

УДК 656.22
ББК 0.2.7.5

КОНЦЕПТУАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

Матюхин В. Г.¹

(Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте, Москва)

В статье рассматриваются общие задачи управления современным железнодорожным транспортом: технологический принцип управления, управление в реальном масштабе времени, интегрированность и интеллектуальность управления. Определяются основные концептуальные подходы к разработке и проектированию систем управления железнодорожным транспортом.

Ключевые слова: управление железнодорожным транспортом, сетцентрический подход, мультиагентные системы, интегрированные интеллектуальные системы.

1. Введение

В настоящее время назрела необходимость разработки комплексного подхода к согласованному управлению всеми циклами производственного процесса на железнодорожном транспорте. Решение подобной задачи может быть осуществлено путем создания единой технологически интегрированной системы управления перевозочным процессом, инфраструктурой и безо-

¹ Владимир Георгиевич Матюхин, доктор технических наук (V.Matyukhin@gismps.ru).

пасностью, основанной на современных программных и интеллектуальных технологиях.

Разработка данного подхода требует решения ряда масштабных и сложных задач, к числу которых в первую очередь нужно отнести следующие.

1. Изменение основной парадигмы управления – переход от административной системы управления к управлению по технологическому принципу. Необходимость изменения используемых в настоящее время принципов управления связана с возникшим противоречием между применяемыми иерархическими схемами административного управления и требуемой эффективностью перевозочного процесса. Главное, но не единственное противоречие связано с неоправданными задержками, обусловленными необходимостью «передачи» грузовых и пассажирских потоков между административно обособленными структурами управления железнодорожным транспортом. Эти формальные процессы и процедуры контрольного и согласующего характера «разрывают» непрерывный технологический процесс транспортировки грузов, что неизбежно приводит к резкому снижению эффективности перевозочного процесса и снижает экономические и социально-ориентированные показатели всей отрасли в целом.

В первую очередь новые принципы управления должны быть внедрены на основных магистральных направлениях, на которых выполняется до 85% всей перевозочной работы.

2. Создание модели, позволяющей организовать управление перевозочным процессом в реальном масштабе времени. Данная задача обусловлена тем, что существующие системы в основном являются информационными, отсутствуют в достаточном количестве системы поддержки принятия решений, позволяющие управлять производственными процессами в реальном времени, планировать работу, моделировать и прогнозировать развитие ситуаций в целом. Отсутствуют развитые методы долгосрочного и оперативного планирования и оптимизации производственной деятельности на всех уровнях. Как

следствие, отсутствуют также средства, обеспечивающие согласованную работу участников производственной деятельности.

К этому следует добавить низкую адаптивность информационных систем к меняющимся условиям рынка транспортных услуг, неполноту, противоречивость, недостоверность и низкую оперативность первичной информации. Например, информация о состоянии блок-участков на железнодорожной магистрали обновляется с интервалом 5–8 секунд. Однако при этом актуализация базы данных, содержащей эту информацию, отстает от реально происходящего процесса на 10–20 минут, что делает невозможным эффективное управление железнодорожными составами в оперативном режиме.

Отмеченные особенности требуют разработки и внедрения новых современных подходов, методов и средств автоматизации производственной деятельности. Одним из наиболее перспективных путей решения этой проблемы является создание крупной программной системы – интеграционной платформы, позволяющей на единой основе обеспечить описание предметной области (например, на языке онтологий) и решение разнообразных технологических проблем, возникающих в практике управления производственным процессом.

Подобная платформа предоставит возможность адаптивного формирования системы управления, не ограниченной предопределенной структурой и механизмами решения отдельных подзадач, а также быстрое прототипирование, макетирование и экспериментальную проверку. При этом предполагается также создание специального языка программирования, позволяющего технологам в естественных терминах описывать основные технологические процессы на содержательном уровне, не требуя при этом глубокого понимания деталей, связанных с конкретным формированием общей системы управления.

3. Разработка и внедрение интегрированных интеллектуальных систем управления перевозочным процессом. Изменившиеся технологии разработки требуют коренного пересмотра концептуальной, методологической и инструментальной базы для создания адекватных современному состоянию железнодо-

рожной отрасли эффективных систем управления всем производственным циклом. Не соответствующие данному уровню системы управления всем железнодорожным комплексом могут свести на нет все достижения в технологической области.

В связи с этим требуется создание общих моделей железнодорожной информационной среды и единых принципов интегрального управления всем производственным процессом.

2. Особенности задачи управления ресурсами в реальном времени

Выше отмечалась принципиальная важность для ОАО «РЖД» решения задачи управления ресурсами в реальном времени, т.е. принятие управленческих решений в темпе, соответствующем скорости протекания производственных процессов.

Переход от модельного управления ресурсами, когда все заказы, потребности и возможности компании известны заранее, к принятию решений в реальном времени, когда решения принимаются по мере возникновения необходимости и в условиях неопределенности и высокой динамики, предполагает переход к методам и средствам создания управленческих и информационных систем нового поколения. Подобный подход позволяет избежать, в частности, «затоваривания» или, наоборот, «дефицита» железнодорожных ресурсов (путей, локомотивов, вагонов, бригад и т.п.).

В рассматриваемых задачах требование функционирования в реальном времени является принципиальным, поскольку задержки в принятии решений приводят к резкой потере качества предоставляемых услуг РЖД, или, как крайний случай, такая услуга может быть вовсе не оказана. В этих условиях применение классических методов оптимизации зачастую оказывается неприемлемым, поскольку изменение условий задачи часто происходит до того, как сам оптимум будет найден, по причине сложности и трудоёмкости вычислений или скоротечности изменений. Выход из этой ситуации видится в разработке новых

«рациональных» методов, обеспечивающих не обязательно оптимальное, но субоптимальное или хотя бы просто допустимое (т.е. устраивающее всех) распределение ресурсов, когда фактор времени становится первостепенным. При этом предполагается, что скорость решения слабо зависит от размерности задачи или контролируется в ходе ее решения.

Как отмечается во многих источниках, рост сложности и динамики производственных и бизнес-процессов является в настоящее время одной из наиболее серьезных проблем, с которыми сталкиваются крупнейшие мировые компании, к числу которых в полной мере можно отнести и ОАО «РЖД».

Новые методы и средства автоматизации должны обеспечить решение целого ряда сложных задач, стоящих перед ОАО «РЖД»: управление ресурсами станций, динамическое формирование поездов, мультимодальная транспортная логистика, управление производственными процессами, управление в чрезвычайных ситуациях и т.п.

3. Концептуальные подходы к управлению железнодорожным транспортом

Как уже отмечалось, современная организация процессов в РЖД представляет собой сверхсложную открытую социально-техническую систему, составленную из полуавтономных взаимодействующих элементов, обладающих целенаправленным поведением. Многие вопросы управления сложными системами уже рассматривались в кибернетике, но на существенно более простом уровне. Вместе с тем, наиболее общие результаты теории управления могут и должны быть использованы при разработке подобных систем.

При управлении такой системой необходимо учитывать взаимосвязи не только между отдельными переменными, но и между разными группами факторов. При этом в процессе деятельности возникает множество факторов, влияющих на устойчивость структурных и динамических отношений, целостность, а также на все показатели функционирования. Как и в других

сложных системах, здесь приходится принимать во внимание тот факт, что такая система является неустойчивой – например, в отдельных случаях относительно небольшие возмущения в организации движения поездов могут привести к существенно-му изменению режима работы всей транспортной сети. Поэтому поддержание всей транспортной системы в устойчивом работоспособном состоянии требует существенных ресурсов.

Моделирование поведения и управление такой системой должны рассматриваться в разрезе изучения таких фундаментальных определяющих факторов, как внутреннее устройство системы, ее состав (подсистемы и элементы), текущее глобальное состояние и среда, в которой протекают организующие ее процессы. Для сверхсложной системы требуется также исследование организации элементов более низких с точки зрения структуры иерархических уровней.

Предметом конкретных системных исследований в рамках общего подхода к построению системы управления железнодорожным транспортом является изучение:

- основных функциональных и технологических подсистем, их видов и типов;
- основных принципов и закономерностей поведения указанных подсистем и системы в целом;
- процессов развития этих подсистем (в том числе их адаптации и протекающих переходных процессов).

При этом основными науками и дисциплинами, развитый аппарат которых может оказаться востребованным в железнодорожных общесистемных исследованиях, являются:

- кибернетика как наука об общих закономерностях процессов управления и передачи информации;
- теория информации как раздел прикладной математики, аксиоматически определяющий понятие информации, её свойства и устанавливающий предельные соотношения для систем передачи данных;
- теория игр, позволяющая специфическими методами описать рациональную конкуренцию двух или более противодейст-

вующих сил с целью достижения максимального выигрыша и минимального проигрыша;

– теория принятия решений, обосновывающая рациональные выборы решений;

– «топологические» дисциплины, такие как теория сетей и теория графов;

– факторный анализ как раздел прикладной математики, обосновывающий выделение факторов в многомерных областях;

– общая теория систем в узком смысле, позволяющая определить применительно к железнодорожным системам ряд понятий, интегрально характеризующих взаимодействие, суммарное действие, централизацию и конкуренцию структурно-иерархических подсистем.

К прикладным наукам, имеющим непосредственное отношение к системным исследованиям, относятся:

– системотехника – планирование, проектирование, оценка и конструирование систем типа «человек – машина»;

– исследование операций – научное управление существующими системами людей, машин, материалов и т.п.

– имитационно-экспертное моделирование;

– методы прикладной синергетики.

Особо следует отметить, что в настоящее время приходится констатировать *неполную наблюдаемость* процессов функционирования железнодорожного транспорта. Многие процессы пока либо не поддаются прямому наблюдению, и о них можно судить только косвенно по некоторым конечным результатам, либо информация о них является недостоверной, неполной или неточной. Многие процессы не имеют количественной меры и определяются только качественными категориями (в том числе влияние отдельных лиц с учетом их приоритетного статуса). Некоторые процессы являются наблюдаемыми частично, что не дает полного представления о происходящих явлениях, к тому же зачастую имеет место запаздывание информации.

4. Сетецентрическая парадигма управления

Автономность составляющих элементов, разнообразие отношений, в которые они вступают в процессе целенаправленной деятельности, резко усилились за последние десятилетия. Произошел глобальный сдвиг управленческой парадигмы от иерархических к сетевым многоуровневым организационным структурам с единой информационной средой и распределенным, в значительной степени децентрализованным, управлением.

Учитывая сложность железнодорожной производственной системы, многообещающим на концептуальном и методологическом уровне является так называемый сетецентрический подход к созданию интеллектуальных управляющих систем нового поколения, который позволяет конструировать «системы систем», рассчитанные на их взаимодействие друг с другом на всех фазах производственного процесса.

Первоначально понятие сетецентрического подхода воспринималось в аспекте организации и ведения так называемых сетецентрических военных действий. Однако оказалось, что область возможного применения этих подходов намного шире.

Основная тенденция развития сетецентрической парадигмы – матричные информационно-управляющие системы, в основе которых лежит понятие «глобальной информационной решётки». Под этим понимается как вертикальная интеграция источников информации, узлов принятия решения и исполнительных органов, так и формирование горизонтальных связей между разнородными объектами, оперирующими циркулирующей в системе информацией. В таких системах интегрируются:

- различные форматы и типы данных;
- разнородные источники информации;
- различные способы обработки информации;
- разнообразные потребители информации.

Особенности сетецентрической организации. Сложность и разнообразие взаимодействий в сетецентрической организации предъявляют особые требования к системе управления, которая должна обладать следующими качествами:

- формирование единого координатно-временного поля, объединяющего элементы системы, информационные источники, события и данные;
- ограниченный набор стандартных компонентов, масштабируемых на всех уровнях организации по принципу рекурсии;
- интеграция разнородной информации, полученной от различных источников с перекрёстным уточнением;
- анализ и прогноз развития обстановки на всех уровнях (стратегическом, тактическом и операционном);
- способность к самоорганизации при выполнении локальных задач узлами одного уровня, минимальная эскалация на верхние уровни;
- быстрая адаптация к меняющимся условиям, перспективное планирование деятельности на всех уровнях сети.
- формирование механизмов автоматической и/или автоматизированной поддержки принятия решений;
- документирование всех событий и управляющих команд.

В сетевом подходе система строится как сеть подсистем, способных работать как полностью автономно, так и согласовывать свою работу в ходе взаимодействия. В таких системах нет центра управления, который управляет работой всех подсистем, но имеется супервизор, который наблюдает и оценивает результаты работы организации в целом.

Сетевый подход предопределяет новую организацию управления сложными процессами в распределённой коммуникационной инфраструктуре, реализующей максимальную ситуационную осведомлённость каждого узла при их переходе к коллективной согласованной работе для достижения поставленных целей. В результате взаимодействия узлов происходит динамическое перепланирование их поведения.

Неотъемлемой частью подобных систем является сеть распределённых сенсоров, сеть исполняющих элементов и сеть интеллектуальных информационно-управляющих элементов, осуществляющих анализ ситуации и принятие решений по управлению сенсорами и исполняющими элементами.

Процесс управления базируется не на традиционном иерархическом принципе, а на согласованном выполнении 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.

Важной чертой сетцентрических систем является активное использование методов искусственного интеллекта. Центральную роль при этом играют методы обработки информации в распределённых, но не обязательно иерархических системах принятия решения. Наряду с этим важны методы описания плохо формализуемых явлений и процессов, идентификации объектов. Отдельное направление исследований, востребованных в таких системах, – извлечение и формальное описание знаний.

Предметные области, в которых целесообразно создание систем на основе сетцентрического моделирования, как правило, допускают относительно адекватное описание в терминах логико-вероятностных моделей объектов и/или явлений, поскольку представляют собой трудноформализуемые области деятельности. При этом активно востребованы методы количественного анализа разнотипной эмпирической и феноменологической информации. Приходится также строить модели принятия решения на основе информации, полученной на основе малых выборок, статистически недостоверной информации, а зачастую и искаженной.

В сетцентрических системах вместо стандартных показателей качества функционирования отдельных технических подсистем оценивается эффективность функционирования управляемой системы «в целом».

Синергетический эффект в рамках сетцентрического подхода. Один из характерных признаков сетцентрической парадигмы – *синергизм*, проявляющийся в работе таких систем.

Синергетический эффект проявляется в работе различных составляющих сетцентрической системы. Во-первых, ввиду

масштабности системы и её нестационарности наблюдается высокий уровень информационной полноты и слабая коррелированность исходных данных; это является предпосылкой возникновения синергетического эффекта, который проявляется в возможности восстановления утерянной информации. Во-вторых, информационные потоки позволяют принимать самосогласованные решения, которые, как правило, обладают свойством субоптимальности, что также можно рассматривать как следствие синергетического эффекта. В-третьих, поскольку сетецентрическая система функционирует в едином координатно-временном поле, то управление, планирование и иные действия выполняются в едином информационном пространстве; синергия проявляется еще и в том, что управляющие команды для множества исполнительных органов формируются скоординировано во времени и в пространстве.

В итоге вся эта совокупность свойств порождает эмерджентность сетецентрической системы управления – эффект возникновения в целой системе новых качеств и свойств, которые не присущи ни одному из структурно-функциональных элементов, в нее входящих.

Сетецентрическая платформа: области применимости.

В настоящее время сетецентрические подходы уже достаточно широко реализуются не только в военной области, но и в сфере гражданского применения: государственное управление, бизнес, финансы, экономика, медицина, наука и техника. Стало общепризнанным, что такой принцип управления, улучшая оперативность и адаптивность каждого узла системы, повышает эффективность деятельности организаций.

Пример сетецентрических информационных ресурсов – сеть интернет. В этом случае налицо масштабность, нестационарность, а также нерегулярность и разнородность исходных данных. Другим примером являются сетецентрические вычислительные ресурсы, например, *Grid*-технологии и облачные вычисления. Обе технологии являются пространственно распределёнными и асинхронными; предоставление вычислительных

ресурсов и хранение данных осуществляется в результате локальных самосогласований.

Разработка и внедрение единой сетевцентрической платформы и стандартов разработки позволит отраслевым специалистам и разработчикам самостоятельно создавать новые, взаимодействующие между собой, функциональные подсистемы.

5. Мультиагентные технологии

Одним из перспективных подходов для реализации принципов сетевцентрического управления является разработка информационных систем на основе мультиагентных технологий. В ближайшем будущем с мультиагентными технологиями связывается новый этап в развитии управленческих и информационных технологий, которые по своей значимости постепенно выходят на уровень критических нано- и биотехнологий.

Причина такого стремительного развития этого направления связана с возможностью создания компьютерных систем нового поколения, использующих принципы самоорганизации и эволюции, характерные для поведения живых систем, например, колонии муравьев или роя пчел.

В целом мультиагентная система состоит из автономных агентов, способных воспринимать ситуацию, принимать решения и взаимодействовать с другими агентами. Решение любой сложной задачи в такой системе формируется эволюционным путем за счет взаимодействия десятков и сотен тысяч агентов, непрерывно конкурирующих и кооперирующих друг с другом. Это позволяет решать задачи очень высокой сложности, не поддающиеся решению другими способами, например, в области планирования и оптимизации ресурсов, распознавания образов, понимания текстов и других.

Мультиагентный подход к решению различных по своей природе сложных задач развивается с начала 90-х годов на стыке направлений по искусственному интеллекту, объектно-ориентированному и параллельному программированию, а также телекоммуникациям. Главное отличие в том, что если

обычно задачи решаются путем построения традиционных последовательных программ, то в мультиагентном подходе решение строится через согласованное взаимодействие асинхронно и параллельно работающих небольших автономных программ, действующих в интересах своих владельцев, но всегда способных идти на уступки ради общего решения задачи.

Агенты – это автономные программные объекты, действующие от лица и по поручению своих владельцев – представителей предметной среды. В контексте управления железными дорогами агенты могут рассматриваться представителями сенсоров, акторов, рабочих мобильных бригад, локомотивов и вагонов, путей сообщения, поездов, станций, дорог и т.п. В агентах описываются цели и задачи деятельности, сценарии поведения и правила принятия решений.

В отличие от традиционно пассивных программных объектов агент представляет собой постоянно активный объект, характеризующийся высокой степенью автономности. Агент имеет текущее состояние, собственные «сенсоры» для восприятия событий, цели, предпочтения и ограничения, а также сценарии принятия решений и коммуникации с другими агентами. Агента нельзя «вызвать» как обычную подпрограмму, но можно попросить выполнить ту или иную задачу, для чего он должен согласовать изменения в своих планах с другими агентами, что может вызвать волну «переговоров» для согласования решений.

Мультиагентные технологии в задачах динамического планирования. 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.

Это обеспечивает возможность поддержки принятия решений в реальном времени, что достигается за счет замены перебора вариантов решений, требующего больших вычислительных затрат, переговорами сторон, направленными на выявление

конфликтов и достижение компромиссов при построении сложных расписаний.

Важным достоинством этой технологии планирования и оптимизации ресурсов является возможность адаптивного построения и исполнения планов, когда план не строится всякий раз заново при возникновении новых событий, как это делается в классических методах оптимизации, а только корректируется по мере появления событий в реальном времени.

Агенты могут как конкурировать на виртуальном рынке, так и кооперироваться. Например, два вагона могут конкурировать за право везти груз заказчика или наоборот дополнять друг друга при большем объеме груза.

Новизна предлагаемого метода динамического планирования состоит в том, чтобы моделировать процесс распределения ресурсов и построения сложных расписаний через взаимодействие участников этого процесса, которые по определению имеют различные цели, предпочтения и ограничения.

Постоянная активность всех агентов сети вызывает многосторонние переговоры в системе, идущие асинхронно и квазипараллельно. При этом разрешение возникающих конфликтов между агентами может вызывать цепочку операций перепланирования, сдвигку заказов вправо или влево по шкале времени, обмен заказами между ресурсами и т.п. В то же время, если имеется запас времени, решение о выделении ресурса или сформированное расписание может подвергаться непрерывной, в том числе и классической оптимизации. Таким образом, в сети агентов реализуется способность системы оперативно реагировать на заранее непредвиденные события.

Следует отметить присущую многоагентным системам неустойчивость, когда малые изменения на входе системы породят большие изменения на выходе. Например, даже небольшое событие при определенных условиях может повлечь за собой кардинальную перестройку всего расписания движения поездов.

За счет представления задачи в форме, близкой к естественной, логика принятия решений системы становится более прозрачной как для программистов, так и пользователей, что позво-

ляет встраивать большое число эвристик без увеличения сложности кода и уменьшать общее время разработки системы; при этом результаты работы системы становятся более доступными для понимания пользователем.

Рассмотренный выше механизм мультиагентных переговоров может быть развит до уровня, напоминающего работу команды специалистов, которые при планировании ресурсов организуют «круглый стол» переговоров для выработки согласованных решений.

Мультиагентные технологии в задачах управления ресурсами. В настоящее время на рынке известны первые платформы для разработки мультиагентных систем. Для создания мультиагентных систем оперативного управления ресурсами в реальном времени разработан также ряд отечественных методов и средств, который позволил создать первое поколение мультиагентных систем для управления ресурсами и получить первый успешный опыт разработки подобного рода систем промышленного масштаба.

Первый опыт создания рассматриваемых систем промышленного масштаба показал, что для разработки прикладных систем управления мобильными ресурсами требуется создание интеграционной платформы, поддерживающей большое количество агентов, которые могут быть простыми, но обеспечивающими интеллектуальность в работе с расписаниями за счет множества взаимодействий, постоянной самоорганизации и непрерывной эволюции порождаемых решений.

Создание базовой версии такой интеграционной платформы с включением средств мультиагентного моделирования, позволит решать сложные задачи распределения, планирования и оптимизации использования ресурсов в реальном времени, приведет к сокращению сроков и стоимости разработок, повышению производительности, масштабируемости и надежности разработок.

Литература

1. МАКАРЕНКО А.В. *Введение в сетевые информационно-управляющие системы* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.rdcn.ru/estimation/2010/03042010.shtml>.
2. МАТЮХИН В.Г., ШАРОВ В.А., ШАБУНИН А.Б. *Управление железной дорогой онлайн* // Пульс управления. – 2012. – №1. – Режим доступа: <http://pult.gudok.ru/archive/detail.php?ID=420035>.
3. СКОБЕЛЕВ П.О. *Мультиагентные технологии в промышленных применениях: к 20-летию основания Самарской научной школы мультиагентных систем* // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2010. – №12. – С. 33–46.
4. 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. *Сетевый подход к разработке системы управления производственными процессами ОАО «РЖД»* // Труды международной научно-практической конференции «Управление большими системами–2011». Т.3. – М.: ИПУ РАН, 2011. – С. 222–225.

CONCEPTUAL MODELING OF CONTROL PROCESSES FOR RAILWAY TRANSPORT

Vladimir Matiukhin, JSC Research and Design Institute for Information Technology, Signaling and Telecommunications on Railway Transport, Doctor of Science (V.Matyukhin@gismps.ru).

Abstract: General control problems of contemporary railway transport are considered, such as technological principle of control, real-time control, integral and intelligent control. The main conceptual approaches to development and design of control systems for railway transport are defined.

Keywords: railway transport management, network-centric approach, multi-agent systems, integrated intelligent systems.