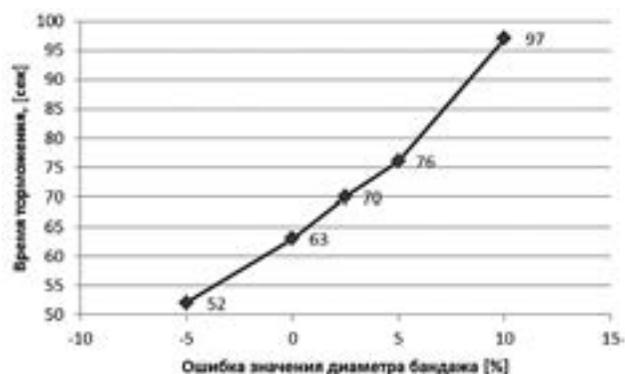


Рис.3.7. График зависимости времени торможения от ошибки в диаметре бандажа

Как видно из результатов моделирования, завышенный бандаж приводит к «затяннутому» торможению, а заниженный к «резкому».

Таким образом, методом математического моделирования подтверждено прямое влияние ошибки ввода диаметра бандажа в систему КЛУБ-У на алгоритм прицельного торможения в режиме автоведения системы УПУ - 3.

Выводы

1. Режим прицельной остановки обеспечивает автоматическую прицельную остановку электропоезда в пределах платформы. Математическое ожидание ошибки остановки $-3,26$ м, СКО ошибки остановки $8,6$ м.
2. Полученные характеристики торможения электропоезда обусловлены случайными ошибками ± 30 м определения текущей координаты поезда, поступающей от системы безопасности КЛУБ-У. Средний недоезд до точки остановки с учетом ошибок системы КЛУБ-У составляет $-8,5$ м.
3. Методом математического моделирования подтверждено прямое влияние ошибки ввода диаметра бандажа в систему КЛУБ-У на алгоритм прицельного торможения в режиме автоведения системы УПУ - 3.

Несенюк Т. А., УрГУПС, г. Екатеринбург

Применение RFID-технологий для совершенствования контроля изоляторов и защитных устройств от перенапряжений

Службой электроснабжения железных дорог отмечено, что повреждение изоляторов и защитных устройств является одной из существенных причин состояния безопасности движения поездов. Для надежного функционирования линий электропередачи необходимо обратить внимание на совершенствование средств контроля оборудования. Для изоляторов основной составляющей надежности является качество диэлектрических свойств, для защитных устройств – надежность срабатывания при возникновении перенапряжений.

Изменение свойств оборудования может произойти при нарушении технологического процесса изготовления, транспортировки, установки и эксплуатации, при этом существенное влияние оказывают метеословия во время эксплуатации оборудования, в том числе выше предусмотренных сроков.

Согласно статистическому анализу работы хозяйства электроснабжения количество отказов изоляторов контактной сети изменялось от 11,8% в 2007 г. до 34% в 2012_г. Отказы ограничителей перенапряжений составляли от 2,5% в 2006 до 7 % в 2013 г, что можно наблюдать на графике (рисунок 1).

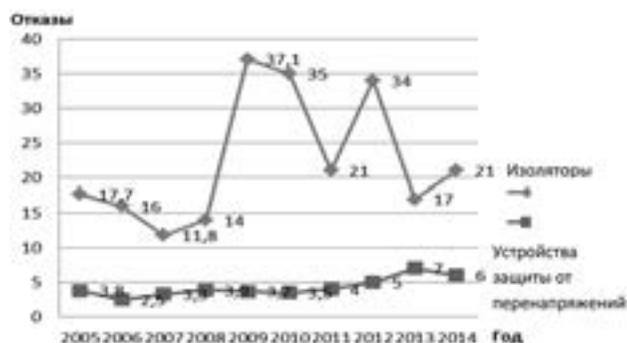


Рис.1. Статистический анализ причин отказов контактной сети.

Удельный вес случаев пробоя изоляции в линиях СЦБ и ПЭ имеет значительную величину, и составляет около 10 % от всех видов отказов. Исследуя факторы, влияющие на работоспособность устройств СЦБ и ПЭ, отмечено, что наибольшее влияние оказывают: метрологические условия (атмосферные перенапряжения, снегопад, ветер, гололед); повреждение устройств внешнего электроснабжения; недостатки эксплуатации; износ и старение устройств, воздействие посто-

ронних предметов, животных, птиц; ошибки оперативного персонала; вандализм; недостатки монтажа; заводской брак и др., что необходимо учитывать при создании и совершенствовании современных систем диагностики изолирующих конструкций (рисунок 2).

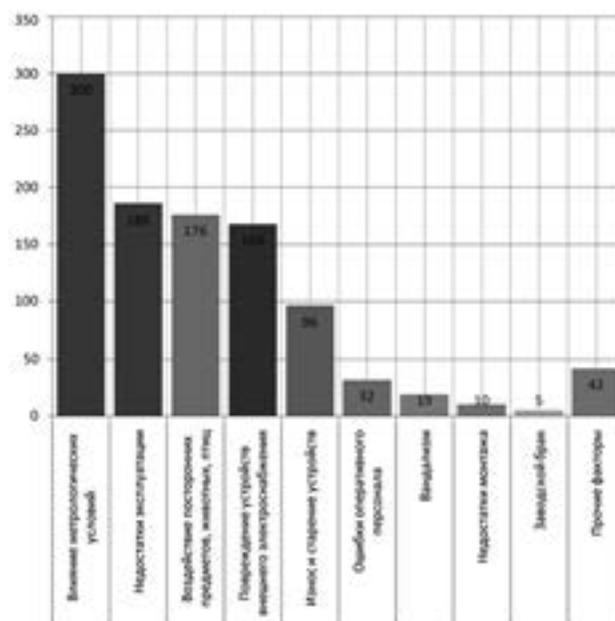


Рис.2. Факторы, влияющие на работоспособность электроснабжения устройств СЦБ и ПЭ

Одной из задач безопасности движения в хозяйстве электрификации электроснабжения было обозначено обеспечение ежедневного мониторинга нарушений работы устройств, оперативное принятие мер по предотвращению случаев нарушений нормальной работы данных устройств.

Рост количества отказов изоляторов и защитных устройств электроснабжения связан с несвоевременной заменой выработавших эксплуатационный ресурс аппаратов и устаревшими методами диагностирования. Например, контроль изоляторов и защитных устройств, в основном, сводится к визуальному осмотру при проведении обходов. Согласно инструкции ЦЭ-4054 обслуживающий персонал осуществляет внеочередные осмотры только после грозы. Инструкция ЦЭ-936 предполагает периодичность текущего ремонта и межремонтных испытаний ограничителей перенапряжений для постоянного тока – 1 раз в год, а для переменного тока – 1 раз в 4 года. Данных мер недоста-

точно для диагностирования устройств электроснабжения и, как следствие, обеспечения бесперебойной и надежной работы всей линии. Кроме того, увеличение отказов разрядников и ОПН происходит из-за недостаточной подготовки к грозовым сезонам, снижением эксплуатационных свойств аппаратов и несовершенством контрольных средств для предупреждения предотказного состояния оборудования.

В настоящее время ведутся разработки в области диагностирования ограничителей перенапряжения. Ведущими специалистами в области производства устройств диагностики ОПН являются компании Siemens (Германия) и АББ (Швейцария). Устройства диагностики ограничителей перенапряжения представляют широкий спектр методов обнаружения неисправностей ОПН. Группа Sicame (Франция) предлагает использовать индикаторы неисправности в виде полимерного пояса-фиксатора с красным флажком. Фирма АББ дополняет ОПН счетчиком, контролирующим импульсы перенапряжения и обладающим системой онлайн-мониторинга, где непрерывно ведется подсчет количества разрядов, амплитуды, даты и время возникновения перенапряжения. К недостаткам данных устройств можно отнести сложность согласования с программами обработки данных. Компания Siemens производит счетчики импульсов, настроенные на измерение и анализ 3-ей гармоники тока утечки ограничителей перенапряжения. Компания производит датчики числа срабатываний ОПН, постоянно измеряющие ток утечки, и контрольные искровые промежутки, измеряющие число импульсов.

Предлагаемый автором способ осуществления контроля защитных устройств с помощью RFID-технологий, позволит отслеживать состояние устройств с помощью единой системой компьютерной обработки данных. Благодаря мониторингу появляется возможность надзора за состоянием защитных устройств ВЛ. Выявление неисправности в первоначальный момент времени сократит время на ее поиск, тем самым, сокращая время на восстановление работы системы электроснабжения.

Регистрировать срабатывания ограничителя перенапряжения предлагается путем обнаружения прохождения тока утечки определенной величины, а кодирование метки позволит определить его местоположение. Благодаря чему можно заранее предупредить отказы и минимизировать время на устранение неисправности, как следствие, уменьшить часы простоя поездов и экономические убытки.

Существующая система оповещения предполагает индикацию отказа линии. На мультимониторном щите диспетчера (АРМ ЭЦЦ) появляется звуковая и световая сигнализация отключенного положения выключателя

ВЛ 6-10 кВ. Затем производится однократное пробное включение по телеуправлению, в случае неуспешного включения ВЛ, производится поиск поврежденного участка путем отключения линейных разъединителей и повторной подачи напряжения, до тех пор, пока не определится участок, где произошло на выбранный участок. Дальнейший поиск неисправного устройства производится работниками ЭЧК до устранения неисправности. Поиск и устранение неисправности данным методом требует значительных затрат времени.

Предлагаемая интеллектуальная система контроля (RFID-технология) позволяет не только определить местоположение оборудования и контролировать его работу, но и провести статистический анализ отказа оборудования. Отследить жизненный цикл определенного оборудования можно с помощью прикрепленной кодированной метки, начиная с изготовления, транспортировки, монтажа, эксплуатации с учетом климатических условий, диагностики, обслуживания и заканчивая предотказным или отказным состоянием (рисунок 3). Все перечисленные мероприятия позволяют прогнозировать состояние оборудования.

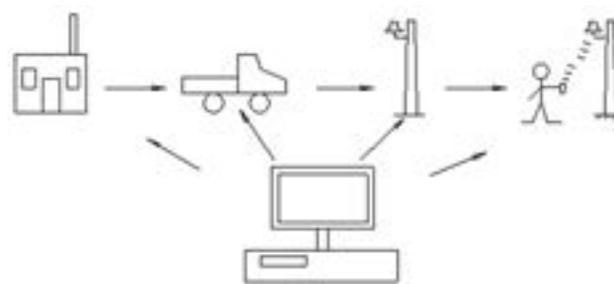


Рис.3. Применение RFID-технологии для контроля и прогнозирования жизненного цикла оборудования.

Метка представляет собой интегральную микросхему с чипом, хранящим индивидуальный номер и возможностью программирования и перепрограммирования. Сообщение между считывателем и меткой осуществляется путем передачи высокочастотного радиосигнала через их антенны. Таким образом, статистика позволит найти слабое звено во всей цепочке мероприятий по контролю электрической прочности оборудования.

Выпущенная партия оборудования с помощью системного сбора данных RFID-технологии может выявлять причины отказа, предупреждать нарушения в системе электроснабжения. Во время эксплуатации именно нарушение работы метки позволит оценить состояние контролируемого оборудования. Автор предлагает направлять ток пробоя (утечки) изолирующего или защитного оборудования через интегральную микросхему, вызывая тем самым нарушение в ее работе.

Данное нарушение не позволяет метке отреагировать на запросы зондирующего сигнала считывателя, тем самым определяется «не ответившая» метка и выясняется причина ее данного состояния [1,2]. Программным обеспечением предусмотрено учитывать все запрограммированные метки и отражать на экране монитора: «все», «ответившие», в случае нормальной работы и «не ответившие», когда происходит нарушение. Для ускорения поиска и ликвидации неисправности в кратчайшие сроки предложено повторно кодировать метку по месту нахождения контролируемого оборудования. Таким образом, предложено использование RFID-технологии для диагностики состояния изоляторов и защитных устройств во время эксплуатации.

Если для изоляторов определяется снижение диэлектрических свойств конструкции за счет прохождения тока определенной величины, то для защитных устройств, срабатывание радиочастотной метки может указывать на ограничение эксплуатационного ресурса.

Применение RFID-технологий позволяет контролировать наличие оборудования и передвижение его во время транспортировки. Предложение применения

данной технологии для контроля изоляции и контроля работы ограничителей перенапряжений или разрядников приведет к возможности прогнозирования их состояния. Результатами внедрения данной технологии приведет к повышению надежности электроснабжения, как участков ЛЭП, так и работы изолирующего и защитного оборудования, снижению технологических нарушений и расходов на эксплуатацию, а так же уменьшение величины недоотпуска электроэнергии потребителям. Дистанционное определение неисправности оборудования снизит вероятность травматизма персонала и сократит время на ликвидацию при поиске неисправности.

Литература

1. А.Г. Галкин, Т.А. Несенюк, О.А. Шерстюченко. Бесконтактный RFID-контроль изоляторов. Транспорт Урала. 2014. № 1 (40). С. 65-70.
2. Т.А. Несенюк, Б.С. Сергеев, А.П. Сухогозов. Методика определения состояния изоляторов ВЛ 6 - 10 кВ// Известия Транссиба. - 2014. № 4 (20). С. 97-104.



Харитонов И.В., УрГУПС, г. Екатеринбург

Повышение безопасности движения подвижного состава за счет динамически изменяемой диаграммы направленности излучения лобового прожектора

В последнее время на подвижной состав железной дороги активно внедряется светотехническое оборудование на основе светодиодов. Такое оборудование выигрышно отличаются от аналогов на основе ламп накаливания за счет низкого энергопотребления, высокого срока службы большей стабильности параметров. Однако, существуют дополнительные свойства светодиодной светотехники, которые позволят внести в стандартное оборудование возможность более интеллектуального применения [1]. Рассмотрим данные свойства на примере светодиодного лобового прожектора для подвижного состава железной дороги.

Одним из таких свойств является то, что светодиодная осветительная система лобового прожектора, в общем случае, представляет собой распределённое световое тело, состоящее из нескольких малых по размеру

световых тел [2]. Это свойство объясняется тем, что для корректного фокусирования света необходимо использовать светодиоды с малыми по размеру кристаллами. Благодаря этому свойству, появляется принципиальная возможность разделить все световые тела прожектора на отдельные массивы, что дает возможность ввести модульность всей конструкции прожектора.

Безопасность движения, в частности, определяется тем насколько хорошо машинисту видно впереди лежащий путь и общую обстановку вокруг локомотива. Днем это определяется погодными условиями, размером окон кабины управления, размером щеток стеклоочистителя, эффективностью работы обогрева стекол. При движении подвижного состава в ночное время дальность видимости впереди лежащего пути существенно ограничивается отсутствием естественного освещения. При

этом, общая обстановка вокруг локомотива освещается незначительно за счет нефокусированного света внешних световых приборов. При этом, наиболее плохо будет освещаться впередилежащий путь при движении подвижного состава в кривых (см. рис.1) из-за узкого луча прожектора, неспособного полноценно осветить полотно. Для повышения безопасности движения необходимо обеспечить равномерное освещение пути и окружающего подвижной состав пространства. Для этого необходимо обеспечить диаграмму направленности согласно рис.2, 3 [3]. Применение системы головного освещения с широкой диаграммой направленности ведет к большим энергетическим затратам. Для нивелирования этих затрат необходимо разрабатывать подобную систему на основе светодиодов. Широкая диаграмма направленности лобового прожектора приводит к ослеплению встречной локомотивной бригады, для исключения которого необходимо ввести возможность динамического управления световым потоком. Для подобной проблемы известны решения на основе подвижных механизмов [4], однако, известно, что электромеханические компоненты имеют низкую надежность [5]. Подобный факт негативно скажется на общей надежности системы. Иным решением может стать применение модульной системе на основе равнозначных оптических модулей, установленных разнонаправленно. При таком решении отказ одного или нескольких модулей менее вероятен, а степень освещенности впередилежащего пути практически не изменится.

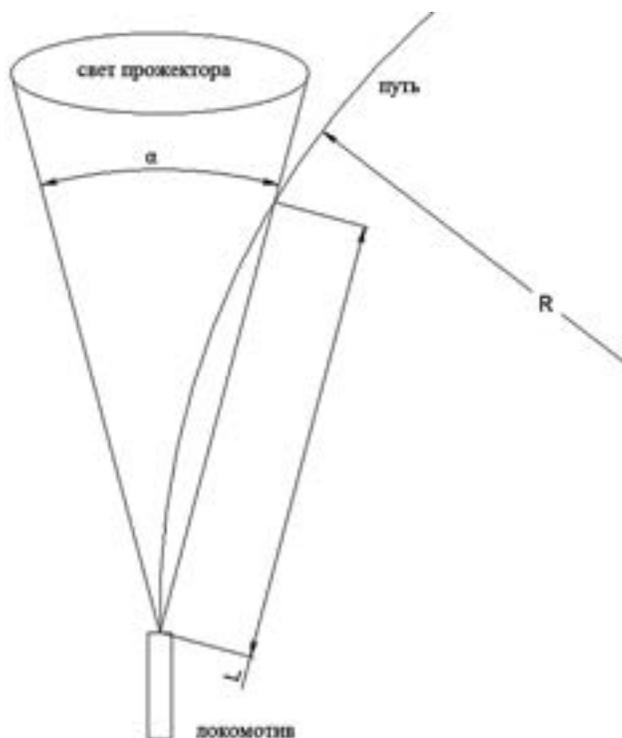


Рис.1. Пояснение к расчету видимости пути при повороте

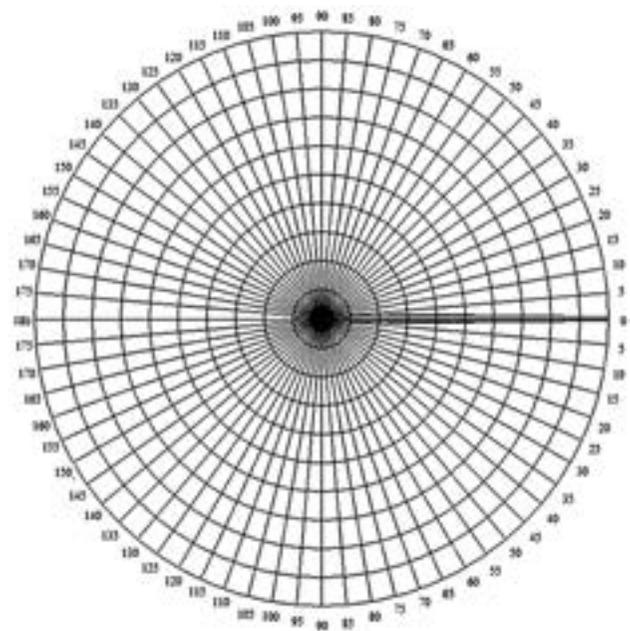


Рис. 2. Предлагаемая КСС прожектора в вертикальной плоскости

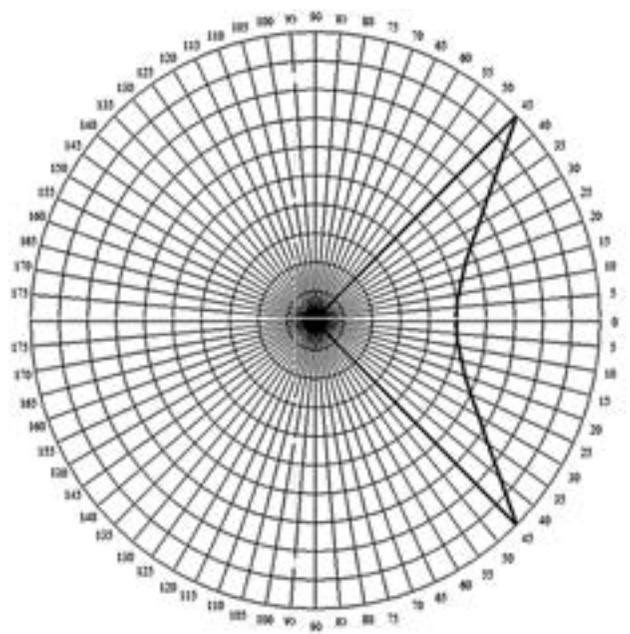


Рис. 3. Предлагаемая КСС прожектора в горизонтальной плоскости

Точное управление шириной луча прожектора необходимо для повышения энергоэффективности и надежности светотехнического устройства, а также для исключения сильного уменьшения поля зрения локомотивной бригады из-за необходимости не допустить ослепление встречного локомотива. Для управления пучком света необходимо знать следующие параметры: положение подвижного состава, радиус пути по которому идет движение, расстояние до ближайшего встречного подвижного состава. Можно рассмотреть

несколько способов определения этих параметров: спутниковое позиционирование и граф пути, использование видеоприемников, использование напольного оборудования железной дороги. В общем случае, использование одного конкретного способа является неоптимальным, так как спутниковое позиционирование может иметь большую погрешность определения положения подвижного состава (см. рис.4), система на основе видеоприемников имеет много ограничений связанных с погодными условиями особенно на больших расстояниях, использование напольного оборудования не позволит определить положение встречного состава. Наиболее оптимальным является совместное применение этих систем. Напольное оборудование сможет передать информацию о точном местоположении подвижного состава и характеристиках кривизны пути, спутниковая навигация позволит заранее отследить наличие встречного состава, а система видеонаблюдения откорректирует его точное положение относительно прожектора за счет идентификации наличия встречного лобового прожектора (см. рис. 5).

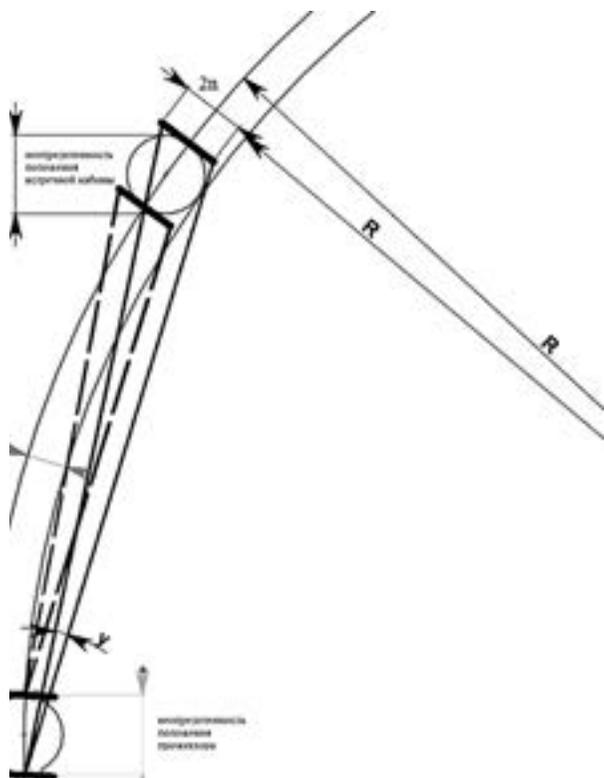


Рис. 4. Пояснение к определению погрешности установки ширины угла прожектора в кривых

Другим важным свойством светодиодной техники является высокое быстродействие светодиодов, позволяющее использовать их в качестве передатчика сигнала. В настоящее время на железной дороге используются различные способы и стандарты для передачи информации, которые в основном основаны на радио-

канале или проводной связи. Данные виды связи имеют множество недостатков: они подвержены наводкам, взаимному влиянию, их можно легко перехватить и использовать в иных целях, их использование сопровождается разработкой специальных фильтров или алгоритмов кодирования, что сказывается на надежности, скорости передачи информационного канала.



Рис. 5. Исходное и обработанное изображение встречного состава с включенными световыми сигналами в ночное время при отсутствии паразитной засветки

Применение лобового прожектора на основе светодиодов позволяет осуществить быстродействующую передачу телемеханической информации с локомотива на наземные устройства и обратно, образовав открытый оптический канал связи. Применение данного вида связи имеет ряд преимуществ: качество связи не зависит от окружающей радиообстановки, сложность незаметной установки прослушивающих устройств, значительно более высокая скорость передачи информации. Непосредственное применение данного способа связи на железной дороге для обмена информацией между локомотивом и наземными службами было затруднено ввиду малого применения светодиодов на подвижном составе в качестве прожектора, а также из-за узкого луча прожектора локомотива, т.к. данный вид связи требует точной наводки источника на приемник. При использовании на локомотиве прожектора с широкой переменной диаграммой направленности,

становится принципиально возможно наводить информационный пучок на любое месторасположение приемника около путей. Практическая выгода от применения открытого атмосферного канала заключается в получении максимально скрытого пути передачи телемеханической информации. Дальность передачи в общем случае определяется погодными условиями и энергетическим запасом передатчиков. Кроме того, для повышения секретности положения приемного устройства целесообразно использовать инфракрасный диапазон электромагнитного спектра.

Кроме оборудования на ПС необходимо иметь стационарное оборудование открытого атмосферного канала около путей которое способно организовать канал передачи данных с ПС и передать их наземным службам. Решение этой задачи достигается тем, что на опоры контактной сети или на аналогичные устройства (например, для не электрифицированных участках пути) устанавливаются модули приема-передачи, использующие в качестве среды передачи информации открытый атмосферный канал.

Одной из проблем практического внедрения подобной системы является точная наводка приемника на передатчик. В случае локомотива использование всех светодиодных модулей является энергетически не эффективным и может вызвать дополнительные паразитные засветки на напольном оборудовании. Таким образом, системе, расположенной на локомотиве, необходимо определить месторасположение напольного оборудования. Для этого можно использовать напольную аппаратуру ЕКС, дополнительно зашифровав в нее информацию об месторасположении ответного для локомотива оборудования линии связи: расстояние между приёмниками и расстояние от приемника до оси. При таком решении угол передачи данных для подвижного состава в каждый момент времени становится известным (см. рис. 6).

В настоящее время эти работы выполняются в Уральском государственном университете путей сообщения совместно с Научно-производственным объединением Автоматики Федерального Космического Агентства им. ак. Семихатова Н.А.



Рис. 6. Реализация динамически изменяемого луча прожектора и передачи информации по открытому атмосферному каналу связи

Литература

1. Сергеев Б.С., Харитонов И.В., Интеллектуальные возможности применения светодиодных систем на локомотивах железнодорожного транспорта // Труды третьей научно-технической конференции с международным участием «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование. ИСУЖТ-2014. – 2014. - с. 217-219.
2. Харитонов И.В., Сергеев Б. С. Особенности проектирования узкоградусной линзы для светодиодного прожектора локомотива // Электроника и электрооборудование транспорта. №5. - 2014. – с. 11-13.
3. И. В. Харитонов, Б. С. Сергеев. Повышение безопасности движения локомотива в кривых // Транспорт Урала. № 2 – 2015. – с. 87-91. ISSN 1815-9400.
4. Пат. 2139470 Российская Федерация, МПК F21M3/08. Поворотное полипрожекторное устройство рельсового подвижного состава. Вейцель О.О., Гулин С.А. Петербургский государственный институт путей сообщения. - № 97119350/09; заявл. 26.11.1997; опубли. 10.10.1999.
5. Козловский В. Н., Ютт В. Е. Надежность системы электрооборудования легкового автомобиля. // Электроника и электрооборудование транспорта. №3. – 2008. – с. 37-40. ISSN: 182-6782.



Волынская А.В., УрГУПС, г. Екатеринбург

Оценка эффективности адаптивного накопления сигналов при разных характерах изменения уровня помех

Канал передачи информации по контактному проводу характерен мощными импульсными помехами и прерываниями [1]. В этих условиях целесообразно применить многократное повторение сигнала управления на передающей стороне и его синхронное накопление на приемной [2]. При накоплении увеличивается отношение сигнал /помеха, т.к. сигнал растет пропорционально числу накоплений, а помеха, поскольку она случайна, – не больше чем корню квадратному из числа накоплений; но только при условии, что помеха – стационарная. Однако, если помеха нестационарная, и при очередном накоплении возможно ее увеличение, либо в случае пропадания сигнала из-за отрыва пантографа принятая реализация снизит отношение сигнал/помеха, полученное ранее, что может только ухудшить результат. Поэтому накопление должно быть адаптивным к мощным помехам и прерываниям сигнала: «хорошие» реализации сигнала, пришедшие на фоне слабой помехи, следует суммировать с большим весом, а реализации, пришедшие на фоне сильной помехи, – с малым и даже нулевым весом [3]. Весовой коэффициент при адаптивном накоплении будем определять по коэффициенту корреляции между основным и накопленным сигналами [4].

Проведем сравнение эффективности адаптивного накопления с простым путем компьютерного моделирования в среде Visual Studio 2010.

Рассмотрим три характерные ситуации:

- 1) помеха невелика и плавно уменьшается;
- 2) помеха сначала невелика, затем резко увеличивается (при 16-ом цикле);
- 3) уровень помехи от реализации к реализации резко изменяется случайным образом. На рис. 1 показан пример изменения уровня помехи при 30 циклах накопления.

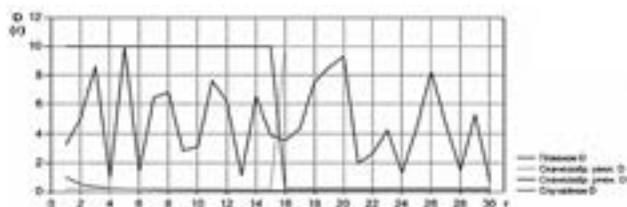


Рис.1. Изменение уровня помехи при моделировании (г – количество накоплений; D – относительный уровень помехи)

В качестве полезного сигнала применим 7-элементный двоичный сигнал Баркера +1+1+1-1-1+1-1, имеющий узкий и высокий пик автокорреляционной функции.

На рис. 2-6 приведены некоторые из полученных графиков. Уровень полезного сигнала всегда одинаков, но в случае мощной помехи, уменьшается масштаб – для наглядности восприятия истинного отношения сигнал/помеха.

Ситуация 1 – помеха плавно уменьшается

На рис. 2 приведены результаты моделирования при 1, 5 и 10 циклах накопления.

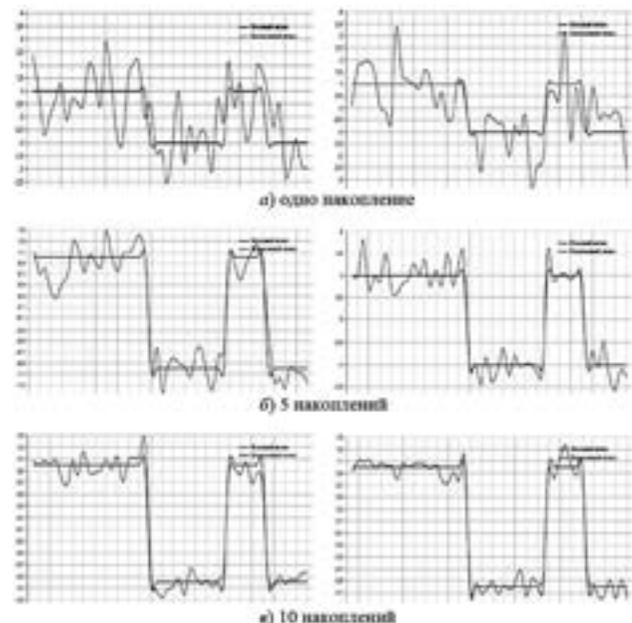


Рис.2. Простое (слева) и адаптивное (справа) накопления при плавном уменьшении уровня помехи

Видим, что очищение сигнала от помех происходит примерно одинаково как при простом, так и при адаптивном накоплениях, что и следовало ожидать. То есть при стационарной помехе адаптивное накопление не имеет преимуществ перед простым.

Ситуация 2 – помеха сначала соизмерима с сигналом, а при 16-ом цикле увеличивается в 10 раз

Результаты моделирования приведены на рис. 3.

До 15-го цикла отношение сигнал/помеха растет примерно одинаково, как и в первой ситуации. Далее

на фоне мощной помехи приходит 16-ая реализация: видим, что при простом накоплении это сразу разрушает ранее накопленный сигнал, а при адаптивном – качество сигнала сохраняется.

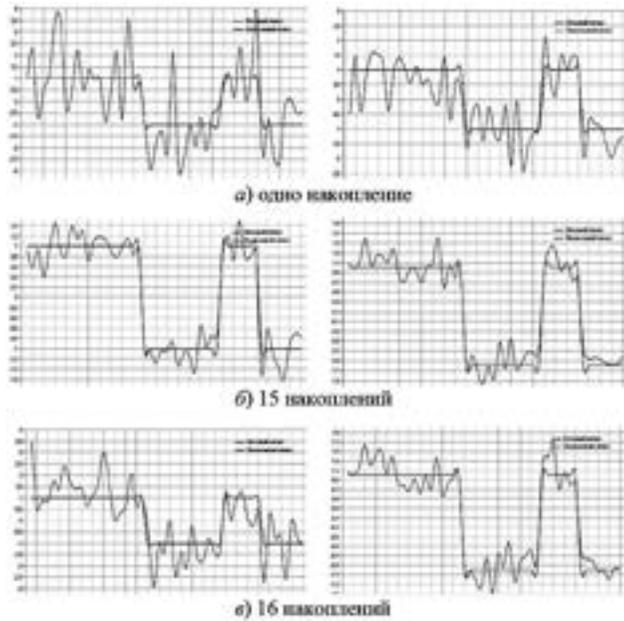


Рис.3. Простое (слева) и адаптивное (справа) накопления при скачкообразном увеличении уровня помехи

Для численной оценки качества накопленного сигнала на рис. 4 приведены зависимости коэффициента корреляции от количества накоплений для простого и адаптивного режимов.

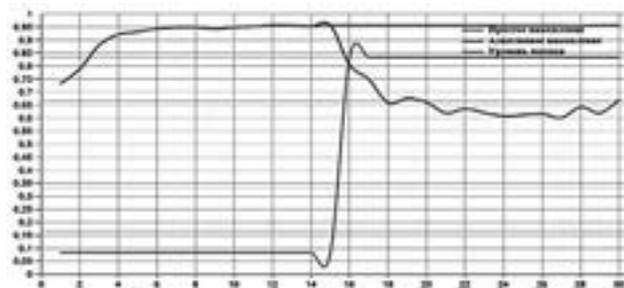


Рис.4. Коэффициент корреляции при скачкообразном увеличении уровня помехи (30 накоплений)

Видим, что коэффициент корреляции растет до 15-ой реализации. После 16-ой реализации при простом накоплении происходит разрушение накопленного сигнала (коэффициент корреляции падает до 0,8 и ниже), а при адаптивном – качество сохраняется и характеризуется коэффициентом корреляции выше 0,95.

Ситуация 3 – уровень помехи резко меняется случайным образом

Результаты моделирования приведены на рис. 5.

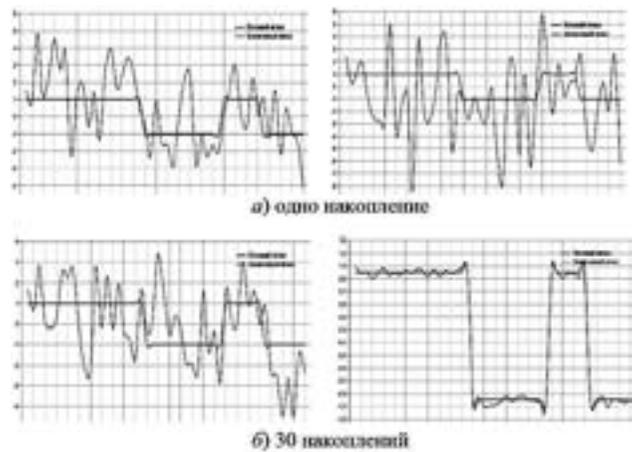


Рис.5. Простое (слева) и адаптивное (справа) накопления при случайном изменении уровня помехи

На рис. 6 показано, как меняется качество накопленного сигнала при изменении уровня помехи в широких пределах случайным образом.

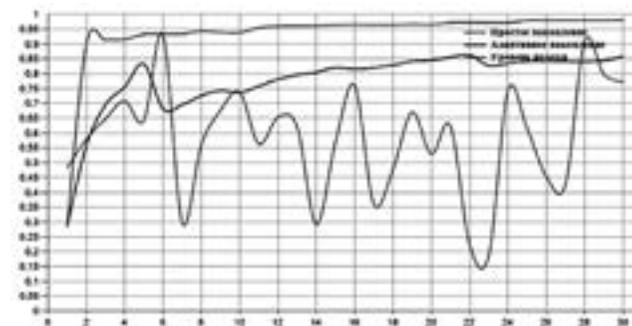


Рис.6. Коэффициент корреляции при случайном изменении уровня помехи (30 накоплений)

Видим, что простое накопление неэффективно – качество накопленного сигнала почти не растет. Адаптивное же накопление дает улучшение качества за счет того, что при мощной помехе накопление происходит с малым весом и результат, полученный ранее, не разрушается; а при уменьшении помехи – растет. В результате уже после 10-го накопления коэффициент корреляции составляет 0,95 и при следующих циклах накопления – повышается.

Заключение. Приведены результаты компьютерного моделирования алгоритма адаптивного накопления сигналов в каналах с сильными импульсными помехами и прерываниями. Показано, что простое накопление в этих условиях не эффективно. Адаптивное накопление, при котором «хорошей» реализации сигнала (пришедшей на фоне слабой помехи) присваивают большой вес, а «плохой» (пришедшей на фоне сильной помехи) – маленький или нулевой вес, может обеспечить высокую надежность обнаружения сигналов. Такой алгоритм обеспечивает устойчивый рост

отношения сигнал/помеха при накоплении. Весовой коэффициент для накопления вычисляется по коэффициенту корреляции между основным и накопленным сигналами.

Литература

1. Баранов Л.А. и др. Системы автоматического и телемеханического управления электроподвижным составом. – М.: Транспорт, 1984. – 311 с.
2. Волынская А.В. Интеллектуальная подсистема ИСУЖТ для мониторинга устройств, обеспечивающих движение поездов, на основе когнитивного канала передачи информации по контактной сети // Вестник транспорта Поволжья : Науч.-техн. журнал. – Самара : СамГУПС, 2013. – № 2 (38). – С. 32-36.
3. Волынская А.В. Адаптивное накопление сигналов на основе их корреляционной обработки для PLC-каналов автоматизированных систем железнодорожного транспорта // Материалы VI Международной науч.-практ. конф. «Наука и образование транспорту». – Самара : СамГУПС, 2013. – С. 165-169.
4. Зюко А.Г. Помехоустойчивость и эффективность систем связи. – М.: Государственное издательство по вопросам связи и радио, 1963. – 320 с.



Абраменко А.А., Каркищенко А.Н., Мнухин В.Б., Левашев С.П.,

Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону

Распознавание железнодорожных объектов и инженерных сооружений по облаку точек на основе алгебраических инвариантов

Введение

Постоянное совершенствование технологий лазерного сканирования позволяет получать цифровые данные всё более высокого разрешения. Как следствие, технология лазерного сканирования все шире применяется во многих российских и зарубежных проектах, связанных с мониторингом больших участков местности.

Достаточно типичным примером является мониторинг железных дорог России. В настоящее время железнодорожный путь понимается не просто как протяженный участок, а как сложная структура, учитывающая взаимодействие различных факторов, в том числе воздействие объектов, расположенных на прилегающих территориях. В связи с этим мониторинг железнодорожной инфраструктуры сводится к комплексу задач, одной из которых является необходимость с большой скоростью в автоматическом режиме определять пространственное положение искусственных сооружений в полосе отвода, в частности, для распознавания вновь образовавшихся объектов [1,2]. Одним из путей решения подобных задач является использование трехмерных облаков точек, получаемых с помощью мобильного лазерного сканирования.

В данной работе рассматривается метод распознавания объектов (в частности, объектов железнодорож-

ной инфраструктуры) по данным лазерного сканирования, основанный на использовании алгебраических инвариантов относительно ортогональных аффинных преобразований трехмерного пространства, а также преобразований растяжения и сжатия.

Этапы решения задачи

Будем использовать стандартное понимание задачи распознавания, когда имеется база эталонных объектов с характеризующими их признаками классификации и иными атрибутами, способствующими успешному распознаванию. Требуется в наблюдаемом поле измерений локализовать отдельные объекты, определить значения их признаков и с помощью базы эталонных объектов провести классификацию. В решении поставленной задачи можно выделить два этапа: этап сегментации и этап распознавания.

Этап сегментации. Сегментация – это разделение облака точек на множество частей, связанных друг с другом визуально, либо семантически. Другими словами, из облака точек всей сцены, необходимо выделить облака точек отдельных объектов. Принимая во внимание естественную зашумленность данных (в том числе и из-за наличия нестационарных, перемещающихся объектов), данная задача не является тривиальной [3].

Этап распознавания. По 3D облаку точек объекта необходимо определить, к какому из заданных классов относится данный объект. Например, к одному классу относятся все столбы, к другому - все здания и т.д. На этом этапе необходимо вынести объективное суждение о распознавании объекта. Для этого должна быть введена соответствующая мера близости на множестве объектов. При решении задачи данного этапа следует учитывать, что установление соответствия между эталонным объектом из базы данных и данными о наблюдаемом объекте, извлекаемыми из результатов лазерного сканирования, неизбежно осложняется неопределенностью выбора точки, в которой проводилось сканирование. Тем самым наблюдаемые данные подвергаются преобразованиям сдвига, масштабирования и вращения с заранее неизвестными параметрами. Это приводит к необходимости использовать для распознавания объектов дескрипторы, инвариантные относительно указанных видов преобразований.

Преобразование лазерных данных в локальную систему координат

В дальнейшем будем предполагать, что предварительная сегментация данных уже проведена либо на основе описанного в [3] подхода, либо каким-то иным способом. Заметим, что предварительно отсеивание заведомо не подходящих объектов можно провести на основе соотнесения геометрических параметров сегментированного объекта (длина, высота, форма контура [4] и пр.). В то же время точное распознавание объекта предполагает использование более тонких классифицирующих признаков.

При решении задачи предполагается, что в качестве входных данных выступает облако точек в наблюдаемой области измерений, представленное в правой декартовой прямоугольной системе координат XYZ. Для того чтобы обеспечить независимость дескриптора от системы координат, в которой задано облако точек объекта, перейдем в новую систему координат, связанную с облаком точек.

Пусть $\tilde{S} = \{\tilde{x}, \tilde{y}, \tilde{z}\}$, $|\tilde{S}| = N$, – множество точек объекта, заданных в системе координат XYZ. Обозначим через $\mathbf{p}_i = (x_i, y_i, z_i)^T$ – вектор координат точки \mathbf{p}_i . Рассмотрим матрицу $\mathbf{P} = (\mathbf{p}_1 \ \mathbf{p}_2 \ \dots \ \mathbf{p}_N)$ и матрицу $\tilde{\mathbf{P}} = (\tilde{\mathbf{p}}_1 \ \tilde{\mathbf{p}}_2 \ \dots \ \tilde{\mathbf{p}}_N)$, составленную из векторов

$$\tilde{\mathbf{p}} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \mathbf{p}_k,$$

и вычислим ковариационную матрицу

$$\mathbf{C} = \frac{1}{N} (\mathbf{P} - \tilde{\mathbf{P}}) \cdot (\mathbf{P} - \tilde{\mathbf{P}})^T.$$

Собственные векторы ковариационной матрицы попарно ортогональны. Предположим, что эти векто-

ры занумерованы в порядке убывания значений соответствующих им собственных значений. Тогда разброс лазерных точек вдоль направления собственных векторов пропорционален величине соответствующих собственных значений. Выберем эти собственные векторы в качестве базиса, порождающего систему координат в точке $\tilde{\mathbf{p}}$. Тогда, преобразуя координаты точек при переходе в новую систему координат, получим множество $S = \{s(x, y, z)\}$ точек объекта в новой локальной системе координат, связанной с объектом.

На рис.1 слева изображено облако точек в некоторой декартовой системе координат, а справа – это же облако точек в локальной системе координат, связанной с объектом.

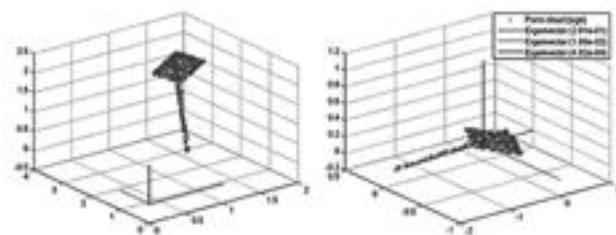


Рис. 1. Облако точек в исходной (слева) и локальной (справа) системе координат, связанной с объектом.

Предварительная регуляризация облака точек

Как правило, количество лазерных точек в облаке чрезмерно велико, и расположены они в рассматриваемой области нерегулярно. В связи с этим целесообразно провести предварительное «сжатие» избыточной информации и некоторую регуляризацию их расположения в пространстве.

Предположим, что облако точек вдоль оси X ограничено координатами X_{\min} и X_{\max} , вдоль оси Y – координатами Y_{\min} и Y_{\max} , а вдоль оси Z – координатами Z_{\min} и Z_{\max} . Разобьем отрезок $[Y_{\min}, Y_{\max}]$ на L равных частей точками $y_0 = Y_{\min}, y_1 = Y_{\min} + \Delta y, \dots, y_{l-1} = Y_{\min} + (l-1)\Delta y, \dots, y_L = Y_{\min} + L\Delta y$. Здесь $\Delta y = (Y_{\max} - Y_{\min})/L$.

Аналогично разобьем отрезки $[X_{\min}, X_{\max}]$, $[Z_{\min}, Z_{\max}]$ на M и P равных частей соответственно, полагая $\Delta x = (X_{\max} - X_{\min})/M, \Delta z = (Z_{\max} - Z_{\min})/P$.

Введем обозначение для элементарных прямоугольников:

$$\Delta_{ml} = [(m-1)\Delta x, m\Delta x] \times [(l-1)\Delta y, l\Delta y],$$

$$\Delta_{mp} = [(m-1)\Delta x, m\Delta x] \times [(p-1)\Delta z, p\Delta z],$$

$$\Delta_{lp} = [(l-1)\Delta y, l\Delta y] \times [(p-1)\Delta z, p\Delta z].$$

Пусть n_{ml} – число лазерных точек, попавших в элементарный параллелепипед $\delta_{ml} = [Z_{\min}, Z_{\max}] \times \Delta_{ml}$, т.е. $n_{ml} = |\{s(x, y, z) : x \in \Delta_{ml}\}|$, а n_{mp} и n_{lp} – число точек в параллелепипедах δ_{mp} и δ_{lp} , соответственно.

Введем дискретные функции

$$Z(m, l) = \frac{1}{n_{ml}} \sum_{\substack{s(x, y, z) \\ (x, y) \in \Delta_{ml}}} z, \quad Y(m, p) = \frac{1}{n_{mp}} \sum_{\substack{s(x, y, z) \\ (x, z) \in \Delta_{mp}}} y,$$

$$X(l, p) = \frac{1}{n_{lp}} \sum_{\substack{s(x, y, z) \\ (y, z) \in \Delta_{lp}}} y,$$

которые описывают средние значения аппликат, ординат и абсцисс точек из элементарных параллелепипедов δ_{ml} , δ_{mp} и δ_{lp} .

Определим также функции

$$\delta Z(m, l) = \frac{1}{n_{ml} - 1} \sum_{(x, y, z) \in \delta_{ml}} (z - Z(m, l))^2,$$

$$\delta Y(m, p) = \frac{1}{n_{mp} - 1} \sum_{(x, y, z) \in \delta_{mp}} (y - Y(m, p))^2,$$

$$\delta X(l, p) = \frac{1}{n_{lp} - 1} \sum_{(x, y, z) \in \delta_{lp}} (x - X(l, p))^2,$$

которые дают статистические оценки дисперсии аппликат, ординат и абсцисс точек, которые лежат в соответствующем элементарном параллелепипеде.

Инварианты

Для построения дескриптора, инвариантного относительно упомянутых выше сдвигов, масштабирования и вращения, воспользуемся известными алгебраическими характеристиками, инвариантными относительно этих преобразований. В основе их построения лежат начальные и центральные моменты функции.

Рассмотрим двумерные начальный δ_{pq} и центральный μ_{pq} моменты порядка $(p+q)$ дискретной функции $f(x, y)$:

$$m_{pq} = \sum_x \sum_y x^p y^q f(x, y),$$

$$\mu_{pq} = \sum_x \sum_y \left(x - \frac{m_{10}}{m_{00}}\right)^p \left(y - \frac{m_{01}}{m_{00}}\right)^q f(x, y),$$

При $p, q=0, 1, 2, \dots$, где суммирование производится по всем значениям x и y . Так как функция дискретна и рассматривается в ограниченной области, то все моменты существуют. Рассмотрим нормированные центральные моменты порядка $(p+q)$: $\eta_{pq} = \mu_{pq} / \mu_{00}^\gamma$, при $p, q=0, 1, 2, \dots$, где $\gamma = \frac{p+q}{2} + 1$ при $p+q=2, 3, \dots$. Тогда инварианты относительно переносов, осевой симметрии, поворотов, а также растяжений и сжатий определяют следующим образом [5]:

$$\varphi_1 = \eta_{20} + \eta_{02},$$

$$\varphi_2 = (\eta_{20} - \eta_{02})^2 + 4\eta_{11}^2,$$

$$\varphi_3 = (\eta_{30} - 3\eta_{12})^2 + (3\eta_{21} - \eta_{03})^2,$$

$$\varphi_4 = (\eta_{30} + \eta_{12})^2 + (\eta_{21} + \eta_{03})^2,$$

$$\varphi_5 = (\eta_{30} - 3\eta_{12})(\eta_{30} + \eta_{12}) \left[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2 \right] + (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{21} + \eta_{03}) \left[3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2 \right],$$

$$\varphi_6 = (\eta_{20} - \eta_{02}) \left[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2 \right] + 4\eta_{11}(\eta_{30} + \eta_{12})(\eta_{21} + \eta_{03}),$$

$$\varphi_7 = (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{30} + \eta_{12}) \left[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2 \right] - (\eta_{30} - 3\eta_{12})(\eta_{21} + \eta_{03}) \left[3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2 \right].$$

Дескриптор и алгоритм распознавания

Для облака точек S , описывающего предварительно сегментированный объект, построим описанные выше функции $X, Y, Z, \delta X, \delta Y, \delta Z$ и для каждой из них рассчитаем семь приведенных инвариантов. Таким образом, каждый объект будет характеризоваться 42 числовыми значениями, которые могут быть представлены в виде следующей матрицы:

$$\Phi = \begin{pmatrix} \varphi_1^X & \varphi_2^X & \varphi_3^X & \varphi_4^X & \varphi_5^X & \varphi_6^X & \varphi_7^X \\ \varphi_1^Y & \varphi_2^Y & \varphi_3^Y & \varphi_4^Y & \varphi_5^Y & \varphi_6^Y & \varphi_7^Y \\ \varphi_1^Z & \varphi_2^Z & \varphi_3^Z & \varphi_4^Z & \varphi_5^Z & \varphi_6^Z & \varphi_7^Z \\ \varphi_1^{\delta X} & \varphi_2^{\delta X} & \varphi_3^{\delta X} & \varphi_4^{\delta X} & \varphi_5^{\delta X} & \varphi_6^{\delta X} & \varphi_7^{\delta X} \\ \varphi_1^{\delta Y} & \varphi_2^{\delta Y} & \varphi_3^{\delta Y} & \varphi_4^{\delta Y} & \varphi_5^{\delta Y} & \varphi_6^{\delta Y} & \varphi_7^{\delta Y} \\ \varphi_1^{\delta Z} & \varphi_2^{\delta Z} & \varphi_3^{\delta Z} & \varphi_4^{\delta Z} & \varphi_5^{\delta Z} & \varphi_6^{\delta Z} & \varphi_7^{\delta Z} \end{pmatrix}$$

Матрицу Φ будем называть дескриптором объекта.

У одного и того же класса объектов (столбы, здания и др.) дискретные функции $X, Y, Z, \delta X, \delta Y, \delta Z$ могут быть различны за счет того, что объект повернут, наклонен или находится на другом расстоянии от сканирующей системы. Однако инварианты этих функций не зависят от названных выше обстоятельств. Следовательно, если объекты одинаковы, то значения инвариантов не должны значительно отличаться. Вышесказанное позволяет сформулировать следующий алгоритм распознавания объектов по данным лазерного сканирования.

$$\text{Пусть } \|A\| = \sqrt{\sum_{i,j} a_{ij}^2}$$

– матричная (евклидова) норма матрицы A . Предположим, что Φ – дескриптор (неизвестного) объекта, который необходимо отнести к одному из известных

классов, описываемых дескрипторами эталонных объектов, т.е. $\tilde{\mathcal{F}} = \{\tilde{\Phi}_1, \tilde{\Phi}_2, \dots\}$. Пусть Φ , $\tilde{\Phi} \in \tilde{\mathcal{F}}$, – дескриптор эталонного объекта, представляющего какой-то из известных классов. Тогда распознавание объекта сводится к решению следующей задачи:

$$k^* = \arg \min_{\tilde{\Phi}_k \in \tilde{\mathcal{F}}} \|W(\Phi - \tilde{\Phi}_k)\|,$$

где $W = \text{diag}(w_1, w_2, \dots, w_6)$ – матрица весовых коэффициентов, позволяющая учесть значимость каждой из введенных функций $X, Y, Z, \delta X, \delta Y, \delta Z$. Норма $\|W(\Phi - \tilde{\Phi}_k)\|$ очевидно, может интерпретироваться как мера близости исследуемого объекта с матрицей Φ к эталонному объекту, задаваемому матрицей инвариантов $\tilde{\Phi}$. Следует отметить, что может оказаться, что распознаваемый объект на самом деле не принадлежит ни одному из классов эталонных объектов, имеющихся в базе. В этом случае можно ожидать, что величина $\|W(\Phi - \tilde{\Phi}_k)\|$ будет достаточно большой для всех объектов из базы. Поэтому целесообразно ввести порог α , при превышении которого величиной $\min_{\tilde{\Phi}_k \in \tilde{\mathcal{F}}} \|W(\Phi - \tilde{\Phi}_k)\|$ распознавание следует считать несостоявшимся. Матрица W и величина порога α могут быть найдены экспериментально.

Результаты экспериментов

Вычислительные эксперименты проводились на данных, полученных в результате численного моделирования. В качестве примера такого эксперимента рассмотрим три класса объектов (рис. 2-4). Объекты в классах различаются ориентацией относительно сканирующей системы. Вычислим меру близости объекта *post_1* ко всем остальным объектам при различных значениях параметров M, L, P и весовой матрицей $W = \text{diag}(1, 1, \dots, 1)$.

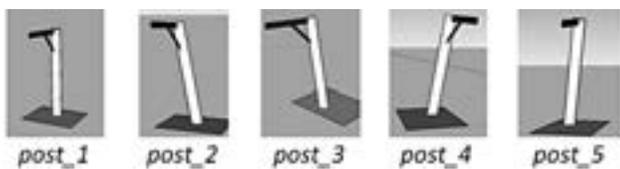


Рис.2. Группа объектов класса *post*



Рис.3. Группа объектов класса *traffic_signs*



Рис.4. Группа объектов класса *traffic_lights*

Результаты, представленные на рис. 5, показывают, что при сравнении объекта *post_1* с объектами класса *post* значения меры близости близки к нулю. В то же время, мера близости с объектами других классов существенно

отлична от нуля. Это позволяет классифицировать данный объект как принадлежащий классу *post*. Кроме того, видно, что классы хорошо отделяются друг от друга. Это говорит о робастности предлагаемого метода. Более точную настройку алгоритма можно проводить с помощью диагональной матрицы весовых коэффициентов W и выбора параметров M, L, P в зависимости от особенностей облака лазерных точек и распознаваемых объектов.

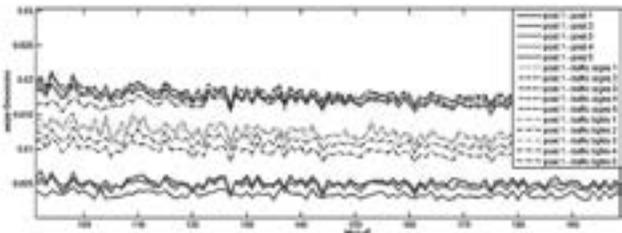


Рис.5. Результаты сравнения объекта *post_1* с остальными объектами.

Литература

1. Абраменко А.А., Левашев С.П. Распознавание объектов по данным мобильного лазерного сканирования на основе метода моментов // *Фундаментальные и прикладные аспекты компьютерных технологий и информационной безопасности. Сборник статей I Всероссийской научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. Ростов-на-Дону: Издательство ЮФУ, 2015. – С. 12-15.*
2. Каркищенко А.Н., Мнухин В.Б., Абраменко А.А., Гречухин И.А., Левашев С.П. Распознавание объектов железнодорожной инфраструктуры по данным лазерного сканирования // *Труды III научно-технической конференции с международным участием «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование (ИСУЖТ-2014)».* М.: ОАО «НИИАС», 2014. – С. 193-196.
3. Каркищенко А.Н., Мнухин В.Б., Абраменко А.А., Гречухин И.А., Левашев С.П. Сегментация объектов инфраструктуры по данным лазерного сканирования // *Интеллектуальные системы на транспорте: Материалы IV международной научно-практической конференции «Интеллект-Транс-2014».* СПб: ПГУПС, 2014. – С. 134-141.
4. Левашев С.П., Абраменко А.А. Анализ изображений сравнением замкнутых контуров с помощью Фурье-дескрипторов // *Фундаментальные и прикладные аспекты компьютерных технологий и информационной безопасности. Сборник статей I Всероссийской научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. Ростов-на-Дону: Издательство ЮФУ, 2015. – С. 37-40.*
5. Hu M.K. Visual Pattern Recognition by Moment Invariants // *IRE Trans. Info. Theory, 1962. – Vol. 1, no. 8, pp. 179-187.*

Залесков А.С., ВА РВСН им. Петра Великого, г. Ростов-на-Дону
Лященко З.В., РГУПС, г. Ростов-на-Дону,
Пугачев И.В., Лазаренко С.В., ДГТУ, г. Ростов-на-Дону

Исследование безударного алгоритма терминального управления с фиксированным временем*

Введение. Прицельное торможение является часто повторяющейся процедурой при управлении железнодорожным транспортом. Актуальность такой задачи обусловлена тенденцией увеличения скорости движения при неизменной средней скорости реакции человека, большим числом подобных операций, что приводит к усталости и снижению внимания машиниста и, как следствие, к снижению безопасности движения. В результате, несмотря на принятые организационные меры по ограничению скорости прибытия на тупиковые пути станций, имеют место случаи столкновения подвижного состава с тупиковой призмой. При этом время занятия маршрута при прибытии электропоезда на тупиковый путь увеличивается из-за установленных ограничений скоростного режима [1].

Предлагаемое исследование направлено на решение проблемы синтеза оптимальных терминальных управлений, которые отличаются от традиционных энергоэффективностью и обеспечивают безударное изменение состояния динамической системы.

Разработанные в [2–4] методы, базирующиеся на использовании интеграла действия по Гамильтону, в отличие от известных решений позволяют синтезировать алгоритмы управления, которые не требуют решения краевой задачи, справедливы для Лагранжевых динамических систем и позволяют задействовать резервы дальнейшего повышения эффективности процедуры синтеза. Они заключаются в использовании принуждения по Гауссу при формировании расширенного функционала и на основе аппарата вариационного исчисления позволяют получить необходимое условие минимума критерия управления [5].

1. Постановка и общее решение задачи. Согласно принципу Гаусса в каждый момент времени t динамическая система движется таким образом, что принуждению [6]

$$Z = \sum_{s=1}^n \frac{1}{2} m_s \left(\ddot{q}_s - \frac{Q_s}{m_s} \right)^2, s = \overline{1, n}, \quad (1)$$

соответствующему истинному пути ускорения \ddot{q}_s доставляют минимум:

$$\delta Z = 0, \quad (2)$$

Где m_s – масса материальной точки; q_s – координата материальной точки относительно неподвижной декартовой системы координат; Q_s – равнодействующая сил, приложенных к материальной точке; n – число степеней свободы динамической системы.

Требуется найти ограниченные допустимые силы ..., переводящие систему из начального состояния $t=t_0$ в конечное $t=t_1$, соответствующую им траекторию $(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}) \in R^{2n}$, которые обеспечат минимум целевого функционала

$$J = \int_{t_0}^{t_1} F(\mathbf{q}) dt \rightarrow \min, \quad (3)$$

где функция $F(\mathbf{q})$ знакопостоянная и непрерывная вместе с частными производными во всей области определения, а t_0, t_1 – соответственно время начала и окончания наблюдения.

Решение получено в следующей форме [5]:

$$\sum_{s=1}^n \frac{d^2 (\hat{Q}_s(\hat{\mathbf{q}}, \dot{\hat{\mathbf{q}}}))}{dt^2} = \lambda^{-1} \sum_{s=1}^n \hat{V}_s'(\hat{\mathbf{q}}), \quad (4)$$

$$t = \tau, \quad \hat{\mathbf{q}} = \hat{\mathbf{q}}(\tau), \quad \dot{\hat{\mathbf{q}}} = \dot{\hat{\mathbf{q}}}(\tau),$$

$$t = \tau + \Delta t, \quad \hat{\mathbf{q}} = \hat{\mathbf{q}}(\tau + \Delta t), \quad \dot{\hat{\mathbf{q}}} = \dot{\hat{\mathbf{q}}}(\tau + \Delta t).$$

2. Синтез терминального управления. Пусть $n=1$ и функция Гиббса имеет вид

$$G = \frac{1}{2} \dot{q}^2, \quad (5)$$

тогда уравнения Анпеля записываются в следующей форме [7]:

$$\ddot{q} = U, \quad (6)$$

$$t_0 = 0, q(t_0) = 1, \dot{q}(t_0) = 0,$$

где U – управляющие силы.

Требуется синтезировать в аналитическом виде закон оптимального управления динамической системой (6), переводящий ее из начального состояния в состояние покоя из условия минимума целевого функционала:

$$J = \int_{t_0}^{t_1} dt \rightarrow \min; \quad (7)$$

* Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 15-38-51258 мол_нр.

пусть время задано в безразмерных единицах: $t_1=3$.

В соответствии с () и ()

$$q^{IV} = 0. \quad (8)$$

Решение этого уравнения имеет вид:

$$q = \frac{At^3}{6} + \frac{Bt^2}{2} + Ct + D; \dot{q} = \frac{At^2}{2} + Bt + C; U = At + B. \quad (9)$$

Постоянные интегрирования определяются из краевых условий:

$$\begin{aligned} A &= -t_1^{-3} [12(q(t_1) - q(0) - \dot{q}(0)t_1) - 6t_1(\dot{q}(t_1) - \dot{q}(0))]; \\ B &= t_1^{-2} [6(q(t_1) - q(0) - \dot{q}(0)t_1) - 2t_1(\dot{q}(t_1) - \dot{q}(0))]; \\ C &= \dot{q}(0); D = q(0). \end{aligned} \quad (10)$$

Исключение времени t_1 из (9) позволяет получить структуру закона управления как функции обобщенных координат

$$U = \frac{6A^2(q - D) + (6ABC - 2B^3)}{2A(\dot{q} - C) - (2B^2 - 6AC)}. \quad (11)$$

Оценка эффективности предлагаемого решения проводится на основе сравнения с известным законом терминального управления

$$U = \frac{6(q(t_1) - q(t))}{(t_1 - t)^2} - \frac{2\dot{q}(t_1) - 2\dot{q}(t)}{t_1 - t}. \quad (12)$$

Такое решение имеет особенность в конечный момент времени. В результате при приближении к конечному состоянию системы наблюдается эффект резкого увеличения равнодействующей сил Q . Данное обстоятельство хорошо изучено и для борьбы с ним разработаны различные приемы устранения такой особенности.

Результаты математического моделирования, приведенные на рисунке 1, совпадают в пределах вычислительной точности.

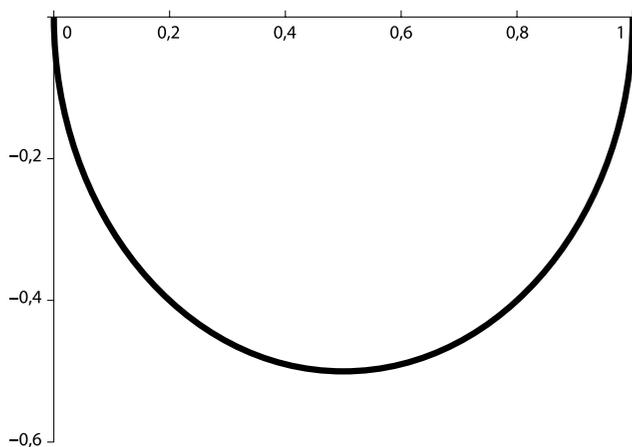


Рис.1. Фазовый портрет

Заключение. Результаты математического моделирования говорят о совпадении в пределах вычислительной точности фазовых траекторий оптимальных алгоритмов терминального управления, синтезированных на основе разных подходов. При этом использование (11) в отличие от (12) не требует принятия использования специальных процедур исключения особенности в окрестности терминальной точки.

Литература

1. Капустин М.Ю., Космодамианский А.С. Применение адаптивных систем управления для автоматизации процесса прицельного торможения электропоезда // Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование. ИСУЖТ-2014: материалы науч. конф. – Москва, 2014. С. 127 – 130.
2. Костоготов А. А., Костоготов А. И., Лазаренко С. В. Объединённый принцип максимума в информационных технологиях анализа и синтеза. – Ростов-на-Дону: РАСЮРГУЭС, 2010. – 165 с.
3. Костоготов А.А., Костоготов А.И., Лазаренко С.В., Шевцова Л.А. // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. 2010. № 2. С. 31-37.
4. Андрашитов Д.С., Костоготов А.А., Костоготов А.И., Лазаренко С.В., Ценных Б.М. Универсальный метод синтеза оптимальных управлений нелинейными Лагранжевыми динамическими системами // Инженерный вестник Дона. 2014. Т. 28. № 1. С. 2.
5. Лазаренко С.В. Метод синтеза оптимального управления с использованием принципа Гаусса // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2013. Т. 11. № 12. С. 37 - 43.
6. Лурье А. И. Аналитическая механика. М.: Государственное издательство физико – математической литературы, 1961. 453 с.
7. Заповольский Н.И., Липчанский М.В., Пинчук Н.А. Синтез терминальных управлений движением поезда // Вестник Национального технического университета Харьковский политехнический институт. Серия: Информатика и моделирование. 2007. № 19. С. 82-88.



Костоглотов А.А., Лященко З.В., Кириллов И.Е., Полубояринов П.С., РГУПС, г. Ростов-на-Дону

Исследование эффективности адаптивного алгоритма оценивания процессов с регулярными возмущениями*

Введение. Исследование процессов с неизвестными регулярными возмущениями характеризуется высоким практическим интересом, поскольку это связано с решением важных задач коррекции погрешностей измерительных систем при неизвестных регулярных воздействиях, синтеза адаптивных систем управления, радиолокационного сопровождения и т.д. На железнодорожном транспорте такие задачи возникают при контроле местоположения и параметров движения объектов подвижного состава на сети железных дорог. Кроме того, при решении задач из области обеспечения безопасности железнодорожного транспорта возникает необходимость дистанционного зондирования потенциально опасных ситуаций при помощи дистанционно пилотируемого летательного аппарата, параметры движения которого также необходимо определять.

Традиционный подход к синтезу алгоритмов оценивания процессов основывается на использовании процедуры расширения вектора пространства состояний, которая позволяет учесть регулярные воздействия за счет включения ускорения. Его модель строят с использованием формирующего фильтра, например, методом Колмогорова – Винера. На выходе получается случайный процесс с заданными статистическими свойствами, характерными для конкретного типа наблюдаемого изменения состояния [1, 2].

Задача фильтрации с традиционным функционалом невязки наблюдений в квазидетерминисткой постановке сводится к двухточечной краевой задаче. Ее решение с применением процедуры инвариантного погружения приводит к вычислительным процедурам калмановского типа [3]. Один из приемов, позволяющих в некоторой степени компенсировать возможное несоответствие априорно выбранной модели наблюдаемой динамике и снизить ошибку оценивания, заключается в использовании многомодельных алгоритмов. Однако в этом случае увеличивается размерность задачи, требуется определять большое число параметров, что, в конечном счете, приводит к снижению устойчивости вычислительной процедуры.

В работе исследуется новый адаптивный алгоритм оценивания процессов с регулярными воздействиями, полученный на основе объединенного принципа мак-

симула [4–7], который отличается от известных вектор – функцией системы.

1. Постановка задачи. Использование объединенного принципа максимума позволяет представить модель процесса с регулярными возмущениями следующим образом [4]:

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{f} + \mathbf{G}\boldsymbol{\eta}, \quad \mathbf{x}(t_0) = \mathbf{x}^0 \quad (1)$$

где $\mathbf{x} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}$ – вектор - функция состояния системы

$$\mathbf{f} = \begin{bmatrix} x_2 \\ -|x_2|x_2 \\ aL|x_1| \end{bmatrix} \text{ – вектор - функция системы, } \dots, \boldsymbol{\eta}_{2 \times 1} \text{ –}$$

вектор – функция случайного процесса с матрицей интенсивности $\mathbf{R}_{\boldsymbol{\eta}_{2 \times 2}}$.

Уравнение наблюдения (1) записывается так:

$$\mathbf{y}(t) = \mathbf{h}(\mathbf{x}(t), t) + \boldsymbol{\xi}(t), \quad (2)$$

где $\mathbf{h}(\mathbf{x}(t), t)$ – известная вектор-функция;

$$\boldsymbol{\xi}(t) = \begin{bmatrix} \xi_1(t) \\ \xi_2(t) \end{bmatrix} \text{ – вектор белого гауссовского шума}$$

с известными локальными характеристиками.

Критерий оценки имеет вид:

$$J = \frac{1}{2} \int_{t_0}^t [\mathbf{y}(t) - \mathbf{h}(\hat{\mathbf{x}}(t), t)]^T \mathbf{R}_t^{-1} [\mathbf{y}(t) - \mathbf{h}(\hat{\mathbf{x}}(t), t)] dt + \frac{1}{2} \int_{t_0}^t \boldsymbol{\zeta}^T(t) \mathbf{R}_\zeta^{-1} \boldsymbol{\zeta}(t) dt. \quad (3)$$

Необходимо получить $\hat{\mathbf{x}}$ как функцию от t , которое увеличивается, доставляющую минимум функционалу (3).

2. Адаптивный алгоритм оценивания процессов с регулярными возмущениями. Применение процедуры инвариантного погружения приводит к следующему результату:

$$\begin{aligned} \dot{\hat{\mathbf{x}}} &= \mathbf{f}(\hat{\mathbf{x}}, t) + \mathbf{P}\mathbf{H}^T \mathbf{R}_t^{-1} [\mathbf{y} - \mathbf{H}\hat{\mathbf{x}}], \\ \dot{\mathbf{P}} &= \mathbf{P} \frac{\partial \mathbf{f}^T(\hat{\mathbf{x}}, t)}{\partial \hat{\mathbf{x}}} + \frac{\partial \mathbf{f}(\hat{\mathbf{x}}, t)}{\partial \hat{\mathbf{x}}} \mathbf{P} + \mathbf{G}\mathbf{R}_\zeta^{-1} \mathbf{G}^T - \mathbf{P}\mathbf{H}^T \mathbf{R}_t^{-1} \mathbf{H}\mathbf{P}, \quad (4) \\ t_0 &= 0, \mathbf{P}(0) = \mathbf{P}^0, \hat{\mathbf{x}}(0) = \hat{\mathbf{x}}^0, \end{aligned}$$

$$\text{где } \frac{\partial \mathbf{f}(\hat{\mathbf{x}}, t)}{\partial \hat{\mathbf{x}}} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ \hat{x}_2 |\hat{x}_2| \text{sign}(\hat{x}_1) & -\text{sign}(\hat{x}_2) \hat{x}_2 - |\hat{x}_2| \\ aL |\hat{x}_1|^2 & aL |\hat{x}_1| \end{bmatrix},$$

* Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ 15-08-03798 А, 15-38-20835 мол_а_вед.

а начальные значения определяются аналогично [2], P – аналог ковариационной матрицы фильтра Калмана [2].

Оценка эффективности (4) проводилась на примере решения задачи сопровождения летательного аппарата, когда непосредственному наблюдению доступна наклонная дальность [1, 2, 4, 6]. Среднеквадратическое отклонение шумов наблюдения принято равным 500 м.

На рисунке 1 приведен закон изменения наклонной дальности. Маневр обусловлен гармоническим изменением ускорения.

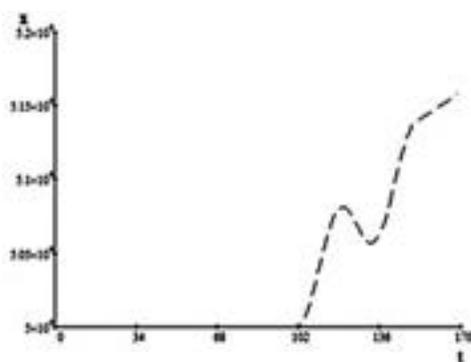


Рис.1. Наблюдаемое изменение состояния

Результаты математического моделирования говорят о большей абсолютной ошибке оценивания фильтра Калмана с моделью ускорения Зингера [1, 2] в сравнении с (4). Это связано с тем, что маневрирование приводит к наблюдению процесса, который не является Марковским. Выигрыш в среднем составил 55.4%, что наглядно демонстрируется на рисунке 2. Здесь сплошной линией обозначена усредненная ошибка оценивания (4), а пунктирной фильтра Калмана с моделью ускорения Зингера.

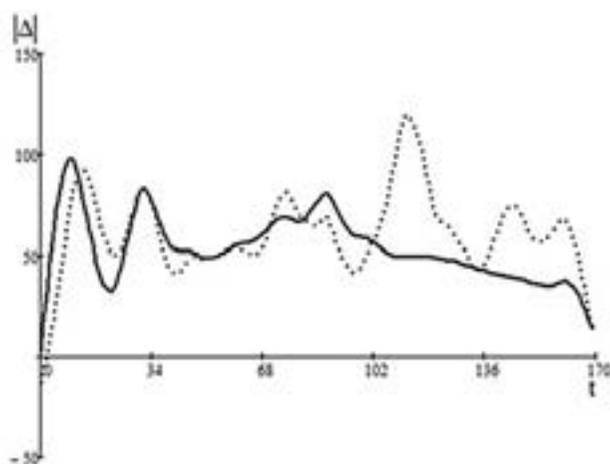


Рис.2. Абсолютная ошибка оценивания

Заключение. Проведено исследование эффективности адаптивного алгоритма оценивания, который отличается от существующих за счет новой вектор – функции системы, построенной на основе объединенного принципа максимума. В качестве модели регулярного возмущения выбрана гармоническая функция. Выигрыш в точности оценивания в этом случае в сравнении с традиционным фильтром Калмана в среднем составил 55.4%.

Литература

1. Фарина А., Студер Ф. Цифровая обработка радиолокационной информации. — М.: Радио и связь, 1993. — 320 с.
2. Singer R. A. Estimating Optimal Tracking Filter Performance for Manned Maneuvering Targets // IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems. 1970. AES-6. N 4. P. 473–483.
3. Singer R. A. Estimating Optimal Tracking Filter Performance for Manned Maneuvering Targets // IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems. 1970. AES-6. N 4. P. 473–483.
4. Костоглолов А.А., Кузнецов А.А., Лазаренко С.В., Ценных Б.М. Совмещенный синтез адаптивного к маневру фильтра сопровождения // Радиотехника, 2015, 7. С. 95 - 103.
5. Костоглолов А. А., Костоглолов А. И., Лазаренко С. В. Объединённый принцип максимума в информационных технологиях анализа и синтеза. – Ростов-на-Дону: РАСЮРГУЭС, 2010. – 165 с.
6. Костоглолов А. А., Костоглолов А. И., Лазаренко С. В., Ценных Б. М. Метод оценки параметров движения управляемого летательного аппарата на основе объединенного принципа максимума с построением опорной траектории // Успехи современной радиоэлектроники. 2012. № 6. С. 61 – 66.
7. Лазаренко С.В. Метод синтеза оптимального управления с использованием принципа Гаусса // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2013. Т. 11. № 12. С. 37 - 43.



Кузнецов А.А., ВУНЦ ВВС «ВВА», г. Ростов-на-Дону
Пугачев И.В., ДГТУ, г. Ростов-на-Дону
Кириллов И.Е., Лященко З.В., РГУПС, г. Ростов-на-Дону

Синтез дискретных алгоритмов оценивания объединенного принципа максимума*

Введение. Причиной возникновения срыва вычислительных процедур оценивания параметров движения динамических систем является то, что в основе реализованных алгоритмов, как правило, лежат соотношения, полученные из предположений о том, что объект обладает ограниченными возможностями маневра, а координаты состояния формируются на основе кинематических моделей [1], не учитывающих реальную динамику маневров. На данный момент времени известны результаты работ, направленных на создание эффективных фильтров сопровождения маневрирующих летательных аппаратов, большая часть из которых является развитием классического Калмановского подхода [1, 2].

В настоящем докладе представляются результаты исследований альтернативного подхода к синтезу эффективных фильтров сопровождения, основанного на методологии объединенного принципа максимума (ОПМ), полученного на базе вариационных принципов [2, 3].

1. Постановка задачи. Используемая модель движения:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_s} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_s} = Q_s, \quad s = \overline{1, n}. \quad (1)$$

где q_s, \dot{q}_s – обобщенные координаты и скорости, $T = T(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})$ – кинетическая энергия системы, $Q_s(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}, \mathbf{u})$ – обобщенная сила, n – число степеней свободы.

Уравнение (2) является выражением вариационного принципа Гамильтона – Остроградского, согласно которому выполняется равенство нулю элементарного значения [2]

$$\delta' R = \int_{t_0}^{t_1} (\delta T + \delta' A) = 0, \quad (2)$$

интеграла действия $R = \int_{t_0}^{t_1} (T + A) dt$, где

$$A = \int_{q_s(t_0)}^{q_s(t_1)} \sum_{s=1}^n Q_s(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}, \mathbf{u}) dq_s$$

– работа обобщенных сил;

а вектор управления выбирается из некоторой допустимой области измеримых и ограниченных управ-

лений $\bar{G}_u: \mathbf{u} \in \bar{G}_u$.

Уравнение наблюдения имеет вид

$$\mathbf{Y}(t) = \mathbf{H}(\mathbf{q}, t) + \boldsymbol{\xi}(t), \quad (3)$$

где $\mathbf{H} = \mathbf{H}(\cdot) \in R^n$ – известная вектор – функция, $\boldsymbol{\xi} = \boldsymbol{\xi}(t) \in R^n$ – вектор случайных воздействий на канал наблюдения с известной интенсивностью.

В пространстве наблюдений введен целевой функционал

$$J_1 = \frac{1}{2} \int_{t_0}^{t_1} [\mathbf{Y}(t) - \mathbf{H}(\hat{\mathbf{q}}, t)]^T \mathbf{R}_\xi^{-1} [\mathbf{Y}(t) - \mathbf{H}(\hat{\mathbf{q}}, t)] dt, \quad (4)$$

где $\mathbf{R}_\xi \in R^{n \times n}$ – диагональная весовая матрица, характеризующая интенсивность помех в канале наблюдений, T – знак транспонирования.

Задача синтеза оценивания: определить траекторию $\hat{\mathbf{q}}(t) \in R^n$ и вектор обобщенных сил Q как функцию обобщенных координат и обобщенных скоростей $(\hat{\mathbf{q}}, \dot{\hat{\mathbf{q}}}) \in R^{2n}$, обеспечивающие минимум целевого функционала (4) при условии (2) и ограничениях на управление.

2. Синтеза дискретных алгоритмов оценивания объединенного принципа максимума

С применением методологии ОПМ к рассматриваемой задаче было получено множество обобщенных сил, доставляющих минимум (4), определяемых выражением

$$Q_s = \lambda^{-1} \left[\mu_s(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}) \dot{q}_s - R_{\xi_{ss}}^{-1} [y_s(t) - H_s(\hat{\mathbf{q}}, t)] \frac{\partial H_s}{\partial \dot{q}_s} \right], \quad (5)$$

где λ – неопределенный множитель Лагранжа, μ_s – синтезирующая функция, которая записывается в следующем виде

$$\mu_s = -\lambda \left| \frac{dp_s}{dq_s} \right| = -\lambda \left| \frac{\dot{q}_s}{L\dot{q}_s} \right|. \quad (6)$$

Пусть решается задача дистанционного зондирования потенциально опасных ситуаций при помощи дистанционно пилотируемого летательного аппарата, параметры движения которого также необходимо определять. Рассматривается движение в плоскости, когда $n=2$, а

* Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 15-08-03798 А, 15-38-20835 мол_а_вед.

$$\mathbf{y}(t) = \begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \xi_1 \\ \xi_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sqrt{x^2 + y^2} \\ \arctg\left(\frac{y}{x}\right) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \xi_1 \\ \xi_2 \end{bmatrix}. \quad (7)$$

Здесь q_1 – наклонная дальность, q_2 – азимут, а x, y – декартовы координаты.

Для динамической системы с кинетической энергией

$$T = \frac{1}{2} [a_1 \dot{q}_1^2 + a_2 \dot{q}_2^2],$$

обобщенные силы считаются неизвестными и относятся к искомым, реализующим наблюдаемое движение. Здесь a_1, a_2 – коэффициенты инерции. Тогда уравнения Лагранжа второго рода (1) в разрешенном относительно старшей производной виде

$$\ddot{q}_s = \frac{1}{a_s} Q_s, \quad s = \overline{1,2}. \quad (8)$$

Уравнения фильтра сопровождения с учетом формы синтезирующей функции, которая получена с применением метода выбранных траекторий, примут вид

$$\ddot{\hat{q}}_s = \frac{1}{\lambda a_s} \left[-\frac{|\dot{\hat{q}}_s| \dot{\hat{q}}_s}{|L_s \hat{q}_s|} - R_{\xi_{ss}}^{-1} (y_s - \hat{q}_s) \right], \quad (9)$$

где L_s – константы, определяющие форму кривой переключения на которой обобщенная сила меняет свой знак.

Использование (9) в процедуре цифровой обработки данных требует приведения этих уравнений к дискретному виду, поскольку информация о положении маневрирующей цели поступает в форме дискретных отсчетов. Тогда

$$\hat{q}_s(k+1) = 2\hat{q}_s(k) - \hat{q}_s(k-1) - \frac{1}{\lambda a_{ss}} \left[\frac{(\hat{q}_s(k) - \hat{q}_s(k-1))^2 \text{sign}(\hat{q}_s(k) - \hat{q}_s(k-1))}{|L_s \hat{q}_s(k)|} - \Delta t^2 R_{\xi_{ss}}^{-1} (y_s(k) - \hat{q}_s(k)) \right], \quad (10)$$

Где k – номер отсчета. При этом если [2]

$$\frac{\hat{q}_s(k) - \hat{q}_s(k-1)}{\hat{q}_s(k)} > 0, \quad (11)$$

то условие $\mu_s = -\frac{|\hat{q}_s(k) - \hat{q}_s(k-1)|}{L_s |\hat{q}_s(k)|} < 0$ выполняется когда

$$\hat{q}_s(k+1) = 2\hat{q}_s(k) - \hat{q}_s(k-1) - \frac{1}{\lambda a_{ss}} \left[\frac{(\hat{q}_s(k) - \hat{q}_s(k-1))^2}{L_s \hat{q}_s(k)} - \Delta t^2 R_{\xi_{ss}}^{-1} (y_s(k) - \hat{q}_s(k)) \right], \quad (12)$$

или

$$\hat{q}_s(k+1) = \frac{\hat{q}_s(k) \left(2\hat{q}_s(k) - \hat{q}_s(k-1) - (\lambda a_{ss} L_s)^{-1} (\hat{q}_s(k-1) - \hat{q}_s(k)) - \Delta t^2 R_{\xi_{ss}}^{-1} (y_s(k) - \hat{q}_s(k)) \right)}{\hat{q}_s(k) - \hat{q}_s(k-1)}. \quad (13)$$

Заключение. Результаты проведенного математического моделирования позволяют утверждать, что предложенные фильтры сопровождения на основе ОПМ на участке маневра моделируемой траектории летательного аппарата превосходят по точности α - β алгоритм и в некоторых случаях фильтр Калмана с моделью маневра Зингера при существенно меньших вычислительных затратах. В случае, когда выполняется условие знакоотрицательности синтезирующей функции алгоритм (13) в среднем обеспечивает большую точность оценивания.

Литература

1. Singer R.A. Estimating Optimal Filter Tracking Performance for Manned Maneuvering Targets. IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems, Vol. ES-6, № 4. 1970. p. 473–483.
2. Костоготов А. А., Костоготов А. И., Лазаренко С. В. Объединённый принцип максимума в информационных технологиях анализа и синтеза. – Ростов-на-Дону: РАСЮРГУЭС, 2010. – 165 с.
3. Костоготов А. А., Костоготов А. И., Лазаренко С. В., Ценных Б. М. Метод оценки параметров движения управляемого летательного аппарата на основе объединенного принципа максимума с построением опорной траектории // Успехи современной радиоэлектроники. 2012. № 6. С. 61 – 66.



Левашев С.П., Каркищенко А.Н., Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону
 Мнухин В.Б., Абраменко А.А., Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону

Использование Фурье-дескрипторов для идентификации объектов инфраструктуры по данным лазерного сканирования

Введение

На сегодняшний день распознавание объектов по данным лазерного сканирования является одним из приоритетных направлений развития интеллектуальных систем компьютерного зрения, в том числе современных системы мониторинга инфраструктуры железнодорожного транспорта. Значение таких систем постоянно возрастает в связи с продолжающимся увеличением веса составов и возрастанием скорости движения. Это приводит к необходимости эффективно и быстро решать такие технологические задачи, как

- с большой скоростью в автоматическом режиме определять пространственное положение и геометрические параметры пути, а также искусственных сооружений в полосе отвода железнодорожного пути;
- ситуационно управлять частотой и качеством мониторинга, работами по техническому обслуживанию пути и др.;
- выявлять места опасных для железнодорожного движения природных и техногенных явлений и объектов на территориях, примыкающих к железнодорожному пути, в частности, вновь образовавшиеся объекты.

Необходимость решения поставленных задач делает актуальным и востребованным разработку и исследование эффективных высокоскоростных математических и алгоритмических методов распознавания объектов инфраструктуры на основе анализа трехмерных облаков точек, получаемых в результате лазерного сканирования.

Настоящая работа посвящена рассмотрению одного из подобных методов, основанного на использовании Фурье-дескрипторов для анализа замкнутых контуров на картах глубин, получаемых путем лазерного сканирования идентифицируемого объекта.

Изложение метода

При описании метода условимся считать, что этап первичной обработки исходной информации, представляющей собой облако лазерных точек, уже выполнен. Тем самым проведена первичная фильтрация точек, а их координаты преобразованы из локальной системы, связанной со сканером, в абсолютную систему координат, удобную для дальнейшей обработки и использования. Более того, будем считать, что предварительная сегментация данных на отдельные объекты

или группы уже проведена на основе описанного в [1] подхода, сопоставляющего объекту (или группе объектов) его карту глубин.

При идентификации объектов инфраструктуры будем опираться на стандартное понимание задачи распознавания, предполагающее наличие базы эталонных объектов с характеризующими их признаками классификации. Предварительное отбрасывание заведомо неподходящих объектов проводится на основе анализа геометрических параметров сегментированного объекта (длина, высота, площадь, неравномерность глубин фронтальной части, иные элементы формы и пр.). В то же время точное распознавание объекта предполагает использование более тонких классифицирующих признаков.

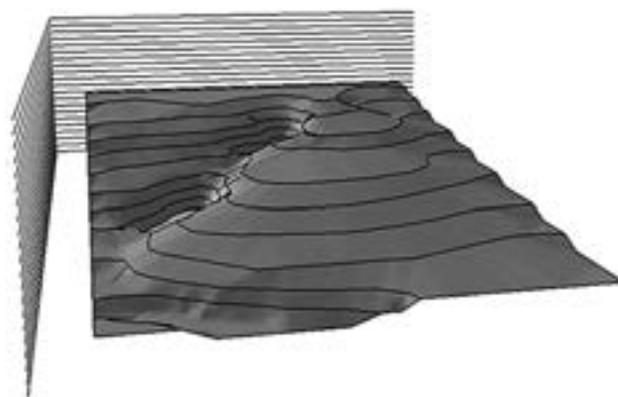


Рис.1. Получение набора контуров, характеризующих 3-D объект

В качестве таких признаков рассматриваемый подход предлагает использовать контуры, естественно возникающие в ходе выполнения алгоритма сегментации [1] при расчленении карт глубин объектов последовательностью параллельных фронтальных плоскостей. Для каждого объекта получается, таким образом, монотонная относительно расстояния от точки сканирования последовательность вложенных замкнутых кривых, подобных показанным на рис. 1. Как нетрудно заметить, эта последовательность сохраняет ряд свойств идентифицируемого объекта, что позволяет строить правдоподобные предположения о его типе. Заметим, что предварительно необходимо провести общую оптимизацию и сглаживание контуров. Один из подобных методов сглаживания предложен в [2].

Таким образом, характеризующую объект последовательность контуров, полученных в ходе лазерного сканирования, предполагается сравнивать (на основе некоторой меры сходства) с последовательностями, хранящимися в базе данных эталонных объектов. Однако установление степени их соответствия осложняется неопределенностью выбора точки сканирования, вследствие чего наблюдаемые контуры подвергаются преобразованиям сдвига, масштабирования и вращения с заранее неизвестными параметрами. Это приводит к необходимости использовать для распознавания соответствия контуров какие-либо дескрипторы, инвариантные относительно указанных видов преобразований. В настоящей работе предлагается построение меры сходства контуров на основе так называемых Фурье-дескрипторов.

Фурье-дескрипторы для сравнения контуров.

Опишем предлагаемый метод на примере построения дескриптора непрерывной замкнутой кривой, заданной параметрически. Пусть на декартовой плоскости R^2 задан контур L :

$$L: \begin{cases} x = x(t); \\ y = y(t), \end{cases}$$

где $t \in [0; 2\pi)$ - числовой параметр. Будем считать, что на L случайно заданы N точек K_1, K_2, \dots, K_N , распределенных по равномерному закону. Координаты i -й точки данной выборки обозначим через $x(t_i) = x_i, y(t_i) = y_i$, где $i = 1, \dots, N$. Рассмотрим прямые m_i , проходящие через соседние точки $K_{i-1}(x_{i-1}, y_{i-1})$ и $K_i(x_i, y_i)$ так, как это показано на рис. 2. Как очевидно, угол φ_i между прямыми m_i и m_{i+1} равен

$$\varphi_i = \arccos \frac{(x_{i+1} - x_i)(x_{i+2} - x_{i+1}) + (y_{i+1} - y_i)(y_{i+2} - y_{i+1})}{\sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2} \sqrt{(x_{i+2} - x_{i+1})^2 + (y_{i+2} - y_{i+1})^2}}$$

где $i = 1, \dots, N$, и

$$x_{N+1} = x_1, x_{N+2} = x_2, y_{N+1} = y_1, y_{N+2} = y_2.$$

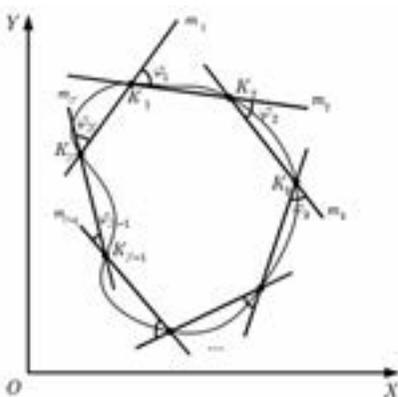


Рис.2. Формирование массива углов

Пусть $\vec{q}_i = (x_{i+1} - x_i, y_{i+1} - y_i)$ - направляющий вектор прямой m_i такой, что $\|\vec{q}_i\| = |K_i K_{i+1}|$ и пусть

$$\ell_i = \sum_{j=1}^i \|\vec{q}_j\|$$

- наращиваемые длины ломаных K_0, K_1, \dots, K_i , причем условимся, что $\ell_0 = 0$, а ℓ_N - общая длина ломаной, вписанной в контур L . Определим на интервале $[0, \ell_N]$ следующую кусочно-постоянную функцию:

$$\varphi(\ell): \begin{cases} \varphi_1, \ell_0 < \ell \leq \ell_1 \\ \varphi_2, \ell_1 < \ell \leq \ell_2 \\ \vdots \\ \varphi_N, \ell_{N-1} < \ell \leq \ell_N \end{cases}$$

где значения φ_i определены выше. Продолжая $\varphi(\ell)$ по периодичности на всю числовую ось, разложим её в ряд Фурье:

$$\varphi(\ell) \sim \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} \left(a_n \cos \frac{2\pi n \ell}{\ell_N} + b_n \sin \frac{2\pi n \ell}{\ell_N} \right),$$

где, как нетрудно показать, коэффициенты a_0, a_n, b_n имеют вид:

$$a_0 = \frac{2}{\ell_N} \sum_{i=1}^N \varphi_i (\ell_i - \ell_{i-1}),$$

$$a_n = \frac{1}{\pi n} \sum_{i=1}^N \varphi_i \left(\sin \frac{2\pi n \ell_i}{\ell_N} - \sin \frac{2\pi n \ell_{i-1}}{\ell_N} \right),$$

$$b_n = \frac{1}{\pi n} \sum_{i=1}^N \varphi_i \left(\cos \frac{2\pi n \ell_i}{\ell_N} - \cos \frac{2\pi n \ell_{i-1}}{\ell_N} \right).$$

Для заданного целого n , обозначим через

$$\vec{d}(L) = (a_1 \quad b_1 \quad \dots \quad a_n \quad b_n)^T$$

вектор из первых n коэффициентов ряда Фурье функции $\varphi(\ell)$. Как очевидно, он инвариантен относительно сдвигов контура на плоскости, а в силу периодичности $\varphi(\ell)$ - и от выбора начальной точки K_1 . Далее, изменение направления обхода контура влияет только на знаки коэффициентов b_i , что легко отслеживается. Наконец, если число N достаточно велико, вектор $d(L)$ практически не зависит от выборки K_1, K_2, \dots, K_N точек разбиения и оказывается инвариантным относительно преобразований вращений и масштабирования. Учитывая сказанное выше, условимся называть $d(L)$ Фурье-дескриптором контура L .

Отметим, что характеризующая способность Фурье-дескриптора существенно зависит от оптимального выбора параметра N . Действительно, она падает при малом числе точек разбиения; в то же время при большом N на функцию $\varphi(\ell)$ начинают влиять случайные шумы и артефакты процесса сглаживания контура. Как показали результаты экспериментов, целесообразно брать $N = l/m$, где l - общее число пикселей на кон-

туре после его оптимизации, а $m=5\div 10$ в зависимости от характера сканируемого объекта. Наконец, быстродействие рассматриваемого метода зависит от длины n вектора $d(L)$, то есть от числа коэффициентов в частичной сумме ряда Фурье функции $\varphi(\ell)$. Как следует из приводимых выше формул, эти коэффициенты имеют порядок малости n^{-1} ; проведенные эксперименты показали удовлетворительную характеризующую способность Фурье-дескриптора уже при $n=20\div 50$.

Задание инвариантной меры близости на наборах контуров

Ключевым этапом процесса идентификации объекта является его сравнение с эталонами базы данных на основе некоторой инвариантной меры близости. Один из подходов к построению подобной меры был рассмотрен ранее в [2-4]. Предполагается, что база данных объектов, подлежащих классификации, содержит для каждого из них ряд наборов эталонных изображений контуров, получаемых при сечении объекта плоскостями, перпендикулярными к оси сканирования. Расстояние между последовательными плоскостями предполагается фиксированным, а соответствующие контуры — упорядоченными таким образом, что начальный контур соответствует минимальному расстоянию от точки сканирования до объекта. Будем считать, что эталонные контуры заданы в векторном формате, позволяющем проводить их масштабирование. Кроме того, для каждого из объектов предполагаются известными параметры, позволяющие найти оптимальное число N точек разбиения контуров.

Пусть (E_k) – последовательность контуров эталонного объекта E базы данных, а (L_k) – наблюдаемая последовательность контуров некоторого объекта C , построенная по результатам лазерного сканирования. Поскольку расстояние между последовательными секущими плоскостями считается фиксированным, можем считать, что для заданного k контуры E_k и L_k соответствуют одной и той же секущей плоскости. Тогда при $E=C$ эти контуры можно, пренебрегая эффектами перспективы, считать совпадающими с точностью до масштабирования, сдвига и вращения. Проведем масштабирование эталонного контура так, чтобы получаемый в результате контур имел бы ту же площадь, что и наблюдаемый контур. В качестве меры близости d_k контуров возьмем норму разности их Фурье-дескрипторов:

$$d_k = \| d(L_k) - d(E_k) \|,$$

где норма понимается в обычном евклидовом смысле. Наконец, меру близости $d(E,C)$ объектов E и C введем как взвешенное среднее величин d_k . Необходимость использования взвешенного среднего связана с различной информативностью отдельных частей

объекта. Классификация объекта проводится путем нахождения эталона E , наиболее близкого к C по введенной мере близости.

Заключение

Для проверки эффективности предложенного подхода был проведен ряд экспериментов с помощью лазерного сканирующего устройства ArtecEva3D Scanner [5]. С его помощью проводилось сканирование моделей железнодорожной инфраструктуры (зданий, цистерны, башни) в масштабе 1:50. Обработка полученных данных производилась в пакете Matlab и включала в себя следующие этапы: непосредственное сканирование модели, первичная фильтрация и оптимизация полученных данных, их сегментация и выделение контуров, сравнение контуров с помощью Фурье-дескрипторов, нахождение меры близости и классификация модели.

На рис. 3 приведены некоторые из анализируемых объектов Числа напротив условного названия объекта означают количества лазерных точек. Результаты сравнения объекта box с объектами из базы данных (box1, box2, cyl1, cyl2) показан в в табл. 1. Как следует из приведенных данных, наиболее близким к box оказывается объект box1.

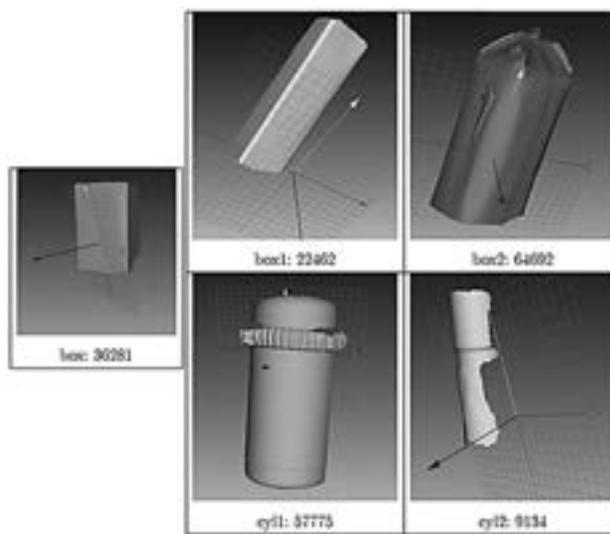


Рис.3. Сравнение объекта box с объектами из базы

Таблица 1: Результаты сравнения объекта box с эталонными объектами

ОБЪЕКТ ИЗ БАЗЫ	box1	box2	cyl1	cyl2
МЕРА БЛИЗОСТИ	0.8876	0.6482	0.3971	0.4763

Заметим, что практическая реализация предложенного подхода для мобильного лазерного сканирования должна учитывать вариации меры близости при изменении расстояния от сканируемого объекта, что может быть проведено путем использования байесовых статистик.

Литература

1. Каркищенко А.Н., Мнухин В.Б., Абраменко А.А., Гречухин И.А., Левашев С.П. Сегментация объектов инфраструктуры по данным лазерного сканирования // Интеллектуальные системы на транспорте: Материалы IV международной научно-практической конференции «Интеллект-Транс-2014». СПб: ПГУПС, 2014. – С. 134-141.
2. Каркищенко А.Н., Мнухин В.Б., Абраменко А.А., Гречухин И.А., Левашев С.П. Распознавание объектов железнодорожной инфраструктуры по данным лазерного сканирования // Труды III научно-технической конференции с международным участием «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование (ИСУЖТ-2014)». М.: ОАО «НИИАС», 2014. – С. 193-196.
3. Левашев С.П., Абраменко А.А. Анализ изображений сравнением замкнутых контуров с помощью Фурье-дескрипторов // Фундаментальные и прикладные аспекты компьютерных технологий и информационной безопасности. Сборник статей I Всероссийской научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. Ростов-на-Дону: Издательство ЮФУ, 2015. – С. 37-40.
4. Абраменко А.А., Левашев С.П. Распознавание объектов по данным мобильного лазерного сканирования на основе метода моментов // Фундаментальные и прикладные аспекты компьютерных технологий и информационной безопасности. Сборник статей I Всероссийской научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. Ростов-на-Дону: Издательство ЮФУ, 2015. – С. 12-15.
5. Artec Eva 3D Scanner. — См. <http://www.central-scanning.co.uk/pdf/Artec-Eva-3D-Scanner-Product-Specifications.pdf>.



Бондаренко А.Г., Приазовский ГТУ, г. Мариуполь, Украина

Контроль транспорта средствами ОС Android

В условиях изменения ресурсов транспорта в Приазовье задачи контроля его состояния для решения административных, хозяйственных, общественных вопросов актуальны и имеют тенденцию выражать устремления граждан и предприятий. Информационные среды сети, программных продуктов, устройств разработчикам позволяют эффективно совместно охватить потребности в инновациях и довести их до воплощения в сервис предприятий, организаций, учреждений на фоне рационализации перевозок, развития транспортных средств, совершенствования транспортной инфраструктуры.

Изменения, что описывают окружающую среду, смоделируем средствами Android для транспорта, чтобы избежать критических ситуаций с обеспечением, снабжением, защитой сопутствующим, зависимым явлениям. Очевидно, что закономерности природного, технологического характера лишь схематически отражают поведение системы, конгломерации, потоков,

отнодь не без претензии на исследования как источников зарождения, так и погашения информационных, финансовых, товарных, грузовых, пассажирских потоков.

В таком совмещении прослеживаются интересы при наличии возможностей охвата противоречивых явлений, поэтому представляется разумным использование динамической операционной системы Android и ее продуктов. Следует понимать, что разработка этого программного продукта основывается на наиболее распространенных Windows и Unix, нами выбрана среда Ubuntu, которая широко распространена от Европы до Африки.

Адаптация к нарастающим и затухающим товарным потокам требует учета не лишь объемов, но и сроков, а значит режимов движения, вибрации. Спорным остается вопрос о значимом воздействии вибрации от трубопроводного, на автомобильном, водном транспорте, на магнитном подвесе, и лишь железнодо-

рожный транспорт стабильно и массово имеет существенные показатели амплитуды и частоты колебаний. Рельсовый городской транспорт общедоступен и мы имеем возможности измерять его колебания, обрабатывать приемы взаимодействия с информационной средой, устройствами BIOS, аппаратными средствами, программным кодом.

При формировании базы данных использовали Android Studio, IntelliJIDEA, Eclipse mars, которые адресовали клиентов через свободные игровые порты на comuniquehomut, berii.com, Gradle помогло компилировать, ADT и AVD соединяли с библиотеками. Представление приложения на устройствах Tablet, HTC предполагают надеяться на дальнейшее продвижение на обще применимом снаряжении.

Таким образом сформирован подход для адаптации к сложившимся обстоятельствам в юго-восточной части страны в целях оценки и реализации таких устремлений как восстановление легкой, пищевой, машиностроительной промышленности. Это позволит своевременно реагировать на конфликты, снижать риск их последствий отвлекая ресурсы на производственную деятельность, пример тому частичное задействование мощностей концерна «Азовмаш», восстановление хлебопекарен.

Важно продолжить удержание ситуации экономической стабильности, обеспечивая транспортные связи между предприятиями при форс-мажорных обстоятельствах, привлекая партнеров для участия в управлении громадами. Перекладывание части такой работы на программный продукт способствует его проникновению через транспорт в технологию взаимодействия промышленности, торговли, связи, энергетики, строительства.

При создании объектов альтернативной энергетики, космических комплексов, металлургических и

машиностроительных подразделений обеспечение бархатным путем уместно и востребовано, но сбои и простои слишком затратны. Поэтому началом регионального проекта служит создание мягкого софта для обеспечения комфортной езды.

Подбор на виртуальных машинах устройств по операционным системам, фирмам, оснащенности делаем гибким, полномасштабным. Так как расчеты трудоемкости показывают, что доля проверки, отладки, продвижения значительна, то мы ограничились virtualbox, eclair релизом, предполагая, что apple более удобно.

Из перечисленных выше факторов влияния на транспорте в настоящее время актуальным есть приобретение запасных частей для тепловозов, водоснабжения с целью вывоза продукции, обеспечения материалами, сырьем действующих предприятий, проектирования рельсобалочного цеха под 100-150 метровые рельсы с камерой контроля поверхности в поляризованном свете. Это изменит инфраструктуру региона путем восстановления пути пострадавшего от конфликта и укладки второй нитки для сейчас основного перегона.

Критериями успешной работы при внедрении программного продукта, изменения парка подвижного состава, модернизации структуры сети будет рост интенсивности использования, повышение доходности, привлекательности, комфорта. При взаимодействии с автомобильным, морским транспортом региона можно прогнозировать повышение безопасности железнодорожного транспорта.

Уверенность в положительных результатах основана на управлении из единого координационного центра, который в тоже время является источником основных грузопотоков региона, донором транспорта финансированием и помощью в обеспечении квалифицированными кадрами, разработкой долгосрочных программ.



СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ №1	3	<i>Захарова Е.М., Минашина И.К., Такмазьян А.К., Алтунин В.П.</i>	Планирование и прогноз содержания тягового подвижного состава для обеспечения перевозочного процесса	37
УПРАВЛЕНИЕ ПЕРЕВОЗОЧНЫМ ПРОЦЕССОМ, ПЛАНИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПЕРЕВОЗОК				
<i>Матюхин В.Г.</i>		<i>Такмазьян А.К., Рябых Н.Г., Матвиенко В.А., Стешкин В.И.</i>	Мультиагентное решение задачи о суточном планировании назначения локомотивных бригад на явку в депо с помощью метода аукционов	42
Интеллектуальные системы для железнодорожного транспорта. Опыт и перспективы	3			
<i>Ефремов Г.А., Ефремова А.П.</i>		<i>Гайнанов Д.Н., Кибзун А.И., Иванов С.В., Осокин А.В.</i>	Модель оптимального назначения локомотивов при формировании грузовых составов.....	45
Интеллектуальное диспетчерское управление на новых полигонах. Реализация управляющих функций ИСУЖТ	6			
<i>Белоусов А.А., Скобелев П.О., Степанов М.Е., Ефремов Г.А., Курбатов Е.В.</i>		<i>Тарасов М.В., Хоботов Е.Н., Кузнецова А.Ю., Шавин М. Ю.</i>	Построение расписаний движения грузовых поездов в железнодорожной сети	48
Особенности мультиагентного планирования движения поездов на однопутных участках в реальном времени на примере Невельского участка и Байкало-Амурской магистрали	10			
<i>Еремин А.С.</i>		<i>Капустин Н.И., Фрольцов В.Д., Капустина Е.П.</i>	Технологическая архитектура принципов управления тяговыми ресурсами на железных дорогах ВП и их реализация в ПТК ИСУЖТ (восточный полигон)	52
Автоматизация разработки нормативного графика движения поездов на однопутных полигонах	14			
<i>Андросюк К.В.</i>		<i>Давыдов Б. И.</i>	Стохастическое моделирование потока поездов при решении задач диспетчерского управления	56
Построение нормативного графика движения пассажирских поездов, пригородных поездов и грузовых поездов, следующих специализированным расписанием	21			
<i>Лазарев А.А., Тарасов И.А., Мусатова Е.Г., Хуснуллин Н.Ф.</i>		<i>Осьминин А.Т., Бадецкий А.П.</i>	Многоагентная система расчета адаптивного плана формирования поездов	61
Алгоритмы построения расписаний движения поездов между двумя станциями на однопутной железной дороге	24			
<i>Рябых Н.Г., Матюхин В.Г., Шабунин А.Б.</i>		<i>Архипов Д.И., Лазарев А.А.</i>	Алгоритмы формирования составов и доставки грузов между железно- дорожными станциями	66
Сравнительный анализ алгоритмов решения задачи о прикреплении тяговых ресурсов к поездам	28			
<i>Григорьев Ф.Н., Горбачев Р.А., Кузнецов Н.А.</i>		<i>Феофилов А.Н.</i>	Интеллектуальное управление парком вагонов оператора подвижного состава	69
Математическая модель движения вагонов и метод оценки координат	31			
<i>Макарова Е.А.</i>		<i>Бодюл В.И., Феофилов А.Н.</i>	Процессная модель сменно-суточного планирования работы оператора подвижного состава	74
Информационно-аналитическое обеспечение процессов моделирования пассажирских транспортных потоков	34			

<i>Клепов А.В., Шабунин А.Б.</i> Единая онтология ИСУЖТ. Компонентный подход 78	СЕКЦИЯ №2 113 УПРАВЛЕНИЕ ИНФРАСТРУКТУРОЙ. СПУТНИКОВЫЕ И ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В УПРАВЛЕНИИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ
<i>Аверченков Е.О., Данько С.В.</i> Актуальные задачи модернизации системы управления движением поездов Московского метрополитена 83	<i>Розенберг И.Н., Дулин С.К.</i> Моделирование семантики в структуре геоинтероперабельности 113
<i>Дмитриев Д.В.</i> Создание механизмов взаимодействия «подвижной состав – АСДУ» для решения задач управления движением поездов метрополитена 90	<i>Розенберг Е.Н.</i> Приоритет российских технологий при организации высокоскоростного движения 118
<i>Суворов Д.В.</i> Проект «Паспорт объектов железнодорожной инфраструктуры», как интеграционная платформа для создания систем управления реального времени 93	<i>Бутакова М.А., Гуда А.Н., Ковалев С.М., Чернов А.В.</i> Методы синтеза темпоральных слабоструктурированных графовых баз данных в интеллектуальных системах управления на транспорте 120
<i>Панин В.В., Залуцкий М.И., Рубцов Д.В., Прокофьева Е.С.</i> Сквозная технология организации перевозочного процесса как инструмент снижения эксплуатационных расходов железных дорог 96	<i>Замышляев А.М., Шубинский И.Б., Игнатов А.Н., Кан Ю.С., Кибзун А.И., Платонов Е.Н.</i> Методика вычисления вероятности столкновения пассажирского поезда с маневровым составом на железно- дорожной станции 124
<i>Тимченко В.С.</i> Оценка возможности освоения прогнозируемых объемов перевозок грузов морского порта методом имитационного моделирования процессов железнодорожных перевозок 98	<i>Дубинский С.И., Казарян Н.А., Шамшурун А.И.</i> Численное моделирование аэродинами- ческих воздействий высокоскоростного и магнитно-левитационного транспорта на инфраструктуру 128
<i>Рахмангулов А.Н., Осинцев Н.А., Юань Т.</i> Комплексный подход к созданию интеллектуальных транспортных систем на промышленных предприятиях 102	<i>Гуда А.Н., Храмов В.В., Ковтун О.Г.</i> Модель коррекции координат подвижных объектов транспорта по дополнительным источникам информации 132
<i>Рубцов Д.В., Галкин А.О.</i> Актуальные особенности разработки и автоматизации плана формирования грузовых поездов и маршрутов 108	<i>Бородин А.Ф.</i> О гармонизации развития и использования железнодорожной инфраструктуры и перевозочных ресурсов 135
<i>Такмазьян А.К., Шелудяков А.В.</i> Мультиагентное решение методом аукционов многопродуктовой транспортной задачи с объединенными потребностями 110	<i>Обухов А.Д.</i> Интеллектуализация процессов управления на сортировочной станции 140
	<i>Белоусов А.А., Старков Ю.В., Никищенков С.А.</i> Перспективы развития АСУ контейнерных площадок дирекций по управлению терминально-складскими комплексами с применением мультиагентных технологий 142

<i>Юренко К.И.</i> Математическое моделирование интеллектуальных бортовых систем управления и автоведения ЭПС	143	<i>Кузнецов А.А., Пугачев И.В., Кириллов И.Е., Лященко З.В.</i> Синтез дискретных алгоритмов оценивания объединенного принципа максимума	176
<i>Астрахан В.И., Кисельгоф Г.К.</i> Функции интеллектуального бортового комплекса (ИБК) системы управления и обеспечения безопасности движения поездов (СУОДП) при решении задач оперативного планирования и управления в ИСУЖТ	146	<i>Левашев С.П., Каркищенко А.Н., Мнухин В.Б., Абраменко А.А.</i> Использование Фурье-дескрипторов для идентификации объектов инфраструктуры по данным лазерного сканирования	178
<i>Оськина М.А., Сергеев Б.С.</i> Расширение функциональных возможностей светодиодных светофоров	150	<i>Бондаренко А.Г.</i> Контроль транспорта средствами ОС Android	181
<i>Свиридов В.В., Шевчук Л.И.</i> Комплексная система управления и диагностики на базе пульта машиниста УПУ для электропоезда ЭГ2Тв	153		
<i>Шаров С.В., Егоров А.А.</i> Особенности прицельного торможения электропоезда ЭД4М	156		
<i>Несенюк Т. А.</i> Применение RFID-технологий для совершенствования контроля изоляторов и защитных устройств от перенапряжений	160		
<i>Харитонов И.В.</i> Повышение безопасности движения подвижного состава за счет динамически изменяемой диаграммы направленности излучения лобового прожектора	162		
<i>Волынская А.В.</i> Оценка эффективности адаптивного накопления сигналов при разных характерах изменения уровня помех	166		
<i>Абраменко А.А., Каркищенко А.Н., Мнухин В.Б., Левашев С.П.</i> Распознавание железнодорожных объектов и инженерных сооружений по облаку точек на основе алгебраических инвариантов	168		
<i>Залесков А.С., Лященко З.В., Пугачев И.В., Лазаренко С.В.</i> Исследование безударного алгоритма терминального управления с фиксированным временем	172		
<i>Костоглотов А.А., Лященко З.В., Кириллов И.Е., Полубояринов П.С.</i> Исследование эффективности адаптивного алгоритма оценивания процессов с регулярными возмущениями	174		

ТРУДЫ
четвертой научно-технической конференции с международным участием
Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте.
Компьютерное и математическое моделирование.
ИСУЖТ-2015

Общая редакция сборника трудов конференции

доктор технических наук
Матюхин В.Г.,

доктор технических наук
Строгонов В.И.

Дизайн, компьютерная верстка
Терёшкин С.Б., Фесенко А.В.

Подписано в печать 22 декабря 2015 г. Формат 60x90½
Гарнитура Миньон Про. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 21. Тираж 120 экз. Заказ № _____

Открытое акционерное общество
«Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт
информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте»
ОАО «НИИАС»
Дочернее общество ОАО «РЖД»

Россия, 109029, Москва, Нижегородская ул., 27, стр. 1
Тел./факс: +7 (495) 967-77-02
E-mail: isuzht@vnias.ru

www.vnias.ru