

КОНЦЕПЦИЯ СОЗДАНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ СИТУАЦИОННОГО РЕАГИРОВАНИЯ И ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ СОВРЕМЕННОЙ РОССИИ¹

С.М. Авдошин,

профессор, руководитель отделения программной инженерии, заведующий кафедрой управления разработкой программного обеспечения Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», академик Всемирной академии наук комплексной безопасности

М.С. Горбатовский,

директор по развитию бизнеса в финансовой отрасли ООО «ИБМ Восточная Европа/Азия»

А.В. Чернов,

директор по развитию бизнеса в транспортной отрасли ООО «ИБМ Восточная Европа / Азия»

Адрес: г. Москва, ул. Кирпичная, д. 33/5

E-mail: savdoshin@hse.ru, mikhail.gorbatovskiy@ru.ibm.com, alexander.chernov@ru.ibm.com

Предлагается архитектура и компоненты модели создания интеллектуальной системы ситуационного реагирования и безопасности на транспортной инфраструктуре на основе методов и алгоритмов обработки потоковых первичных данных и строительства распределённой системы сбора и анализа данных из разнородных источников. Предлагается архитектура прогнозирования и принятия решений в режиме реального времени на сверхбольших объемах данных, а также подход к динамической оптимизации расписаний на железнодорожной инфраструктуре.

Ключевые слова: обработка потоков данных, ситуационное реагирование, динамическая оптимизация, прогнозирование по поведенческим шаблонам, сети датчиков.

¹ Статья подготовлена в рамках государственного контракта № 07.514.11.4039 на выполнение научно-исследовательских работ по теме: «Исследование и разработка инновационных комплексных моделей интеллектуальной системы ситуационного реагирования и контроля безопасности железных дорог современной России», проводимых по федеральной целевой программе «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2013 годы».

1. Проблематика современных железных дорог

Современные мировые тенденции свидетельствуют о глобализации и интеграции ключевых областей человеческой деятельности. Сегодня мы живем на разумной планете — развивающейся комплексной системе, которая делает окружающий мир все более доступным, интегрированным и управляемым. Научно-технический прогресс способствует росту технологической оснащенности человеческой деятельности, а тенденции к глобализации и интеграции приводят к появлению взаимосвязей и постоянных коммуникаций между всеми отраслями экономики.

Транспорт является основной коммуникационной инфраструктурой, обеспечивающей человеческую деятельность. Рост населения, повышение его мобильности и глобализация экономики повышает зависимость от транспорта. Железные дороги занимали и продолжают занимать наибольшую долю растущего рынка перевозок и поэтому должны быть наиболее тесно интегрированы в мировую экономику и социальную сферу.

О значимости железных дорог свидетельствуют следующие цифры:

- ◆ По железным дорогам ежегодно перевозится около 10 миллиардов тонн грузов и 21 миллиард пассажиров.

- ◆ В предкризисные годы мировой рынок железнодорожных перевозок рос в среднем на 9%.

- ◆ Железные дороги от 2 до 5 раз эффективнее автомобильного и авиационного транспорта (один литр условного топлива может переместить тонну груза на 190 километров). При этом пассажирские путешествия по железным дорогам приводят к выбросам CO₂ в 3-10 раз меньше по сравнению с автомобильными или авиационными путешествиями.

Сегодня железные дороги стоят перед глобальной проблемой, которая заключается в росте потребностей в перевозках при высокой загруженности существующей инфраструктуры, недостаточной гибкости и операционной эффективности, а также структурных ограничениях. В нынешних условиях достигнут предел возможностей экстенсивного развития, что становится узким местом в развитии экономики. Наступает время изменений подходов к развитию, в которых на первое место выходят оптимизация, рационализация и интеллектуализация.

Как применить понятия интеллекта и интеллектуализации к информационным системам и поддерживаемой ими системе управления компанией?

Интеллектуальные железные дороги представляют собой технологически оснащенную систему, компоненты которой тесно взаимодействуют между собой в едином информационном пространстве, что позволяет улучшать операции и осуществлять проактивное управление деятельностью за счет того, что вся необходимая и свежая информация для принятия решений находится «под рукой». Проактивность (предупреждение, прогнозирование, своевременность) — это основная черта интеллектуальной деятельности [4]. Такие железные дороги могут претендовать на место центрального, интегрирующего звена экосистемы, в которую входят различные транспортные операторы и их логистическая инфраструктура, интермодальные перевозчики, клиенты и представительства власти.

В современных условиях интеллектуализация железных дорог становится насущной задачей не только благодаря появлению технических возможностей для улучшения эффективности деятельности, но во многом благодаря ожиданиям общества от транспортной отрасли, которые сегодня реализуются лишь с помощью инновационных подходов.

2. Какими будут железные дороги в недалеком будущем?

Как будут выглядеть железные дороги будущего? «Интеллект» железных дорог будет проявляться в следующем:

- ◆ Маршруты, расписание и графики движения динамически регулируются за счет анализа факторов спроса, погодных, сезонных и инфраструктурных условий.

- ◆ Задержки поездов снижаются, а безопасность услуг возрастает благодаря системам, своевременно идентифицирующим проблемы и поломки.

- ◆ Возрастает средняя скорость движения и объем перевозок без существенных капитальных вложений за счет анализа операций и результатов деятельности, а также эффективного управления активами.

- ◆ Возрастает прозрачность и эффективность интермодальных перевозок за счет модернизации, стандартизации и интеграции систем различных операторов.

✧ Пассажиры и клиенты грузовых перевозок могут гибко управлять своими действиями на протяжении всего цикла транспортировки, пользуясь доступными и стандартными каналами получения интегрированного набора услуг.

Ряд решений, способствующих повышению «интеллекта» системы управления, успешно используются в железнодорожных компаниях ряда стран. Развиваются беспроводные системы мониторинга, позволяющие отслеживать положения подвижного состава и грузов, корректность эксплуатационной работы, а также насыщенность пассажиропотоков в транспортных сетях. Внедряются системы оплаты проезда в городском и пригородном железнодорожном транспорте с использованием единых транспортных карт, при этом собираемые данные о поездках помогают пассажирам выбирать оптимальные маршруты движения. Применяются аналитические средства для динамического управления расписанием и движением, что позволяет сокращать объемы условного топлива и организовывать высокоскоростные пассажирские маршруты. Разрабатываются решения по предоставлению интегрированных сервисов для пассажиров и посетителей вокзальных комплексов, что способствует развитию основного и смежного бизнесов, а также росту лояльности пассажиров. Устанавливаются средства интеллектуального видеонаблюдения на вокзалах и крупных станциях, которые способствуют улучшению операционной деятельности и повышению безопасности.

Основными факторами интеллектуализации являются технологическая оснащенность, тесное взаимодействие компонент и вытекающая из этого проактивность управления [4]:

- Повышение технологической оснащенности железных дорог поможет собирать необходимую информацию для взаимодействия компонент системы железных дорог в едином информационном пространстве:

- Сенсоры и средства анализа событий, связанных с подвижным составом и инфраструктурой.

- Интеллектуальные средства видеонаблюдения на вокзалах, станциях и логистических терминалах.

- Мобильные средства отслеживания состояния и нахождения грузов.

- Взаимодействие компонент системы железных дорог, основанное на интенсивном и управляемом

обмене информацией, позволит осуществлять более взвешенное и оптимальное управление:

- Решения для оперативного управления (ситуационные центры и риск-анализ), анализа пассажиропотоков, динамического управления расписанием и оптимизации использования подвижного состава.

- Решения для совместной деятельности различных операторов на высокоскоростных пассажирских линиях.

- Интеграция информационных сервисов для клиентов грузовых перевозок, пассажиров и посетителей вокзальных комплексов.

- Проактивность управления, базирующаяся на своевременном получении и анализе необходимой информации, технологическое оснащение и организация взаимодействия компонент создадут все предпосылки для повышения эффективности управления [5]:

- Средства многофакторного анализа исполнения графиков движения.

- Решения для управления жизненным циклом производственных активов.

- Решения для анализа грузовых и пассажирских потоков с оптимизацией маршрутов движения.

Перечисленные направления качественного преобразования железнодорожной отрасли – это путь к интеграции железных дорог в глобальную экономику и приобретению ими долгосрочного конкурентного преимущества. Интеллектуализация железнодорожной отрасли – это реальность сегодняшнего дня. Во многих странах – США, Китай, Япония, Франция – развивается высокоскоростное движение, для организации которого необходима не только хорошая железнодорожная инфраструктура, но и механизмы управления информацией на качественно новом уровне – чем выше скорость, тем больше факторов, которые необходимо принимать в расчет при управлении, тем быстрее надо принимать решения и тем серьезнее ответственность за возможные ошибки. Также применяются средства управления производственными активами, позволяющие оптимизировать использование вагонного парка, и системы динамического управления движением и расписанием – например, на железных дорогах Нидерландов применяется система, позволяющая ежедневно управлять расписанием 5000 пассажирских поездов, перевозящих около 1 000 000 пассажиров по расписанию, которое динамически изменяется при учете более чем 50 000

факторов. Наконец, в ряде развитых европейских стран и в Великобритании успешно зарекомендовали себя решения для обслуживания пассажиров на всем цикле поездки.

Процесс интеллектуализации железных дорог – это пошаговое внедрение и интеграция технологических инноваций в различных областях деятельности, от управления движением и управления активами до обслуживания клиентов и пассажиров с последующим выстраиванием проактивной системы управления. Интеллектуализация является долгосрочной инициативой и как ключевой ориентир должна поддерживаться стратегическими решениями высшего руководства железнодорожной компании. Принятие таких решений должно основываться на понимании следующих вопросов:

- ◆ Можем ли мы сегодня измерять и анализировать качество и результаты операций, чтобы использовать эту информацию для принятия своевременных и эффективных решений?
- ◆ Достаточно ли гибкой является наша деятельность, чтобы соответствовать меняющимся требованиям клиентов и пассажиров?
- ◆ Можем ли мы планировать использование и ремонт наших активов, исходя из реальной потребности в этих активах и их реального состояния?
- ◆ Можем ли мы в реальном времени отслеживать состояние и местонахождение вагонов и грузов?
- ◆ Получают ли наши пассажиры интегрированный и удобный в управлении набор услуг, помогающий им на протяжении всего цикла поездки?
- ◆ Являются ли наши информационные системы технологически развитыми и интегрированными в той мере, чтобы обеспечить внутренние коммуникации, а также внешнее взаимодействие с другими участниками отрасли?
- ◆ Насколько справедливы наши предположения о конкурентоспособности компании в различных сегментах рынка?

3. Примеры интеллектуальных подходов к информатизации железных дорог

Интеллектуальный подход к информатизации на железных дорогах востребован сегодня для поддержки деятельности ситуационных центров, которые должны своевременно (в режиме, приближенном к реальному времени) получать необходимые разнородные первичные данные по операционной деятельности, сопоставлять эти данные, оценивать

уровни рисков тех или иных наступивших или ожидаемых событий и своевременно осуществлять необходимые действия. В масштабах страны речь идет о сверхбольших объемах данных, поступающих в распределенную систему в режиме реального времени [2]. Как правило, для этого нужно знать:

- ◆ Актуальные координаты поездов, находящихся в пути, и маршруты их следования.
- ◆ Техническое состояние локомотивов и вагонов, сведения о владельцах вагонов.
- ◆ Ситуацию на перегонах, по которым движутся поезда.
- ◆ Ситуацию на станциях по ходу следования и их технических возможностях.
- ◆ Необходимые сведения о перевозимых грузах и их владельцах.

Постоянно собирая множество таких первичных данных и анализируя их «на лету», информационная система ситуационного центра идентифицирует повышенный риск в следующем гипотетическом случае:

- Грузовой состав перевозит цистерны с опасным грузом и движется со скоростью 80 км/ч.
- На одной из платформ обнаружена неисправность, которая при таком режиме движения может привести к аварии (например, нарушена геометрия размещения цистерны на платформе или зафиксирован чрезмерный нагрев букса колесной пары).
- На ближайшей станции находится вагонное депо, которое может выполнить необходимые ремонтные работы.

Анализ этих данных «на лету» и применение к этим данным определенных правил, настроенных в информационной системе, позволяет инициировать в автоматическом режиме следующие действия:

- Отправить локомотивной бригаде сообщение о неисправности и необходимости снизить скорость до 40 км/ч.
- Отправить сообщение диспетчеру станции по ходу движения поезда о неисправности, указав номер вагона.
- Отправить сообщение владельцу вагона и владельцу груза о возникшей ситуации.

Другой областью, где востребован интеллектуальный подход к информатизации на железных дорогах, является деятельность грузового перевозчика, который получает заявки на грузовые перевозки

и стремится оптимизировать свою эксплуатационную работу по этим заявкам, снижая порожний пробег вагонов. В самом общем случае для этого надо принимать в расчет:

■ Содержание заявок на грузовые перевозки (какой тип груза, когда, откуда и куда следует перевезти).

■ Актуальное и прогнозируемое на некоторое время вперед состояние вагонного парка (какой вагон, в каком техническом состоянии, в каком статусе и где находится).

■ Правила эксплуатационной работы, тарифы и ограничения по перевозкам различных видов грузов.

Располагая информацией по поступающим заявкам на грузовые перевозки и сопоставляя эти заявки с актуальными сведениями о вагонах, информационная система оценивает различные варианты исполнения заявок и предлагает оптимальное решение. Предположим, в упрощенном случае, что:

◆ Поступила заявка перевезти со станции А сыпучий груз, который может уместиться при соблюдении нормативов перевозки в двух полувагонах. Для соблюдения сроков доставки необходимо начать перевозку не позднее, чем через два дня.

◆ На станции А имеется один свободный полувагон, находящийся в пригодном техническом состоянии, несколько полувагонов, находящихся в вагонном депо станции на ремонте, который закончится через неделю, и несколько свободных полувагонов, находящихся на станции Б в двух днях пути.

◆ На станцию А через день прибудет состав, в котором имеется один порожний полувагон, который готов к погрузке данного сыпучего груза. Состав будет расформировываться и проследует дальше на следующий день.

Анализируя различные варианты исполнения заявки, информационная система предлагает разместить половину груза в свободном полувагоне, который уже находится на станции А, затем дожидаться прибытия на станцию второго полувагона и разместить в нем оставшуюся часть груза, после чего отправить груз в срок с составом, в котором пришел второй свободный полувагон.

Перечисленные усилия способствуют повышению средней скорости и объемов железнодорожных перевозок, их безопасности и качества обслуживания клиентов железных дорог.

4. Какие программные платформы необходимы для интеллектуальной информатизации?

Реализация описанного выше интеллектуального подхода к информатизации железных дорог как крупных хозяйствующих субъектов требует сбора и обработки сверхбольших объемов данных в потоковом режиме, приближенном к реальному времени [1, 3]. Крупные вендоры, понимая данную тенденцию, инвестируют в разработку методик и создание решений для интеллектуализации железных дорог, а также в разработку программно-аппаратных платформ для высокопроизводительных вычислений на сверхбольших объемах разнородных данных, помогая железнодорожным компаниям внедрять инновационные средства для качественного преобразования отрасли.

Соответствующие программные платформы классифицируются по трем уровням:

◆ *Уровень операционного управления* требует принятия правильных решений в режиме, приближенном к реальному времени. Этой задачей занимаются ситуационные центры, и на сегодняшний день во многих железнодорожных компаниях они используют устаревшие технологии — телефонную связь, факсограммы и периодические отчеты из различных информационных систем. При таком подходе основная нагрузка по обработке данных и принятию решений ложится на людей, что повышает риски операционной работы. Снизить эти риски позволяют программные платформы, позволяющие обрабатывать сверхбольшие объемы разнородных первичных данных в потоке (без использования технологии хранилищ), сопоставлять эти данные на основе определенных бизнес-правил, определять уровни рисков и должным образом реагировать на возникающие ситуации, вовлекая людей лишь в случае необходимости [7]. Наиболее зрелыми, по мнению авторов, в техническом и коммерческом плане являются платформы IBM Infosphere Streams [6], технология на основе открытого кода StreamBase и технология Sybase Aleri. При этом первичные данные могут поступать из самых различных источников: датчиков технического состояния вагонов, систем линейного уровня, систем управления коммерческой деятельностью и даже тех же факсограмм.

◆ *Уровень тактического управления* требует поиска оптимальных вариантов решения часто возникающих типовых задач. Этой задачей занимаются

специалисты по управлению вагонным хозяйством, когда требуется сформировать пассажирский состав или исполнить заявки на грузовые перевозки с минимальными издержками. На сегодняшний день такие задачи решаются, как правило, путем целевых приписок вагонов к регулярным составам и маршрутам, а при возникновении неплановых ситуаций к решению задачи подключаются люди: запрашиваются отчеты по актуальному расположению резервных вагонов, уточняются прогнозы по ремонтам вагонов, актуализируются статусы используемых вагонов и прогнозы по разгрузке требуемых вагонов, после чего принимается решение, не учитывая все возможные варианты. Повысить качество таких решений позволит программная платформа, позволяющая формировать математические модели определенных участков деятельности, выполнять имитационное моделирование при различных вариантах решения задачи и находить оптимальное решение. В промышленных системах, решающих задачи оптимизации, наиболее широко используется технология IBM iLog Optimization на базе математических библиотек CPLEX и методов программирования по ограничениям CP. Важно понимать, что имитационное моделирование выполняется на основе тех же первичных данных, которые используются на уровне операционного управления, поэтому комплекс тактического управления должен представлять собой «надстройку» поверх комплекса операционного управления, а соответствующие программные платформы должны интегрироваться друг с другом.

✧ **Уровень стратегического управления** требует выработки планов деятельности на основе качественных прогнозов и различных видов анализа. Этой задачей занимается руководство компании, и для ее решения требуется глубокое понимание грузовых и пассажирских потоков, их динамики и тенденций. Традиционно такие задачи решаются путем создания аналитического комплекса, работающего поверх хранилищ данных, но во многих практических случаях наблюдается проблема полноты, достоверности и своевременности первичной информации, что сказывается на качестве аналитических отчетов и прогнозов. Повысить качество аналитической работы и решения задач планирования деятельности позволят программные платформы бизнес-аналитики (BI – business intelligence), которые обладают широким спектром аналитических инструментов и хорошо интегрируются с решениями для операционного управления, что позволяет успешно решать проблемы с первичными данными [5].

Высокоуровневое представление интеллектуального подхода к построению архитектуры программного комплекса, решающего описанные задачи, авторы схематично представили на *рис. 1*.

Потоковая обработка сверхбольших объемов данных выполняется на вычислительном кластере на базе аппаратной платформы x86 серверов производства Intel, IBM, Hitachi и др. Обработка потоков данных с датчиков и систем линейного уровня производится в оперативной памяти путём выполнения различных операций над потоком – матема-

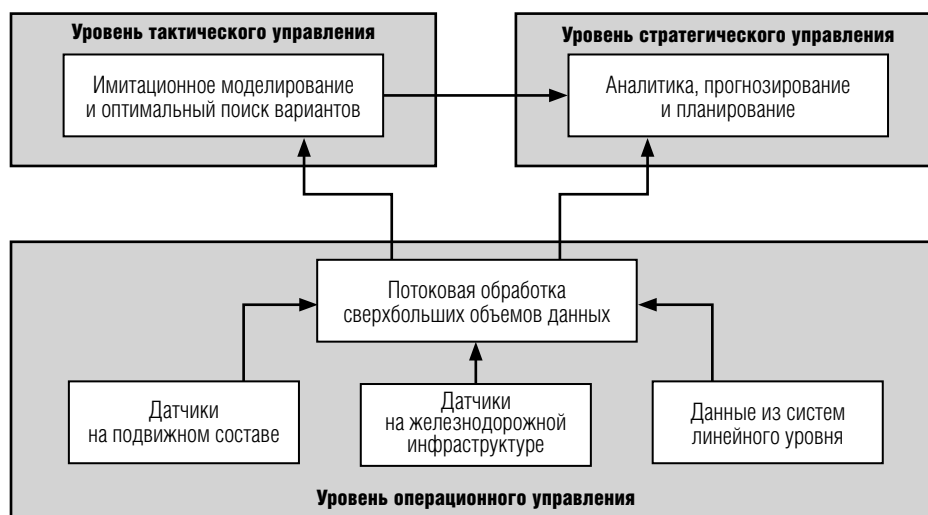


Рис. 1. Интеллектуальный подход к построению архитектуры программного комплекса.

тических, логических, операций типов join и split, синхронизации потоков во времени и др. Выполнение вычислений в оперативной памяти позволяет в десятки раз повысить их производительность и соответственно снизить стоимость транзакции.

Наиболее зрелой по функциональности, надёжной и высокопроизводительной является технология IBM Infosphere Streams, способная в отличие от большинства обработчиков дискретных событий (CEP-engines), таких как StreamBase, Oracle CEP, Progress Arama, WBE, обрабатывать на одной платформе как дискретные события, так и потоковое видео, аудиопоток, текст и пространственно-локационные данные. Поток результатов обработки на выходе из системы может быть помещён в файл, базу данных, интеграционную шину, отправлен по протоколу TCP/IP или UDP. Это позволяет построить территориально распределённую систему и организовать обработку больших объемов первичных данных на линейном уровне станций, подъездных путей, отдельных объектов и предприятий, тем самым не загружать каналы связи несущественной информацией.

Компонент оптимизации и имитационного моделирования содержит в виде графа статическую модель сети железных дорог и объектов инфраструктуры, а также свойства этих объектов, различные параметры и атрибуты. Системы транспортной инфраструктуры, содержащие информацию о движении поездов, заявках на пассажирские и грузоперевозки, на ремонты и обслуживание и другие данные, наполняют систему имитационного моделирования динамической информацией о текущем и планируемом расписании движения, ремонтов, погрузок/разгрузок. Применяя набор математических библиотек и инструментов параллельных расчетов на вычислительном кластере система проводит оптимизацию по одному из выбранных критериев.

Одной из редких технологий, поддерживающей оптимизацию в промышленных масштабах для крупных предприятий и параллельные расчеты, является iLog OPL. ILOG OPL, и в частности о IBM ILOG CP Optimizer, который предназначен для эффективного моделирования и решения практических задач планирования. Данное программное обеспечение является новым шагом программирования в ограничениях, показывающее эффективную работу в задачах составления расписания, а также некоторых задач комбинаторной оптимизации, которые не могут быть легко линеаризованы и достаточно трудны в решении традиционными методами математического программирования.

Основным преимуществом подхода, используемого в CP Optimizer, является то, что для временных промежутков используются специальные переменные, что заметно сокращает количество неизвестных по сравнению с методами математического программирования. Поэтому такая временная детализация используется для описания ограничений модели, которая может быть сформулирована и решена более эффективно.

Роль системы потокового анализа первичных данных на уровне операционного управления, интегрированной с системой имитационного моделирования и оптимизации, заключается в данном случае в предоставлении команды о необходимости пересчёта расписания. Это требуется в случае возникновения аварии или её признаков на одном из узлов транспортной сети, изменения в приоритетах заказов, необходимых для динамической оптимизации расписания.

Аналитику, прогнозирование и планирование на уровне стратегического управления целесообразно выполнять с использованием специализированного ПО, позволяющего организовать цикл аналитического процесса: планирование исследования, сбор данных, всесторонний анализ с использованием математического аппарата ПО до отчетности и распространения результатов. Решение этих задач выполняется на базе промышленных технологий исследования данных (data mining), таких как IBM SPSS, SAS, R. Технологии исследования данных выполняют аналитические (читай OLAP) операции с хранимыми данными в пакетном режиме.

Для выполнения процедуры анализа данных системы потокового анализа должны сначала наполнить хранилище данных информацией, соответствующей требованиям системы прогнозирования. Далее в офф-лайн режиме выполняется изучение данных с применением как универсальных методов анализа – анализ связей между переменными, параметрические и непараметрические методы, регрессии, общие линейные модели и т.д., так и специальных – методов временных рядов, прогнозирования количественных и категориальных исходов, моделирование сложных взаимосвязей, нейронные сети. Получив результаты анализа данных, мы переводим их в модель исследования данных и прогнозирования, а также создаем в визуальном инструментарии автоматические задания, поддерживающие процесс принятия решения [3].

Запуск заданий по исследованию данных и принятию решений по подготовленным алгоритмам реализуются в двух вариантах:

◆ задания, сформированные в системе прогнозирования и анализа данных, выгружаются в формате языка разметки для прогнозного моделирования PMML, а затем запускаются в системе обработки потоковых данных. Это позволяет выполнять обнаружение аномалий, прогнозирование и прочую аналитику в режиме реального времени с низкими задержками;

◆ задания реализуются на хранимой информации в пакетном режиме (например, ночью или на выходных), когда требуется дополнительный и углублённый анализ исторической информации. Это используется, например, когда требуется повысить качество модели или автоматически обновить её с учётом новых факторов.

Заключение

Таким образом, при правильном выборе и развитии современных программных платформ появляется реальная возможность решения актуальных задач крупных железнодорожных компаний, ведущих многопрофильную и масштабную деятельность. Усложнение этих задач в условиях инфраструктурных ограничений и рост потребностей в перевозках требует новых, интеллектуальных подходов к информатизации, и применение таких подходов является на сегодняшний день не опцией, а неизбежностью, диктуемой сложившимися реалиями. Сегодня успешная информатизация становится ключевым фактором конкурентоспособности транспортных компаний. ■

Литература

1. Antonopoulos N. Handbook of Research on P2P and Grid Systems for Service-Oriented Computing: Models, Methodologies, and Applications. – IGI Global, 2010.
2. Bizarro P., Chandy M.K., Stojanovic N. Event processing grand challenges // DEBS 2011.
3. Yang L., Guo M. High-Performance Computing: Paradigm and Infrastructure. – John Wiley & Sons, 2006.
4. Koyuncugil A.S., Ozgulbas N. Surveillance Technologies and Early Warning Systems: Data Mining Applications for Risk Detection. – NY: Hershey, 2011.
5. Richardson J. Need for Speed Powers In-Memory Business Intelligence. – Gartner Research, 2011.
6. Foster K., Spicer M., Nathan S. IBM Infosphere Streams: Assembling Continuous Insight in the Information Revolution. – San Jose, California: International Technical Support Organization, 2011.
7. Buchmann A., Hinze A.M. Principles and Applications of Distributed Event-Based Systems. – NY: IGI Global, 2010.