

УДК 656.073 + 656.22

ББК 39.2

**РАЗРАБОТКА РАСПРЕДЕЛЕННОЙ
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
ГРУЗОВЫМИ ПЕРЕВОЗКАМИ В РЕАЛЬНОМ
ВРЕМЕНИ**

Шабунин А.Б.¹,

(ОАО «НИИАС», Москва)

Кузнецов Н.А.²,

(Учреждение РАН Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, Москва)

Скобелев П.О.³,

(Учреждение РАН Институт проблем управления сложными системами РАН, Самара)

Бабанин И.О.⁴, Кожевников С.С.⁵, Симонова Е.В.⁶,

Степанов М.Е.⁷, Царев А.В.⁸

(ООО «НПК «Разумные решения», Самара)

¹ Александр Борисович Шабунин, руководитель центра компетенций по средствам разработки (*a_shabunin@hotmail.com*).

² Николай Александрович Кузнецов, доктор технических наук, советник (*kuznetsov@cplire.ru*).

³ Петр Олегович Скобелев, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник (*petr.skobelev@gmail.com*).

⁴ Иван Олегович Бабанин, ведущий разработчик (*babanin@gmail.com*).

⁵ Сергей Сергеевич Кожевников, директор аналитического центра (*Kozhevnikovss@gmail.com*).

⁶ Елена Витальевна Симонова, кандидат технических наук, ведущий аналитик (*Simonova.Elena.V@gmail.com*).

⁷ Максим Евгеньевич Степанов, разработчик (*multinodus@gmail.com*).

⁸ Александр Вячеславович Царев, Генеральный директор (*at@anarun.net*).

В работе предлагается сетевый подход к созданию интеллектуальных систем управления ресурсами подразделений сортировочной станции железной дороги. Разработаны принципы построения сетевых интеллектуальных систем для согласованного планирования ресурсов станции в реальном времени, позволяющие интегрировать автономные мультиагентные планировщики отдельных подразделений станции в единую адаптивную p2p сеть самоорганизующихся систем («систему систем»). Интеллектуальные системы каждой станции получают возможность взаимодействовать между собой для решения возникающих проблем, но при этом строятся из взаимодействующих интеллектуальных систем управления вагонами, маневровыми локомотивами, рабочими бригадами и т.д. Предложена мультиагентная технология для построения интеллектуальных систем управления ресурсами железной дороги. Описана онтология базовых ресурсов типовой грузовой железнодорожной станции для поддержки принятия решений по управлению станцией. Обсуждаются принципы построения и функционирования компонент интеграционной программной платформы комплексной автоматизации планирования ресурсов станции. Работа поддержана грантом РФФИ №11-07-13119-офи-м-2011-РЖД.

Ключевые слова: сетевый подход, интеллектуальные системы, мультиагентные технологии, онтологии, адаптивное планирование, интеграционная платформа.

1. Введение

Железнодорожный транспорт является основополагающим для организации перевозочного процесса в России. Его системное взаимодействие с другими видами транспорта позволяет решить основную задачу обеспечения перевозок пассажиров и грузов в соответствии с принципами «точно в срок» и «от двери до двери». Стратегические направления научно-технического развития ОАО «Российские железные дороги» на период до 2015 г. предусматривают применение новых технологий плани-

рования и оптимизации перевозок с целью снижения стоимости транспортной составляющей в конечной цене товара [2].

В целях реализации Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 года [11], для железнодорожного транспорта предусматривается опережающее развитие станций и узлов. Транспортная стратегия является инновационной по своему характеру. В связи с этим ее реализация требует опережающего интенсивного инновационного развития научно-технической и технологической базы на основе передовых мировых достижений и прорывных технологий, в числе которых следует особо выделить:

- разработку принципиально новой адаптивной технологии работы транспорта, соответствующей высокой динамике рыночной экономики, в том числе анализ соответствия существующей технологии новым требованиям рыночной экономики – обеспечению динамичных экономических связей надежными и эффективными транспортными связями,
- разработку научных основ гибких форм организации работы железнодорожного транспорта – вариантный план формирования, гибкий график движения поездов, варианты технологические процессы.

2. Особенности задачи управления ресурсами железнодорожной сортировочной станции

Система управления производственными процессами сортировочной станции ОАО «РЖД» представляет собой сверхсложную систему, характеризующуюся большим разнообразием и количеством взаимодействующих элементов с конфликтными интересами – требуется согласованно планировать и учитывать пути, вагоны, локомотивы, составы, бригады машинистов, бригады ремонтных рабочих и другие ресурсы.

В современных условиях железнодорожную сортировочную станцию следует рассматривать, прежде всего, как логистический центр. Основной системы транспортной логистики железнодорожного транспорта должна стать интеллектуальная сеть таких логистических центров, глобальной задачей которых

является ускорение продвижения материальных потоков, снижение суммарных затрат отправителей и получателей грузов. Согласно предварительным оценкам, решение данной задачи обеспечит повышение эффективности транспортной системы минимум на 5-10%, а по отдельным участкам и на 20%, без дополнительных инвестиций в транспортную инфраструктуру. Одним из ключевых факторов оптимизации должна стать возможность не только более точного планирования отгрузки, но и гибкой системы корректировки планов всех участников транспортной системы. Это позволит снизить фактор дефицита вагонов за счет уменьшения простоя подвижного состава в узких местах. Разработка графика движения грузовых поездов должна осуществляться в тесной увязке с системой организации вагонопотоков на всех этапах, в том числе, с учетом возникающих возмущений (сбой в расписании движения и погрузочно-разгрузочных работ, усложнение дорожной обстановки, ухудшение метеорологических условий и др.) [2, 6].

Однако, сложность и взаимозависимости в этой сети станций таковы, что даже небольшие проблемы, возникающие на одной станции, могут распространяться по сети станций и неожиданно многократно усиливаться, внезапно «ударяя» совершенно в другом месте, порождая «пробки», задержки и срывы в поставках, простои или холостой пробег вагонов и т.д. Причины такого рода «нелинейных» процессов при управлении производственными процессами в сети сортировочных станций железной дороги состоят в следующем:

- Неопределенность: трудно предсказать изменения спроса и предложения.
- Событийность: часто случаются события, требующие оперативного изменения планов, решений в реальном масштабе времени (поломки, отказы, задержки и т.д.).
- Ситуативность: решение надо принимать по ситуации.
- Оперативность, гибкость и эффективность: требуется высокая оперативность, гибкость и эффективность в принятии решений, чтобы не потерять «момент» в принятии решений.

- Многофакторность: много различных критериев, предпочтений и ограничений.
- Высокая связность: принятие оперативного решения на одном участке (станции) требует согласования и учёта принятых или планируемых решений на связанных участках (станциях), что может вызывать изменение решений многих других участников.
- Индивидуальность: заказчики, диспетчеры, машинисты, бригады и другие участники требуют все более индивидуального подхода.
- Конфликты: все больше участников с противоречивыми интересами.
- Трудоемкость: множество вариантов для расчета последствий принимаемых решений.

Управление технологическим процессом грузовой железнодорожной станции в настоящее время характеризуется значительным разнообразием автономно функционирующих систем, ориентированных преимущественно на информационное обеспечение оперативных работников, связанных между собой проводными или беспроводными каналами технологической связи для передачи речевых сообщений [5]. Последовательность выполнения технологических операций, формирование и исполнение команд управления обеспечивается должностными цепочками, включающими множество исполнителей. Достаточно длинная цепочка управления, объединенная речевыми каналами связи, приводит к негативным последствиям, включая снижение уровня безопасности по сравнению, например, с поездной работой, и низкую эффективность использования вагонов и маневровых локомотивов, что выражается в суммарном времени их простоя и малой скорости движения.

Все эти особенности требуют новых современных подходов, методов и средств автоматизации управленческой и производственной деятельности для поддержки принятия согласованных решений в реальном времени [6].

3. Сетевый подход для согласованного управления железнодорожными ресурсами

Задача эффективного управления ресурсами сортировочных станций в такой крупнейшей национальной компании, как ОАО «РЖД» слишком сложна, чтобы ее можно было решить с помощью одной глобальной, централизованной, монолитной и последовательной системы, вырабатывающей оптимальные решения.

При этом ключ к решению многих задач повышения эффективности использования ресурсов, обеспечению безопасности движения и т.д. – в согласованном управлении ресурсами РЖД.

Представление грузовой сортировочной станции как сложного объекта, состоящего из автономно функционирующих и взаимодействующих между собой элементов, требует принципиально новых методов и средств построения распределенных систем управления, планирования и оптимизации производственных, технологических, ремонтных, кадровых, финансовых и других ресурсов в реальном времени. Фактически необходимо создать «систему систем» планировщиков реального времени, обеспечивающую согласованное поведение и взаимную «увязку» планов всех подсистем в целом при решении поставленных задач.

В этой связи решение сложных задач грузовых перевозок представляется целесообразным с самого начала рассматривать на основе сетевого подхода [7], получившего развитие для моделирования боевых действий, в совокупности совместной согласованной работы всей сети станций: «так локально, как только возможно, и так глобально, насколько это требуется для успешного решения задачи» (as local as possible and as global - as required), по аналогии с взаимодействием подразделений родов войск в крупных боевых операциях. Это означает на практике для РЖД, что все предвидеть и рассчитать заранее в таких сложных системах не возможно, и решение возникающих проблем должно осуществляться, прежде всего, во взаимодействии автономных подсистем станции, но если это не удается,

то должно начинаться урегулирующее взаимодействие с соседними станциями, от них «волна» взаимодействий может развиваться к «соседям соседей» еще дальше и т.д. Но также при этом всем станциям должна быть доступна общая глобальная информация о состоянии сети в целом, которая должна использоваться интеллектуальными системами каждой станции для выбора направлений взаимодействий и переговоров, принятия и согласования решений.

Сетецентрический подход предопределяет организацию управления сложными процессами в распределённой коммуникационной инфраструктуре, реализующей максимальную ситуационную осведомлённость каждого узла (Situational Awareness) и переход к работе каждого узла в режиме самоорганизации на достижение поставленных задач. Успешное решение задач управления всей организацией в рамках сетецентрического подхода складывается из успешного выполнения своей задачи каждым узлом во взаимодействии с другими смежными узлами. В результате взаимодействия узлов друг с другом происходит динамическое перепланирование действий каждого узла под контролем особого узла (диспетчера командного штаба), имеющего стратегический обзор ситуации. Эти узлы, в свою очередь, также могут образовывать связанную сеть взаимодействующих узлов.

Процесс управления базируется не на традиционном иерархическом принципе, а на достижении результата за счёт согласованного выполнения задач управления с учетом реально складывающейся обстановки. Важным условием является самосинхронизация, под которой понимается возможность обеспечения наибольшей эффективности, как своих действий, так и действий других систем на основе их взаимного согласования. В качестве основного условия для достижения требуемой самосинхронизации рассматривается необходимость наличия единых правил согласования действий и единого языка (протокола) взаимодействия. Такой принцип управления обеспечивает повышение оперативности реакции на изменившуюся ситуацию или параметры окружающей среды, возможность реализации

адаптивного поведения каждого узла системы и, как следствие, революционный сдвиг в эффективности деятельности.

Сетецентрический подход может рассматриваться как развитие таких известных концепций управления организациями, как С2 (command and control) и, более современной, ЕС2 (Enterprise command and control) и может в будущем найти широкое применение практически во всех направлениях и отраслях деятельности, как в военной сфере и крупном бизнесе, так и в государственных институтах, крупных корпорациях и т.д.

Предлагаемая концепция сетецентрических систем для ОАО «РЖД» может быть реализована на основе создания асинхронных многоуровневых адаптивных p2p сетей мультиагентных систем (Рисунок 1), где p2p (peer-to-peer) означает для этих систем возможность работы по принципам «каждый с каждым» и «равный с равным» через общую шину данных.

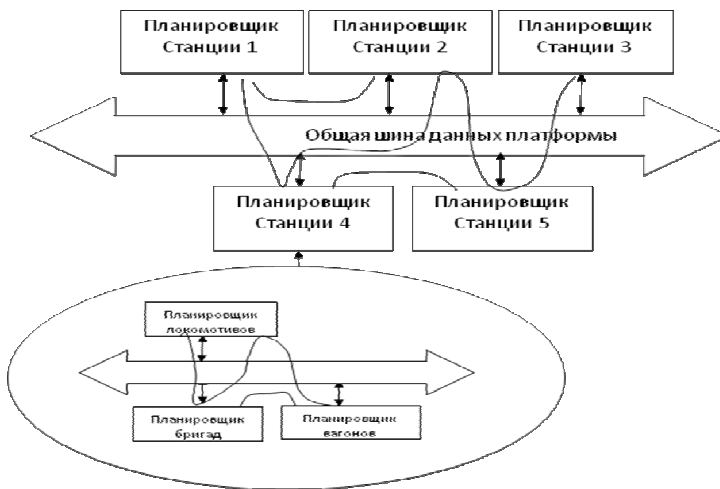


Рис.1. Сетецентрическая архитектура системы управления производственными подразделениями станции в реальном времени

В предлагаемой концепции каждая система представляет собой вложенную «матрешку» сети составных систем для планирования отдельных ресурсов станции. Каждый уровень такой «матрешки» представляет собой адаптивную p2p сеть подсистем, каждая подсистема может работать с каждой другой. Например, планировщик дороги декомпозируется в планировщики станций, планировщики станций декомпозируются в сети планировщиков локомотивов, вагонов, бригад и т.д. В архитектурном плане такая система может иметь различные реализации с использованием достаточно отработанных принципов сервисной организации SOA (Service-Oriented Architecture) и ESB (Enterprise Service Bus) [12]. В результате такая система может работать на одном сервере, а при необходимости быстро развернута на разные сервера, обеспечивая открытость к росту сложности, высокую производительность, надежность, живучесть, масштабируемость приложений.

Важно отметить, что возможность создания такого рода систем во многом обеспечивается за счет применения рассматриваемых ниже мультиагентных технологий для адаптивного планирования ресурсов – фактически, в предлагаемом сетевом подходе речь идет о ко-эволюции нескольких самоорганизующихся мультиагентных систем (в отличие от более привычных отношений «мастер-ведомый» между системами), обменивающихся сообщениями и данными между собой и с пользователями в реальном времени для согласования или координации адаптивно изменяющихся планов [4, 10, 12].

Данный подход является новым и весьма перспективным для создания сложных систем управления такими крупными предприятиями, как РЖД («систем систем»), работающих в реальном времени и функционирующих как единый организм для обеспечения высокой согласованности, продуктивности и эффективности использования ресурсов.

4. Мультиагентные технологии для адаптивного планирования железнодорожных ресурсов сортировочной станции

Мультиагентные технологии позволяют построить адаптивные методы и средства распределения ресурсов, планирования, согласования, мониторинга и контроля исполнения планов в реальном времени, когда планы не строятся заново всякий раз, а лишь постоянно корректируются и перестраиваются по мере их выполнения [9, 16].

Как известно, традиционные математические модели далеко не всегда позволяют решать задачи планирования в реальном времени. Например, для сортировочной грузовой станции требуется в комплексе учитывать процессы выделения требуемых путей и маневровых локомотивов, бригад машинистов и ремонтных рабочих, формировать и расформировывать составы вагонов с учетом специфики конкретных заказов, возможностей станций и т.д. Причина состоит в сложности решения данной задачи, наличии конфликтов интересов и плохо формализуемых взаимосвязей, множества задаваемых предпочтений и ограничений, необходимости учета индивидуальных особенностей каждого заказа и ресурса и ряде других факторов.

Однако, существующие автоматизированные системы управления ресурсами таких известных компаний, как Oracle, SAP, Manugistics, i2, i-Log, Preactor и других, изначально строятся как централизованные, иерархические, закрытые, монолитные и последовательные решения. Предлагаемые этими компаниями автоматические планировщики, как правило, реализуют различные методы Constraint programming, базирующиеся на комбинаторном переборе вариантов в глубину, например, метод ветвей и границ [14].

Кроме того, в существующих классических системах распределения, планирования и оптимизации ресурсов все заказы и ресурсы считаются известными заранее, при этом заказы предварительно накапливаются, например, за месяц, неделю или день, а далее разовым образом распределяются по ресурсам на основе традиционных комбинаторных методов (например,

методами линейного и динамического программирования, программирования в ограничениях, различными эвристиками и метаэвристиками и т.д.), что занимает иногда до 8-12 часов, после чего программа завершает работу, никак не отслеживает происходящие далее изменения и не вносит соответствующие коррективы в планы.

При этом любые объективные и субъективные отклонения от построенного жесткого детерминированного плана разрешаются экспертами и специалистами, как правило, в «ручном режиме», что на практике является чрезвычайно трудоемким процессом, и в ряде случаев еще более затрудняет внедрение указанных систем или вообще не позволяет их использовать.

В отличие от этих традиционных громоздких, централизованных, «монолитных», последовательных программных систем пакетной оптимизации, мультиагентная система для оптимизации ресурсов представляет собой распределенное сообщество агентов-оптимизаторов с собственными расписаниями, действующих параллельно и на основе переговоров, и потому способных гибко и быстро реагировать на любые события, разрешая конфликты и перестраивая сеть из десятков и сотен тысяч связанных операций под действием внешних событий в реальном времени. Возможность поддержки принятия решений в реальном времени достигается за счет замены глубокого последовательного перебора вариантов решений, требующего больших вычислительных затрат, встречными поисками вариантов и переговорами сторон, направленных на выявление конфликтов и достижение согласованных компромиссов при построении сложных расписаний, причем двусторонним образом, как со стороны поступающих заказов, так и функционирующих ресурсов.

В предлагаемой мультиагентной технологии, развивающей предложенный ранее метод сопряженных взаимодействий [3], каждой потребности или возможности реального мира сортировочной станции РЖД в соответствие может быть поставлен программный агент, способный действовать от его лица и по его поручению, которые формируют сети потребностей и возможностей (ПВ-сети) станции.

При динамическом планировании моделируется процесс распределения ключевых ресурсов станции (локомотив, вагон, машинист, путь и др.) и построения сложных расписаний через сопряженное взаимодействие участников этого процесса, которые по определению имеют различные цели, предпочтения и ограничения. При этом каждому участнику в соответствие ставится его программный агент, способный действовать от его имени и по его поручениям.

Потребность в выполнении технологических операций по расписанию или потребность в выполнении окон раскладывается на подпотребности, соответствующие строкам расписания. Агенты соответствующих потребностей взаимодействуют с агентами временных слотов. Агенты временных слотов резервируют ресурсы. Агенты временных слотов в процессе переговоров проактивно ищут другие слоты, которые используют тот же самый ресурс. Если агенты временных слотов обнаруживают конфликт, они должны разрешить его, после чего агент временного слота связывается с потребностью.

Ниже кратко описаны принципы предлагаемого решения:

- каждый технологический участок пути, локомотив, сотрудник или любой другой ресурс получает своего программного агента, у которого ведется свое расписание;
- под каждую требуемую операцию технологического процесса создается свой агент заказа, который получает требования и ограничения на планирование;
- агент заказа начинает планирование путем поиска необходимых ему ресурсов в сцене, которая описывает текущую ситуацию выполнения работ, т.е., какой ресурс какое расписание исполняет;
- если подходящие ресурсы (исполнители) заняты, то фиксируется конфликт, и начинаются переговоры по его разрешению путем сдвижек и освобождений нужных слотов времени на ресурсах;
- в ходе переговоров возможны варианты: новая операция уйдет на менее подходящий ресурс (исполнителя), предыдущая или следующая операция уйдет или сдвинется;

- даже после решения своей задачи каждый агент не останавливается и продолжает пытаться улучшить свое положение.
- при планировании задач (операций) в расписании каждого ресурса могут применяться различные стратегии, например:
- планирование точно-в-срок (JIT – Just In Time) – задается плановая дата завершения технологического процесса (ТПР) и на этой основе вычисляется дата начала работ первой технологической операции (ТОП) проекта и составляется план;
- планирование как можно раньше (ASAP – As Soon As Possible) – выполнение каждого вида операций планируется на ближайшее доступное время, а наиболее ранняя дата завершения последней операции технологического процесса определяется как дата окончания технологического процесса и т.д.

Чтобы запланировать своё задание, агент технологического процесса с помощью сообщения посылает запрос на планирование первой технологической операции, которая определяется согласно выбранной стратегии. Для стратегии планирования ASAP – это самые начальные операции, не имеющие предшественников, а для стратегии планирования JIT – самые поздние, которые необходимо выполнять в последнюю очередь.

После того, как агенты операций считывают собственные требования, предъявляемые к ресурсам, они начинают поиск подходящих ресурсов для выполнения из числа тех, кто свободен или занят, но готов сделать подвижки в своем расписании. После того, как каждый агент ресурса получает сообщение, он проверяет свои предпочтения и, если размещение возможно, возвращает ответ агенту технологической операции, что все успешно. Если агент ресурса не может запланировать выполнение в предпочитаемое время, он в ответном сообщении возвращает контрпредложение или отказ. В случае успеха агент операции возвращает агенту технологического процесса сообщение об успешном планировании. Агент технологического процесса согласно выбранной стратегии планирования определяет следующую операцию и посылает ее агенту сообщение о необхо-

димости планирования с учетом размещения уже запланированных операций.

Отметим, что при отсутствии каких-либо предпочтений агент технологического процесса может отправить запрос на планирование сразу всем входящим в него операциям, которые при этом будут планироваться параллельно, согласовывая время своего исполнения друг с другом. В этом случае расписание будет строиться, начиная от наиболее сильно ограниченных операций. Какие именно операции будут сильно ограниченными, как правило, не известно заранее, т.к. ограниченность здесь связана не только с самой последовательностью операций, но и с уже сложившимся расписанием других ресурсов.

Динамическое планирование нескольких произвольных заявок на один ресурс, план которого выстраивается по мере поступления заказов в реальном времени, может быть основано и на комбинации двух методов планирования ASAP и JIT и других стратегиях. Эти стратегии могут изменяться как пользователем системы, так и агентами, наблюдающими за развитием ситуации на станции и дороге в целом в реальном времени.

Переход к реальному времени в управлении ресурсами позволяет значительно повысить эффективность работы, избежать «затоваривания» или, наоборот, дефицита ресурсов, обеспечить прозрачность, согласованность и слаженность работы всех звеньев работы грузовой станции, дает новые возможности для оптимизации и контроля, быстрой реакции на непредвиденные события (террористические атаки, изменения дорожной обстановки) и т.д.

5. Пример решаемых задач маршрутизации и консолидации вагонов при формировании грузовых поездов

Типичной задачей при осуществлении станционной деятельности является формирование грузовых поездов и консолидация/деконсолидация вагонов. Рассмотрим логику мультиагентной маршрутизации железнодорожных грузовых перевозок с консолидацией/деконсолидацией заказов. Предполагается, что

используется новый подход РЖД к хождению грузовых поездов по расписаниям, которые планируются на основании статистики, но формируются из коммерческих заказов динамически. Таким образом, если на некоторый грузовой поезд не найдется заказов, он может быть отменен, а если на него уже запланированы некоторые заказы, но поезд остается существенно нерентабельным, эти заказы могут быть перераспределены динамически на другие более ранние или поздние грузовые поезда для более эффективного перемещения грузов, если это возможно по условиям контрактов с клиентами.

Общая логика работы системы является событийной – каждое новое событие вызывает инициацию соответствующих агентов, от которых начинает распространяться волна переговоров. В частности, создается новый заказ на перевозку грузов, который начинает рассчитывать для себя варианты. Существующие заказы должны, сохраняя текущие связи, промоделировать расчеты по появляющимся новым опциям на фоне уже имеющегося принятого варианта, который должен отыскиваться с минимальными затратами или отклонениями от существующего положения, реализуя принцип экономии мышления. Если найти новый вариант для уже размещенного заказа среди его ближайших «соседей» не получается, круг его поисков может расширяться, если в системе нет других неразмещенных заказов, которым должен быть передан приоритет управления

Пусть задана модельная транспортная сеть грузовых сортировочных станций, представленная на Рисунке 2. Здесь кружками показаны сортировочные грузовые станции, а прямоугольниками – большие грузовые и пассажирские станции. Пусть в системе последовательно появляются новые заказы, о направлениях, объемах и сроках поступления которых системе заранее ничего неизвестно. Тем не менее, известно, что в новой концепции движения грузовых поездов по расписаниям планируется поездка грузовых поездов из С в G и из В в X в нужные моменты времени, и объем этих составов не должен превышать 24 вагона.

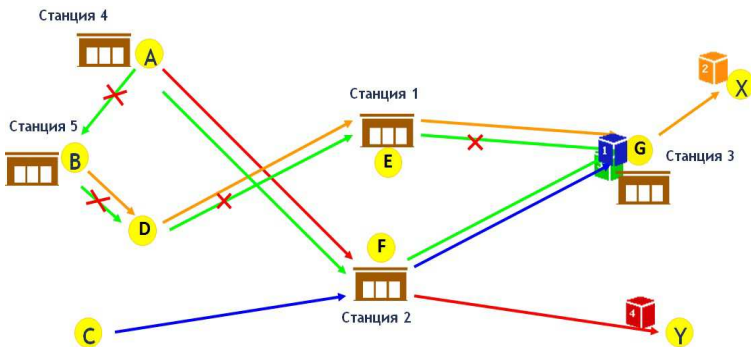


Рис.2. Пример планирования консолидаций вагонов в сети грузовых станций

Пусть первым приходит Заказ 1 на 5 вагонов, который следует из С в G по маршруту M1: С – F – G. Требуемые 5 вагонов планируются в Поезд 1. Далее приходит Заказ 2 на 3 вагона, который следует из В в X по маршруту M2: В – D – E – G – X, который планируется в Поезд 2. Далее появляется большой Заказ 3, который следует из А в G, на 15 вагонов. Пусть из А в G нет прямого поезда и тогда у Заказа 3 остается вариант доехать до ближайшей Станции 5 (пункт В) и там консолидироваться с вагонами Поезда 2, если есть поезд по расписанию из А в В, предположим, что такой поезд имеется (Поезд 4). Таким образом, чтобы консолидироваться с Заказом 2, Заказу 3 необходимо добраться до Станции 5, где произойдет консолидация Заказа 2 и Заказа 3 в Поезде 2. Пусть Заказ 3 успевает доехать до Станции 5 к моменту отправления Поезда 2. В Поезде 2 теперь будет $3 + 15 = 18$ вагонов (из 24 возможных), что уже делает выгодным поезд и поездку. Далее Заказ 2 и Заказ 3 совместно проследуют по участку В – D – E – G, затем на Станции 3 произойдет деконсолидация Заказа 2 и Заказа 3. Заказ 2 проследует далее в X, а Заказ 3 останется в пункте назначения G, при этом требуемое время доставки обеспечено. Таким образом, для Заказа 3 в системе формируется маршрут M3: А – В – D – E – G.

Пусть теперь в системе появляется Заказ 4, который следует из А в У по маршруту М4: А – F – У. Имеется Поезд 3, который запланирован и свободен для данного заказа. Этот факт радикально меняет ситуацию для Заказа 3, который теперь «пробуждается» и должен заново оценить складывающуюся обстановку. Агент Заказа 3 анализирует возможность консолидироваться с другими заказами, чтобы избежать одиночной перевозки по отрезку пути А – В, и видит, что может теперь консолидироваться с Заказом 4 до Станции 2 (при этом в Поезде 3 окажется 20 вагонов), после чего проследовать совместно с Заказом 1 до Станции 3 на Поезде 1, в котором также будет 20 вагонов. Заказ 3 прибывает на Станцию 2 так, что успевает до отправления Поезда 1. На Станции 2 произойдет деконсолидация Заказа 3 и Заказа 4 и последующая консолидация Заказа 3 и Заказа 1. Требуемое время доставки заказов при этом также обеспечивается. Таким образом, в системе формируется маршрут М5: А – F – G.

Необходимо сравнить два возможных маршрута Заказа 3 и оценить, какой из них принесет системе максимальную прибыль, т.е. оценить два варианта маршрутов в системе: Вариант 1 – М1 + М2 + М3 + М4 и Вариант 2 – М1 + М2 + М5 + М4. На участках консолидации заказы разделяют себестоимость перевозки единицы груза на один километр пропорционально числу вагонов в заказе, т.е. требуется больше вагонов – больше плати за перевозку. В результате расчетов оказывается, что Вариант 2, включающий маршруты перевозок М1, М2, М5 и М4, приносит большую прибыль. Таким образом, Заказ 3 следует консолидировать с Заказом 4 на участке А – F и с Заказом 1 на участке F – G.

6. Использование онтологии для описания ресурсов и производственных процессов станций

Сортировочные станции РЖД весьма разнообразны и внедрение любой системы требует учета особенностей используемых ресурсов и технологических процессов каждой станции в индивидуальном порядке. В этих целях в проекте предлагается

для описания знаний, необходимых агентам в процессе принятия решений, использовать онтологический подход [1], что позволит отделить предметные знания РЖД от программного кода системы и выполнять настройки менеджерам или специалистам станции без привлечения программистов.

Онтология – это формализованные концептуальные знания о предметной области (РЖД), представленные в форме, допускающей компьютерную обработку и использование, например, в правилах принятия решений по планированию ресурсов. Онтологии являются основой базы знаний об основных понятиях предметной области и связях между ними, этим обеспечивается единство терминологии и предоставляется возможность расширения знаний системы в случае появления новых концептов и связей, а также появляется возможность формально специфицировать ситуации в реальности.

В настоящее время для создания и поддержки онтологий существует целый ряд инструментов, которые помимо общих функций редактирования и просмотра выполняют поддержку документирования онтологий, импорт и экспорт онтологий разных форматов и языков, поддержку графического редактирования, управление библиотеками онтологий и т.д. К наиболее известным инструментам инженерии онтологий относятся: Ontolingua, Protégé, OntoEdit, OilEd, WebOnto [15, 17].

Однако для использования в мультиагентных системах управления ресурсами требуются специализированные онтологии и средства поддержки их построения, позволяющие учитывать особенности решаемой задачи согласованного планирования и специфику предметной области РЖД, учитываемых при обнаружении и разрешении конфликтов и поиске баланса интересов всех участников процесса согласованного планирования.

Онтология РЖД представляется в виде семантической сети, которая образуется классами понятий и отношений, играющих роль связей. Фрагмент онтологии грузовой сортировочной станции в виде семантической сети, показывающий примеры используемых понятий и отношений, показан на Рисунке 3.

Примеры классов понятий и отношений:

- Классы понятий: «Груз», «Транспортное средство», «Поезд», «Вагон», «Бригада».
- Примеры свойств: Цистерна «Может перевозить» нефть.
- Примеры процессов: Груз «доставляется» потребителю, Поезд «формируется» из вагонов.
- Примеры отношений: Груз «находиться» на поезде, груз «забронировал» вагон.
- Примеры атрибутов поезда: «Плановая дата отбытия», «Длительность движения», «Станция назначения», «Скорость движения».

С использованием онтологии можно специфицировать конкретные факты и строить модели ситуаций (сцен), задающие исходные условия для начала работы агентов.

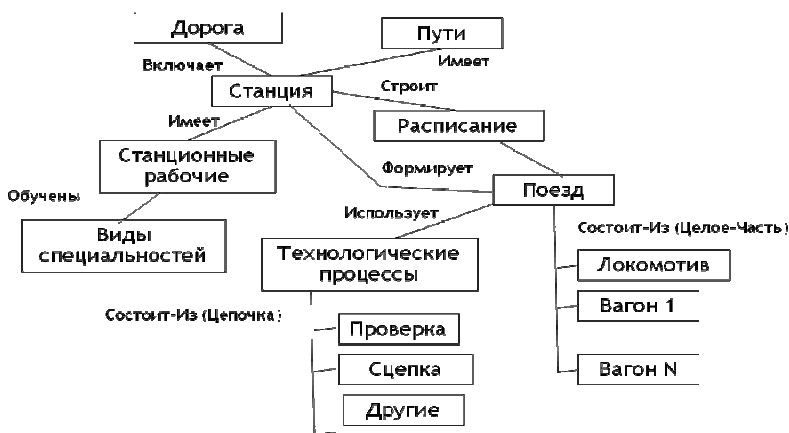


Рис. 3. Фрагмент онтологии грузовой сортировочной станции

7. Принципы построения интеграционной программной платформы комплексной автоматизации планирования ресурсов станции

Под интеграционной платформой понимается программно-аппаратная инфраструктура, позволяющая поддержать сетевую

трический подход и организовать обмен данными между распределёнными приложениями и информационными системами для поддержки, мониторинга и управления производственными и бизнес-процессами предприятия. Необходимо создавать и исполнять приложения самого широкого назначения, в том числе для автоматизации работы диспетчерских служб, задействованных в различных технологических и производственных процессах, комплексных систем безопасности, мониторинга и паспортизации объектов. В рамках единой интеграционной платформы должна быть обеспечена интеграция существующих промышленных систем и баз данных станции, комплексной автоматизации производственных бизнес-процессов и обеспечения доступа к данным для специализированных мультиагентных и других систем управления ресурсами подразделений станции в реальном времени.

В ситуации постоянного развития предприятия, модификации его бизнес функций, невозможно раз и навсегда сформулировать полный перечень функциональных требований к системе. В этом случае систему уровня предприятия необходимо проектировать исходя из модели данных, а не от функциональной модели. Внутренняя логика и связи прикладных данных гораздо более устойчивы во времени, чем функции. В такой модели реализация бизнес функций сводится к комбинации нескольких элементарных операций над сущностями модели и в большинстве случаев к изменению значений атрибутов объектов.

В предлагаемом подходе для построения интеграционной платформы для комплексной автоматизации станции предлагается развитие промышленной платформы «Вектор», в основе которой лежит принцип построения систем на основе «Data-driven model» (систем, управляемых данными), прошедшей успешную апробацию в нефтегазовой отрасли [8]. Все данные системы организованы в виде сети объектов с изменяемым набором свойств. Основные характеристики предлагаемой платформы, которые требуется обеспечить для применения в РЖД:

- адаптивность к многообразию подключаемого внешнего оборудования и подсистем;
- мониторинг и управление разнообразным оборудованием в реальном масштабе времени;
- поддержка средств планирования, исполнения и контроля технологических процессов;
- распределённая и многоуровневая архитектура;
- возможность дополнения прикладной логики, расчётных задач в спектре задач MES-систем
- многократное тиражирование системы на объектах заказчика с интеграцией в единый комплекс;
- оперативный контроль над технологическими и бизнес процессами, путем:
 - визуализации контролируемых процессов и оперативного получения информации о состоянии системы и управлении её функционированием;
 - автоматизации процесса передачи оперативных данных;
- сбор, хранение и визуализация информации любой степени детализации о ходе технологических и бизнес процессов (ГИС, мнемосхемы и др.), путем:
 - получения данных от любого количества внешних систем и технологического оборудования с помощью механизма драйверов, обслуживающих эти устройства;
 - описания объектов предметной области с произвольным набором характеристик;
 - организации наглядного графического и табличного интерфейса для доступа к данным об объектах и их взаимосвязях;
 - моделирования производственных процессов с описанием их структуры и особенностей с любой степенью детализации;
 - формирования сцен для визуализации контролируемых процессов;
 - гибкой модификации ранее построенных моделей;
- информационная поддержка принятия управленческих решений, путем:

- предоставления достоверных знаний об объектах предметной области и результатах работы встроенных аналитических методов для информационной поддержки принятия управленческих решений в конкретных процессах деятельности;
 - автоматизации решения различного рода аналитических и расчётных задач;
- моделирование и управление объектами широкого спектра предметных областей (комплексных систем безопасности, системы паспортизации объектов, систем мониторинга и диспетчеризации и др.);
- обеспечение единого механизма регистрации новых объектов или изменения состояний существующих, что подразумевает организацию единой базы всех объектов.

Таким образом, решение поставленной задачи будет выполнено за счет доработки интеграционной платформы на базе «Вектора», на основе которой будет создана сетевая распределенная информационно-коммуникационная мультисервисная система управления ресурсами грузовой станции. Платформа разрабатывается на основе модульного принципа, позволяющего наращивать возможности станции поэтапным подключением модулей динамического планирования для каждого вида ресурсов. Предлагаемый подход позволяет создавать принципиально новые промышленные интеллектуальные системы для решения задач высокой сложности, не поддающихся решению другими способами, как в области онлайн планирования ЖД ресурсов, так и в любых других сложных логистических приложениях.

8. Выводы

1. Для решения поставленной сложной задачи управления грузовыми сортировочными станциями требуются новые современные подходы, методы и средства автоматизации производственной деятельности подразделений ОАО «РЖД» и обеспечения поддержки принятия решений в реальном времени.

2. В качестве одного из подходов к решению поставленной задачи эффективного управления грузовыми сортировочными станциями в реальном времени предлагается сетевый подход к построению «системы систем» управления производственными подразделениями станции в реальном времени на основе мультиагентных технологий.

3. Показана возможность построения мультиагентных систем для адаптивного планирования различных ресурсов грузовой станции для обеспечения грузовых перевозок по коммерческим заказам по расписанию, а также особенности мультиагентной логики маршрутизации железнодорожных грузовых перевозок с консолидацией/деконсолидацией заказов.

4. Разработана базовая онтология ресурсов типовой грузовой станции для поддержки принятия решений по управлению станцией, а также принципы создания и редактирования онтологий и сцен, содержащих оперативную информацию о ситуации на сортировочной станции, в виде семантических сетей.

5. Разработаны принципы построения интеграционной программной платформы комплексной автоматизации планирования ресурсов станции на базе универсальной промышленной платформы российского производства «Вектор».

6. Предлагаемый проект направлен на создание интеллектуальных систем управления грузовым движением РЖД, что является одной из актуальных и значимых направлений развития автоматизированных систем управления железнодорожным транспортом будущего.

Литература

1. АБРАМОВ Д.В., АНДРЕЕВ В.В., СИМОНОВА Е.В., СКОБЕЛЕВ П.О. *Разработка средств построения и использования онтологий для поддержки процессов принятия решений* // Труды VII международной конференции «Проблемы управления и моделирования в сложных системах. Самара: СНЦ РАН. – 2005. – С. 435–440.
2. *Белая книга ОАО «РЖД»*. – 2010. – 54 с.

3. ВИГТИХ В.А., СКОБЕЛЕВ П.О. *Метод сопряженных взаимодействий для управления распределением ресурсов в реальном времени* // Автометрия. – 2009. – №2 – С. 78–87.
4. ИВАЩЕНКО А.В., КАРСАЕВ О.В., Скобелев П.О., ЦАРЕВ А.В., ЮСУПОВ Р.М. *Мультиагентные технологии для разработки сетецентрических систем управления* // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2011. – №3 (116). – С. 11–23.
5. *Инновации в управлении технологическим процессом железнодорожной станции* // Евразия Вести. – 2011. – № II. – Режим доступа: <http://www.eav.ru/pub11.php?publid=2011-02a09>.
6. МАТЮХИН В.Г., ШАРОВ В.А., ШАБУНИН А.Б. *Управление железной дорогой онлайн* // Пульт управления. – 2012. – №1. – Режим доступа: <http://pult.gudok.ru/archive/detail.php?ID=420035>.
7. *Сетецентрическая война* // Материалы Научно-исследовательского центра Военной ордена Ленина Краснознаменной ордена Суворова академии Генерального Штаба Вооруженных Сил Российской Федерации. – М. – 2010. – 331 с.
8. СКАЛИНОВ С.А., ЗЫРИН Н.В., ШАБУНИН А.Б. *Вектор автоматизации. Автоматизированная информационная система управления «Вектор»* // Нефть и газ. – 2005. – №1. – С. 64. – Режим доступа: <http://www.programpark.ru/vector>.
9. СКОБЕЛЕВ П.О. *Мультиагентные технологии в промышленных применениях: к 20-летию основания Самарской научной школы мультиагентных систем* // Мехатроника, автоматизация, управление (МАУ). – 2010. – №12. – С. 33–46.
10. СКОБЕЛЕВ П.О., ЦАРЕВ А.В. *Сетецентрический подход к созданию больших мультиагентных систем для адаптивного управления ресурсами в реальном времени* // Труды международной научно-практической конференции «Управление большими системами-2011» (УБС'2011). Т.3. – М.: ИПУ РАН. – 2011. – С. 263–267.
11. *Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года.* – Режим доступа:

http://rosavtodor.ru/information/Osnovnye_dokumenty/transport_naya_strategiya_rf_na_period_do_2030_goda.html.

12. ШАБУНИН А.Б., ЧЕХОВ А.В., ДМИТРИЕВ Д.В., КУРБАТОВ Е.В., САЗУРОВ С.В., СКОБЕЛЕВ П.О., СИМОНОВА Е.В., ЦАРЕВ А.В., СТЕПАНОВ М.Е. *Сетецентрический подход к разработке системы управления производственными процессами ОАО «РЖД»* // Труды международной научно-практической конференции «Управление большими системами-2011» (УБС'2011). Т.3. – М.: ИПУ РАН, 2011. – С. 222–225.
13. ANTONOPOULOS, N. *Handbook of Research on P2P and Grid Systems for Service-Oriented Computing – Models, Methodologies, and Applications*. – IGI Global. – 2010.
14. *Handbook of Scheduling: Algorithms, Models and Performance Analysis*. [Edited by J. Y-T. Leung] // Chapman & Hall. CRC Computer and Information Science Series. – 2004.
15. MUSEN, M. *Domain Ontologies in Software Engineering: Use of Protégé with the EON Architecture* // Methods of Inform. in Medicine. – 1998. – P. 540–550.
16. SKOBELEV, P. *Multi-Agent Systems for Real Time Resource Allocation, Scheduling, Optimization and Controlling: Industrial Application* // In Proceedings of the 5th International Conference on Industrial Applications of Holonic and Multi-Agent Systems, HoloMAS 2011, Toulouse, France, August 2011. – Springer Verlag, Berlin. – 2011. – P. 1–14.
17. SURE, Y., ERDMANN, M., ANGELE, J., STAAB, S., STUDE, R., WENKE, D. *OntoEdit: Collaborative ontology development for the Semantic Web* // In Proc. of the Inter. Semantic Web Conference (ISWC 2002), Sardinia, Italia, June 2002.

DEVELOPMENT OF DISTRIBUTED INTELLIGENT FREIGHT CONTROL SYSTEM IN REAL TIME

Alexander Shabunin, Research & Design Institute for Information Technology, Signalling and Telecommunications on Railway

Transport (JSC NIAS), Moscow, Head of Competence center for development tools (a_shabunin@hotmail.com).

Nikolay Kuznetsov, Institution of Russian academy of sciences Kotel'nikov Institute of Radio Engineering and Electronics of RAS, Moscow, Doctor of Science, professor, consultant (kuznetsov@cplire.ru).

Petr Skobelev, Institution of the Russian Academy of Sciences Institute for the Control of Complex Systems of RAS, Samara, Doctor of Science, professor, L.s.(petr.skobelev@gmail.com).

Ivan Babanin, Software engineering company "Smart Solutions", Ltd, Samara, Lead software developer (babanin@gmail.com).

Sergey Kozhevnikov, Software engineering company "Smart Solutions", Ltd, Samara, Director of the Analytical Center (Kozhevnikovss@gmail.com).

Elena Simonova, Software engineering company "Smart Solutions", Ltd, Samara, Cand.Sc., assistant professor, Lead analyst (Simonova.Elena.V@gmail.com).

Maksim Stepanov, Software engineering company "Smart Solutions", Ltd, Samara, Software developer (multinodus@gmail.com).

Alexander Tzarev, Software engineering company "Smart Solutions", Ltd, Samara, Chief executive officer (at@anarun.net).

Abstract: The paper proposes a network-centric approach for creating intelligent systems of resource management departments of the railway marshalling yard. Principles for building network-centric intelligent systems for coordinated planning of station resources in real time have been developed. These principles allow you to integrate autonomous multi-agent planners of separate departments into a single adaptive network of self-organizing systems («system of Systems»). Intelligent systems of each station are constructed from interacting intelligent systems of cars, shunting locomotives, work teams, etc. management and are able to interact with each other to resolve problems. Multi-agent technology for building intelligent systems of railway resource management was proposed. Ontology of basic resources in typical Freight Railway station for supporting decision-making management was described. Principles of construction and operation of components of

Рубрика Сборника (окончательно выбирается редактором)

integrated composite automation planning framework of station resources are discussed. This paper was supported by a grant of Russian Foundation for Basic Research (RFBR).

Keywords: network-centric approach, intelligent systems, multi-agent technology, ontology, adaptive planning, integration platform.