

УДК 656.078
ББК 39.2, 32.973

ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ НА ОСНОВЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ И АНАЛИЗА ДАННЫХ МОНИТОРИНГА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ КОМПАНИИ ОАО «РЖД»

**Ахметзянов А. В.¹, Бахтадзе Н. Н.², Власов С. А.³,
Девятков В. В.⁴, Максимов Е. М.⁵**
(ФГБУН Институт проблем управления РАН, Москва)

Предложены методы поддержки принятия решений по управлению производственными процессами и бизнес-процессами ОАО «РЖД» на основе динамического интеллектуального прогнозирования показателей, имитационного моделирования и параллельных вычислений. Рассмотрена возможность применения методов радиочастотной идентификации (RFID-технологий, Radio Frequency Identification) для интеллектуального анализа данных перевозочного процесса.

Ключевые слова: интеллектуальный анализ производственных данных, прогнозирование, имитационные приложения, иерархическое моделирование, параллельные вычисления.

¹ Атлас Валиевич Ахметзянов, кандидат технических наук, заведующий лабораторией (atlas@ipu.ru).

² Наталья Николаевна Бахтадзе, доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией (sung7@yandex.ru).

³ Станислав Александрович Власов, кандидат технических наук, старший научный сотрудник (savlas@yandex.ru).

⁴ Владимир Васильевич Девятков, кандидат технических наук, директор ООО «Элина-компьютер» (Vladimir@elina-computer.ru).

⁵ Евгений Михайлович Максимов, кандидат технических наук, старший научный сотрудник (taxfone@ipu.ru).

1. Введение

С 2001 г. на железнодорожном транспорте реализуется Программа структурной реформы, утвержденная Правительством Российской Федерации в мае 2001 г.

В соответствии со «Стратегией инновационного развития ОАО «Российские железные дороги» на период до 2015 года» («Белая книга ОАО «РЖД»») и «Стратегией развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации на период до 2030 г.» [3] продолжается работа по совершенствованию системы управления ОАО «РЖД» с целью создания условий для повышения эффективности работы, особенно в области сокращения издержек. Проводится разработка интеллектуальной системы управления компанией на современных принципах и управления основными бизнес-процессами компании по ключевым показателям эффективности. Актуально совершенствование управления перевозочным процессом и развитие транспортной логистики. Предусматривается системная интеграция современных информационных и коммуникационных технологий и средств автоматизации в транспортную инфраструктуру [8]. В этой связи целесообразным представляется создание Системы поддержки принятия решений по управлению в разнообразных аспектах деятельности компании.

Инновационное управление пассажирским и грузовым перевозочным процессом должно осуществляться на основе анализа данных глобального мониторинга в едином информационном пространстве по перемещению пассажиров, грузов (товаров) на территории России и за ее пределы железнодорожным видом транспорта, а также прогнозирования в динамике разнообразных показателей, прежде всего – объемов перевозок.

Для минимизации издержек, увеличения объема перевозок, улучшения их качества, повышения пропускной и провозной способности железных дорог требуется детальное исследование всех особенностей поездной работы и перевозочного процесса. В этом аспекте обретает практическую важность создание Системы поддержки принятия управленческих решений на основе

динамической интеллектуальной обработки и анализа данных мониторинга деятельности компании на железнодорожных станциях, в отделениях дорог, управлениях дорог, в специализированных департаментах ОАО «РЖД», а также динамическая корректировка формируемых расписаний. Система должна охватывать все аспекты управленческой деятельности и характеризоваться широкой функциональной направленностью. Она предоставит также возможность оперативно оценивать, моделировать и прогнозировать коммерческую загрузку поездов с учетом динамики ситуаций (в том числе изменения конъюнктуры рынка). Предполагается, что все подсистемы будут иметь возможность автоматического и/или интерактивного взаимодействия с Интеллектуальной системой управления компании.

При разработке такой системы актуальным представляется использование интеллектуальных алгоритмов идентификации и управления с прогнозирующей моделью; методов и алгоритмов имитационного моделирования; современных вычислительных методов и методов обработки информации на базе параллельных вычислений.

2. Система поддержки принятия решений по управлению производственными процессами ОАО «РЖД»

В рамках разработки Системы поддержки принятия управленческих решений необходимо в темпе соответствующих производственных процессов решать, прежде всего, следующие задачи:

1. Разработка интеллектуальных методов прогнозирования объема перевозок на основе исследования динамики перевозочных процессов. Для прогнозирования показателей, характеризующих эффективность расписания, могут быть использованы интеллектуальные алгоритмы, основанные на построении виртуальных моделей, и процедуры ассоциативного поиска [11]. При разработке алгоритмов ассоциативного поиска используются методы нечеткой логики и нечеткого управления. Предло-

женные методы моделируют в реальном времени динамику поведения человека-оператора и используют формализацию знаний, как технологических, так и экспертных.

2. Разработка алгоритмов принятия решений по управлению эффективностью формирования и динамической корректировке расписаний на основе динамических прогнозирующих моделей перевозочных процессов. Алгоритмы представляют собой адаптивные алгоритмы на основе так называемых *обратных* моделей [2].

3. Разработка имитационных микро- и макро-моделей поездной работы и перевозочных процессов. Разработка методов создания имитационных приложений (комплекса имитационных моделей и программ, обеспечивающих интерфейс пользователя с моделью). Данное приложение предназначено для прогноза и анализа перевозочных процессов на выбранном полигоне сети железных дорог большой размерности (диспетчерского круга, направления, отделения дороги и т.д.) и должно обеспечивать исследование полигона на значительных по времени интервалах (от нескольких дней до года). Методы предоставляют возможность лицу, принимающему решение, с высоким быстродействием получить варианты возможных результатов управленческих воздействий [5].

4. Разработка методов создания программного приложения (комплекса идентификационных моделей и программ, обеспечивающих интерфейс пользователя с моделью) «Система поддержки принятия решений» для «Системы анализа и оптимизации расписания» ОАО «РЖД» [4].

В настоящее время в системе управления транспортной сетью РЖД многие операции могут выполняться независимо друг от друга и не требуют постоянной синхронизации. При этом разбиение на подзадачи определяется структурой пространственно-временных связей между отдельными подразделениями РЖД, обладающими характерными особенностями внутренних и внешних связей [1]. Это позволяет использовать иерархические принципы моделирования с многоуровневой декомпозицией на параллельные подсистемы. Например, можно разделить

системы планирования (расписания) региональных перевозок, оставив временные и транспортные коридоры для федеральных перевозок. Аналогично можно решать параллельно задачи минимизации времени реформирования составов на каждой узловой станции, и т.п.

Исходной проблемой решения задач планирования и оперативного управления является сбор информации, условий, ограничений и технических требований. Для решения многочисленных задач управления и транспортной логистики необходимо большое количество массивов производственных данных, среди которых, в первую очередь, должны быть представлены:

- общая структура РЖД и иерархия внутренних и внешних связей подразделений РЖД;
- структура грузовых и пассажирских потоков;
- характеристики локомотивов и вагонов;
- характеристики вспомогательной техники;
- количество локомотивных бригад и обслуживающего персонала;
- личные предпочтения работников РЖД;
- структура и скорость работы сортировочных узлов;
- приоритеты для грузового и пассажирского сообщения;
- инфраструктура железных дорог (пути, разъезды, сортировочные узлы).

Учитывая сложность системы, для комплексного и всестороннего ее исследования, целесообразно разработать комплекс разнообразных имитационных моделей. Они должны характеризоваться определенной функциональностью (управление движением, технология работ, бизнес-процессы), масштабами (станция, диспетчерский круг, район управления, дорога) и другими параметрами. Работы по использованию метода имитационного моделирования для анализа перевозочных процессов в ОАО «РЖД» активно проводятся в течение нескольких лет рядом организаций. В частности, существенные результаты по моделированию перевозочных процессов в последние годы достигнуты ВНИИАС и ЗАО «ИнтехГеоТранс» [9]. В частности,

разработан и внедрен комплекс имитационных моделей станции и участка.

В рамках создания подсистемы предлагается разработка моделей, симулирующих работу станции и участка более детализировано («микромодели»). Используемый уровень детализации позволяет достичь очень высокой степени адекватности модели и представить в ней весь процесс с максимальной реалистичностью.

Однако, с учетом очень большого объема вычислений и в аспекте определенных задач управления, необходима разработка моделей макро-уровня поездной и перевозочной работы более крупных элементов сети железных дорог ОАО «РЖД»:

- от моделирования полигонов, содержащих такие объекты, как «станция – участок», необходимо перейти к моделированию полигонов содержащих большее количество объектов, например, «станция – участок – направление – отделение дороги – дорога»;
- от анализа работы полигона в течение одной или нескольких смен перейти к анализу полигона за месяц, квартал или год.

3. Система анализа и динамической корректировки расписания

С учетом множества аспектов и направлений управленческой деятельности компании, Система поддержки принятия управленческих решений должна содержать ряд подсистем, функционирующих на основе единого информационного пространства. Одной из таких подсистем должна стать Система анализа и динамической корректировки расписания ОАО «РЖД».

Основной функцией подсистемы является поддержка управления движением поездов на участке и маневровой работой, что обеспечит поддержку решений, направленных на устранение затруднений в продвижении вагонопотоков и отклонений от технических нормативов.

Система обеспечит динамическую поддержку работы Системы диспетчерского управления в автоматическом режиме для

совершенствования организации движения поездов и использования резервов, в частности, позволит осуществлять в автоматизированном режиме:

- уменьшение продолжительности стоянки поездов на раздельных пунктах;
- изменение порядка и пунктов скрещения, и обгона поездов;
- перераспределение вагонного и локомотивного парков в соответствии с меняющейся ситуацией;
- регулирование погрузки по времени, направлениям и роду подвижного состава;
- перераспределение локомотивных бригад.

Необходимые сведения поступают в систему диспетчерского управления со станций и от машинистов локомотивов с перегонов участка, а также из автоматизированных систем, фиксирующих информацию о месте, времени и причине задержки поезда, информацию о подходе поездов и вагонов и сложившейся обстановке на каждом стыковом пункте, оповещения об отказе технического средства и т. д.

Система поддержки принятия решений для оперативного диспетчерского управления перевозочным процессом должна включать в себя алгоритм обработки сигналов, имитационную модель, базу данных и алгоритм принятия решений. Алгоритм обработки сигналов, используя имитационную модель, передает в базу данных информацию об отклонениях от нормативов по различным показателям, а алгоритм принятия решений связан с корректировкой совокупности расписаний. Основу алгоритма принятия решений составляет имитационная модель, которая определяет влияние причин отклонений с заданной точностью. Рассчитывается оценка возможных минимальных потерь чистой прибыли финальной совокупности расписаний. Оценка рассчитывается на основе линейной регрессионной модели. Модель включает в качестве взвешенных слагаемых «управляемые» и «неуправляемые» факторы финансовых потерь.

Будет осуществляться поддержка принятия решений по корректировке формирования плана движения поездов и макси-

мально быстрого введения опоздавших поездов в график – в случае его нарушения – на базе оперативного (за смену и сутки) анализа эксплуатационной работы железнодорожной сети, отделений и станций и формирования прогноза по ключевым показателям. Будет определяться в динамике степень соответствия установленным нормам, причины отклонения от них и формирование рекомендаций по исправлению положения.

Динамическая корректировка выполнения планов перевозок осуществляется на базе прогнозирования показателей объема и качества эксплуатационной работы, таких как:

- соблюдение графика движения, выполнение плана перевозок и плана формирования поездов;
- работа участка: сумма погруженных и принятых груженых вагонов, сумма выгруженных и сданных груженых вагонов;
- реализация технической, участковой и маршрутной скоростей движения поездов;
- показатели эффективности использования подвижного состава, в частности:
 - оборот локомотива (продолжительность обслуживания им одной пары поездов на участке, т.е. промежуток времени с момента выдачи локомотива под поезд до момента выдачи его под следующий поезд);
 - продолжительность выполнения отдельных операций: движение на перегонах, простои на промежуточных станциях, нахождение на станциях смены бригад, в пунктах оборота и на станции приписки и т.д.;
 - среднесуточный пробег локомотивов;
 - число вагонов, груженых за сутки;
 - оборот вагона (время, затрачиваемое на выполнение законченного цикла его работы – от погрузки до погрузки или от выгрузки до выгрузки вагона) и среднесуточный пробег.

Прогнозирование осуществляется на основе интеллектуальных алгоритмов моделирования динамики перевозочного процесса.

Логистика работы локомотивных бригад с учётом изменяющихся производственных потребностей должна быть осуществлена на основе создания комплекса программ имитационных моделей, обеспечивающих интерфейс пользователя с Подсистемой динамической поддержки диспетчерского управления.

Планируется разработка имитационных приложений (комплекса имитационных моделей и программ, обеспечивающих интерфейс пользователя с моделью). Приложения будут осуществлять анализ динамики перевозочных процессов на выбранном полигоне и должны обеспечивать исследование полигона на различных по времени интервалах (от нескольких дней до года).

Планируется разработка имитационных приложений, которые будут осуществлять проверку фактической возможности (с учетом оперативных изменений ситуации) применения рекомендаций оптимизационной системы, выявлять незапланированные резервы, оперативно регулировать расписание работы локомотивных бригад.

Сформулированные задачи хорошо разделяются на взаимосвязанные или параллельные подзадачи. При такой декомпозиции достигается адекватность иерархической модели и обеспечивается возможность эффективного многоуровневого распараллеливания обработки исходной информации и вычислительных алгоритмов решения рассматриваемых в проекте задач большой размерности (транспортного типа, целочисленного программирования, теории расписаний и распределения ресурсов на сетях и др.). Благодаря оптимальному вложению процессов обработки данных и вычислительных алгоритмов достигаются решения рассматриваемых в проекте конкретных задач за требуемое на практике реальное время. Для оценки результатов работы полученных алгоритмов будут использованы значения абсолютной погрешности целевой функции и трудоёмкости, полученные на основе интерполяционных полиномов Лагранжа и сплайн-функций.

Для решения поставленных в проекте задач будут использоваться современные эффективные методы программирования в ограничениях (*Constraint programming*), методов кластерного

анализа (*Data Clustering*), целочисленного программирования, графического и интерполяционного подходов.

Для различных задач поддержки управления будут исследованы различные варианты постановок. Будут разработаны иерархические методы их решения с оптимальным многоуровневым вложением алгоритмов в архитектуру распределенных сетей МВС (многопроцессорные вычислительные системы) с использованием программных средств распараллеливания вычислений (*MPI, OpenMP, OpenCL, CUDA*).

Качественно новыми подходами к аналитической поддержке управленческих решений, предоставляемой в темпе производственного процесса, являются:

- интеллектуальные методы прогнозирования объема перевозок на основе исследования динамики перевозочных процессов;

- алгоритмы принятия решений по управлению эффективностью формирования расписаний на основе динамических прогнозирующих моделей перевозочных процессов;

- методы разработки имитационных приложений (комплекса имитационных моделей и программ, обеспечивающих интерфейс пользователя с моделью) для прогноза и анализа перевозочных процессов на выбранном полигоне сети железных дорог большой размерности;

- иерархическое моделирование с многоуровневым разбиением на подсистемы;

- методы и алгоритмы решения задач теории расписаний на основе графического и интерполяционного подходов с многоуровневым оптимальным вложением параллельных вычислений в архитектуру распределённых МВС;

- методы, позволяющие строить приближённые решения с гарантированной абсолютной погрешностью целевой функции и оценкой объёма вычислений.

4. Анализ в режиме реального времени экономической эффективности формируемых расписаний

В соответствии с принятыми декабре 2008 г. «Концепцией и Программой внедрения спутниковых технологий в основную деятельность ОАО «РЖД» на период до 2015 г.», совершенствование функционирования подразделений, управляющих пассажирским и грузовым перевозочным процессом, должно осуществляться на базе информационного взаимодействия участников производственных процессов на железнодорожном транспорте.

Основу управления пассажирским и грузовым перевозочным процессом должен составлять не только глобальный мониторинг по перемещению пассажиров и грузов, но и оперативный анализ, а также прогнозирование объемов перевозок.

С помощью спутниковых систем ГЛОНАСС/*GPS* и информационных сервисов высокоточной координатной системы предоставляется информация о дислокации и параметрах движения пассажирских и грузовых поездов, включая специальные и опасные грузы, а также специальных самоходных подвижных средств [10].

В рамках Системы поддержки управленческих решений необходим интеллектуальный анализ технологических данных, поступаемых с разнообразных датчиков, расположенных на контролируемых стационарных и подвижных объектах. С этой целью могут быть использованы технологии *RFID* (*Radio Frequency Identification*, радиочастотной идентификации), обеспечивающие возможность получения более подробной информации о перемещаемых пассажирах и грузах в режиме реального времени по сравнению с представляемыми данными в ЕСМА – Единой системе мониторинга и администрирования сетей связи ОАО «РЖД».

На основе аналитической интеллектуальной обработки этой информации на основе оригинальных нелинейных адаптивных алгоритмов будет не только обеспечено более эффективное управление бизнес-процессами, но и сокращение издержек

контроля пассажиро- и грузопотоков, снижение затрат на транспортировку и дистрибуцию, сокращение издержек на ремонты путей и подвижного состава, издержек на хранение задерживаемых грузов, формирование сквозных транспортно-логистических услуг и т.д.

Результаты среднесрочного прогнозирования могут быть также использованы для гибкой корректировки тарифной политики.

В итоге может быть создана Подсистема анализа и оптимизации доходов ОАО «РЖД» на основе анализа в режиме реального времени экономической эффективности формируемых расписаний. Система будет осуществлять также оперативную поддержку принятия управленческих решений коммерческой направленности.

В процессе выполнения расписаний происходят потери планируемой компанией-перевозчиком прибыли за счет многочисленных управляемых и неуправляемых факторов. Целью оперативного управления перевозками является удержание этих потерь в заданных пределах.

5. Заключение

Предложенные в настоящей работе методы разработки систем поддержки принятия решений для интеллектуального управления производственными и бизнес-процессами ОАО «РЖД» основаны на интеграции прогнозирования различных технологических показателей в темпе соответствующих производственных процессов, симулирования возможных результатов управленческих решений и современных методов параллельных вычислений. Предложенный подход актуален, в частности, для обеспечения высокоэффективного оперативного диспетчерского управления, основанного на мультиагентных технологиях управления.

Литература

1. АХМЕТЗЯНОВ А.В. *Декомпозиция и распараллеливание задач моделирования и оптимального управления многосвязными системами* // Труды V Международной конференции «Параллельные вычисления и задачи управления» РАСО'2010. – М.: ИПУ РАН, 2010. – С. 487–496.
2. БАХТАДЗЕ Н.Н., ЛОТОЦКИЙ В.А. *Современные методы управления производственными процессами* // Проблемы управления. – 2009. – №3. – С. 56–64.
3. *Стратегия инновационного развития ОАО «Российские железные дороги» на период до 2015 года.* – URL: <http://doc.rzd.ru/doc/err403>. (дата обращения 23.07.2012).
4. ВЛАСОВ С.А., ДЕВЯТКОВ В.В., ДЕВЯТКОВ Т.В. *Реализация концепции распределенных приложений с использованием среды GPSS World* // Труды второй научной конференции «Автоматизация в промышленности». – М.: Институт проблем управления, 2008. – С. 201–203.
5. ВЛАСОВ С.А., ГЕНКИН А.Л., НИКУЛИНА И.В., ВОЛОЧЕК Н.Г., КРАВЦОВ С.В. *Имитационное моделирование – средство анализа и синтеза автоматизированных технологических комплексов (АТК) металлургического производства* // Труды Международной научно-практической конференции «Информационные технологии в образовании, науке и производстве». – Серпухов, 2008 г. – С. 515–517.
6. ВЛАСОВ С.А., ДЕВЯТКОВ В.В., ДЕВЯТКОВ Т.В. *Язык моделирования GPSS World и системы автоматизации имитационных исследований: опыт применения и перспективы использования* // Труды четвертой всероссийской научно-практической конференции «Имитационное моделирование. Теория и практика», ИММОД-2009. – СПб: ОАО «Центр технологии судостроения и судоремонта», 2009. Т. 1. – С. 11–18.
7. ВЛАСОВ С.А., ДЕВЯТКОВ В.В., ДЕВЯТКОВ Т.В. *Универсальная моделирующая среда для разработки имитацион-*

- ных приложений // Информационные технологии и вычислительные системы. – 2009. – №2. – С. 5–12.*
8. ГАПАНОВИЧ В.А., РОЗЕНБЕРГ И.Н. *Основные направления развития интеллектуального железнодорожного транспорта // Железнодорожный транспорт. – 2011. – №4. – С. 5–11.*
 9. ДУЛИН С.К., КАЛИНИН С.В., УМАНСКИЙ В.И. *Интеллектуальная поддержка принятия решений в управлении движением поездов // Сб. докладов научной сессии МИФИ-2008. – 2008. – Т. 10. – С. 53–54.*
 10. ДУХИН В.С. *Системы высокоточного координатного обеспечения железнодорожного транспорта на базе спутниковых систем ГЛОНАСС/GPS // Сб. тр. научно-практической конференции ОАО «РЖД» Комплексная система содержания инфраструктуры ОАО «РЖД». Инфраструктура-2009. – М.: Интекст, 2009. – С. 114–116.*
 11. ЛОТОЦКИЙ В.А., МАКСИМОВ Е.М., ВАЛИАХМЕТОВ Р.Т., БАХТАДЗЕ Н.Н. *Модели ассоциативного поиска в производственных системах // Автоматизация в промышленности. – 2007. – №10. – С. 19–21.*

MANAGEMENT DECISION SUPPORT BASED ON INTELLECTUAL PROCESSING AND ANALYSIS OF OPEN JOINT STOCK COMPANY “RUSSIAN RAILWAYS” MONITORING DATA

Atlas V. Akhmetzyanov, Trapeznikov Institute of Control Sciences of RAS, Moscow, PhD., head of the laboratory (Profsoyuznaya st., 65, Moscow, Russia, atlas@ipu.ru).

Natalia N. Bakhtadze, Trapeznikov Institute of Control Sciences of RAS, PhD., professor, head of the laboratory (Profsoyuznaya st., 65, Moscow, Russia, +7 (495) 3349201, sung7@yandex.ru).

Stanislav A. Vlasov, Trapeznikov Institute of Control Sciences of RAS, Moscow, PhD., senior researcher (Profsoyuznaya st., 65, +7 (495) 3348759, savlas@yandex.ru).

Vladimir V. Devyatkov, “ELINA COMPUTER” Ltd., PhD., director (Sechenov Street, 17, office 314, Kazan, Tatarstan, Russia +7 (843) 2737804, Vladimir@elina-computer.ru).

Evgeny M. Maximov, Trapeznikov Institute of Control Sciences of RAS, Moscow, PhD., senior researcher (Profsoyuznaya st., 65, Moscow, Russia, +7 (495) 3349201, maxfone@ipu.ru).

Abstract: We suggest decision support techniques for production control and business process management of Open Joint Stock Company “Russian Railways”. The techniques are based on the indices’ dynamic predictive forecasting, simulation, and parallel computing. Potential of Radio Frequency Identification Technology (RFID) application for data mining in the transportation process is discussed.

Keywords: intellectual analysis of production data, dynamic predictive forecasting, simulation, hierarchical modeling, parallel computing.