

О Т К Р Ы Т О Е А К Ц И О Н Е Р Н О Е О Б Щ Е С Т В О
«Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт
информатизации, автоматизации и связи
на железнодорожном транспорте»
Дочернее общество ОАО «РЖД»

Т Р У Д Ы
О А О « Н И И А С »

Выпуск 9

ООО «Группа ИДТ»
Москва 2011

УДК 656.2/.4
ББК 39.2

Труды ОАО «НИИАС». Сборник научных трудов. Выпуск 9.
М.: Изд-во ООО «Группа ИДТ», 2011. – 356 с.: ил.

ISBN 978-5-94833-098-3

Сборник «Труды ОАО «НИИАС» представляет собой научное издание Открытого акционерного общества «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте». Сборник содержит теоретические и практические результаты исследований, проводимых сотрудниками института по актуальным для железнодорожного транспорта проблемам.

Сборник может быть полезен научным и практическим работникам железнодорожной отрасли, преподавателям, аспирантам и студентам железнодорожных ВУЗов.

Печатается по решению
редакционной коллегии ОАО «НИИАС»

ISBN 978-5-94833-098-3 © Группа ИДТ, 2011

ББК 39.2

© ОАО «НИИАС», 2011
© Авторы, 2011

*Технологии
управления перевозками
и транспортное
обслуживание*

УДК 656.223

Ададуров С.Е.

Обеспечение интероперабельности перевозок в условиях реформирования железнодорожного транспорта

Ключевые слова:*интероперабельность, логистика, транспортная система,
интеллектуальный подвижной состав, телематика.*

Современная Россия, преодолев последствия мирового экономического кризиса последних нескольких лет, уверенно встала на рельсы модернизации. Все более тесная интеграция в мировую экономику, завершающаяся вступлением в ВТО, формирование единого таможенного пространства Россия–Белоруссия–Казахстан создают уникальные возможности для полноценного использования территориального преимущества нашей страны в качестве транзитной транспортной системы. Долгосрочные программы экономического развития страны, принятые на перспективу до 2030 г., вызывают необходимость проведения соответствующих реформ и в базовых отраслях промышленности. Федеральный железнодорожный транспорт, как и в прежние годы, остается ведущим звеном транспортной системы России. В долгосрочной перспективе железнодорожные перевозки останутся самым экономически эффективным способом транспортировки значительных по объемам стабильных потоков массовых грузов, доставляемых на средние и дальние расстояния. Но транспортная система эффективна тогда, когда она сочетает наличие современного подвижного состава, транспортной инфраструктуры, систем связи, информации, обладает достаточными финансовыми возможностями, исследовательско-аналитическими центрами и, что немаловажно, активно и с выгодой для себя использует все возможности нормативно-правового поля, международные

соглашения, нюансы национальных законодательств стран, в которых приходится действовать.

Завершение базовых структурных реформ, переход экономики в фазу роста, создание основ правовой базы работы транспорта в рыночных условиях и завершение этапа «отраслевого» развития транспорта создали предпосылки для формирования в России единой транспортной политики, комплексного развития транспортной инфраструктуры, интеграции преимуществ различных видов транспорта с целью повышения качества жизни и развития экономики.

Реформа осуществляется на принципах сохранения единой государственной инфраструктуры железных дорог и централизованного диспетчерского управления, государственного контроля за деятельностью железнодорожного транспорта, обеспечения управляемости, бесперебойности, устойчивости функционирования железнодорожного транспорта, безопасности движения поездов и экологической безопасности.

В этих условиях перед отраслевой наукой в полном объеме встают задачи интегрирования лучших мировых достижений в области создания новой техники, технологий, особенно связанных с обеспечением интероперабельности перевозок.

Анализ показывает, что за прошедшие десять лет существенно изменились условия работы российских железных дорог. Организация высокоскоростного пассажирского движения, разработка основ создания «интеллектуального» подвижного состава, активное внедрение новейших инфокоммуникационных технологий, использование спутниковых навигационных и геоинформационных систем для обеспечения задач поездной и маневровой работы, контроля за состоянием верхнего строения пути убедительно свидетельствует о правильности выбранной стратегии развития отрасли. Во многом Российские железные дороги, с их уникальными отраслевыми институтами, де факто становятся мировым центром развития новых железнодорожных технологий. Именно поэтому руководство отрасли ставит перед ОАО «НИИАС» задачи, которые включают в себя

реализацию крупных комплексных научных проектов на сети железных дорог. Это и производство научно-технической продукции, которая составит конкуренцию на зарубежном рынке технических средств; и участие в международных научно-технических проектах, что обеспечит высокое качество перспективных разработок, расширение масштабов бизнеса путем расширения перечня научно-технических продуктов и клиентской базы.

Обладая высоким научным потенциалом, свои основные усилия ОАО «НИИАС» сосредоточил на выполнении положений Программы реализации стратегических направлений научно-технического развития ОАО «РЖД» и на разработке конкретных проектов для сети железных дорог.

Эти направления включают в себя:

- создание современных технологий управления с использованием ситуационных моделей, мониторинговых прогнозных систем перевозочного процесса, логистики, формирования и использования динамических эксплуатационных резервов пропускной и провозной способности железнодорожных линий, применением интеллектуальных автоматизированных систем управления;
- создание интеллектуального подвижного состава и инфраструктуры на основе самодиагностируемых объектов инфраструктуры и подвижного состава, обеспечивающих передачу оперативной информации о техническом состоянии, остаточном ресурсе, целесообразности изменения режима работы или необходимости вывода из эксплуатации, сокращение удельного энергопотребления и затрат на эксплуатацию;
- обеспечение безопасности, экологичности и надежности перевозок.

Реализация вышеперечисленных проектов невозможна без четкой работы и взаимодействия всех систем автоматики и связи на железных дорогах страны. Поэтому одними из основополагающих требований к устойчивой работе инфраструктуры железнодорожного транспорта являются требования к надежности и безопасности телекоммуникационных структур, обеспечивающих эксплуатационную деятельность российских железных дорог.

Наряду с созданием интеллектуального подвижного состава, отрасль активно переходит на новую систему управления безопасностью движения. Неоднократно было отмечено, что ресурсы систем автоматического управления и регулирования на железнодорожном транспорте исчерпаны. Выход видится в создании систем следующего поколения, позиционирующихся как системы интеллектуального функционирования.

Успешно разрабатываются спутниковые технологии мониторинга подвижного состава и инфраструктуры сети, методы управления сортировочными процессами, использующие машинный интеллект (произведенный компьютерными системами) и естественный интеллект, реализованный техническими средствами (скопированный при анализе работы опытных операторов-горочников), технологии интеллектуального мониторинга искусственных сооружений железнодорожного транспорта.

Дальнейшее внедрение технологий интеллектуального функционирования позволит расширить географию применения искусственного интеллекта. Определяющими факторами при этом являются:

- создание новых технических средств и технологий, повышающих безопасность движения поездов;
- формирование новой системы управления с введением функций контроля над исполнением технологических процессов, прогнозирования и упреждения предотказных состояний.

Одним из важнейших направлений инновационного развития железнодорожной отрасли становится внедрение интеллектуальных комплексных автоматизированных систем, обеспечивающих повышение эффективности перевозочного процесса, уровня безопасности движения и снижение влияния человеческого фактора. Эта задача может быть реализована на основе комплексного проекта системы МАЛС (маневровая автоматическая локомотивная система), исключающей проезды запрещающих маневровых сигналов.

Одним из «прорывных» инновационных направлений реализации Стратегии-2030 является внедрение систем комплексного управления дви-

жением поездов, динамического мониторинга состояния инфраструктуры и подвижного состава с использованием спутниковых технологий. Внедрение спутниковых технологий в ОАО «РЖД» на современном этапе осуществляется в соответствии со «Стратегией развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года» (Стратегия-2030).

На их основе достигается обеспечение безопасности перевозок пассажиров и грузов, повышение скорости их продвижения, увеличения доли отправок грузов, доставленных «точно в срок», ускоренная контейнеризация перевозок, внедрение технологии мультимодальных логистических систем.

Специалисты отмечают два основных условия, при которых возможно осуществление «интероперабельности»: а) наличие узаконенных технических условий и б) наличие административных условий.

Под первым условием понимается четыре позиции: инфраструктура (ширина колеи, допустимый клиренс, соответствие электросистем, ширина и высота туннелей, соответствие сигнальных систем, систем безопасности движения и т.д.); подвижной тяговый состав (системы контроля движения, электросистемы, ширина (колеи-вагонные пары), системы связи, тормозные системы и системы сцепки и т.д.); внедрение ERTMS; разработка новых условий для регистрации локомотивов и вагонов.

Что касается административных условий, то основной акцент делается на улучшение качества железнодорожных перевозок, а именно, на ликвидацию барьеров, связанных с наличием «местного национального административного мышления», и переход к системам электронного управления, ликвидацию различий в подходах к управлению железнодорожным транспортом в зонах ОСЖД (членами организации являются страны с колеей 1520 мм) и КОТИФ (страны ЕС), дальнейшее упрощение нормативно-правовых актов в части, касающейся таможенного оформления, других транспортных законов, и «выход или приближение» к нормативно-правовым подходам автомобильного транспорта, принятие мер по снижению времени простоя на погранпереходах, выстраивание взаимоприемлемых телекоммуникационных систем и повсеместное внедрение стандартной телематики.

Эти задачи по повышению интероперабельности являются одними из приоритетных направлений деятельности института.

Другим, не менее важным аспектом в период структурной реформы железнодорожного транспорта является максимально возможное внедрение передовых спутниковых технологий в перевозочном процессе. ОАО «НИИАС» – головная организация ОАО «РЖД» в сфере внедрения спутниковых технологий. Здесь был разработан и успешно внедрен на опытных полигонах целый комплекс спутниковых технологий и технических решений, среди которых можно выделить систему диспетчерского контроля за выполнением работ по лубрикации и эффективностью использования подвижных рельсосмазывателей на основе применения спутниковых технологий ГЛОНАСС/GPS; систему диспетчерского контроля над специальными самоходными подвижными средствами (ССПС); систему мониторинга дислокации и поддержки принятия решений по направлению восстановительных поездов (ВП). Разработаны программно-аппаратные средства получения и передачи по спутниковым каналам подвижной связи на основе системы «Инмарсат» оперативной телерепортажной съемки с места чрезвычайной ситуации.

Инновационная технология планирования, мониторинга и анализа работы специальной техники при производстве работ по ремонту инфраструктуры железных дорог с использованием спутниковых технологий обеспечивает оптимизацию управления работами по ремонту и содержанию железнодорожной инфраструктуры в «окно». Отрабатывается комплекс технических решений по созданию на их основе центра управления ремонтной техники в рамках всей отрасли.

Система управления пригородными перевозками на базе спутниковых навигационных данных ГЛОНАСС/GPS позволяет осуществлять оперативный контроль не только за дислокацией, но и за параметрами движения поездов.

Разнообразные примеры современных, реально действующих систем интеллектуального функционирования можно также увидеть в действии в

системах «Автодиспетчер» и «Информационно-аналитическая подсистема поддержки принятия решений для оперативно-диспетчерского и эксплуатационного персонала автоматизированной сортировочной горки», разработанной и внедренной Ростовским филиалом ОАО «НИИАС» на ряде сортировочных горок страны.

Суть нового этапа развития систем автоматизации заключается в осуществлении перехода от отдельных интеллектуальных технологий к созданию комплексных систем в сфере обеспечения безопасности и управления движением, управления перевозочным процессом и логистическими операциями, мониторинга состояния инфраструктуры, инженерно-геодезического обеспечения работ по проектированию, строительству и эксплуатации железных дорог.

Приоритетными направлениями создания таких комплексных систем на период до 2015 г. являются следующие:

- системы управления для интеллектуального железнодорожного транспорта, включая безопасность движения, интервальное регулирование движением поездов и управление перевозочным процессом на основе динамического контроля над перемещением подвижного состава, пассажиров и грузов в режиме реального времени;
- интеллектуальные системы управления поездной и станционной работой нового поколения на основе информационно-управляющих систем моделирования и анализа перевозочного процесса;
- системы мониторинга состояния инфраструктуры железных дорог, включая аэрокосмические средства геотехнической диагностики участков железнодорожного пути и выявления потенциально опасных природно-техногенных процессов с целью снижения рисков при эксплуатации инфраструктуры железных дорог;
- высокоточные координатные системы на основе применения наземных дифференциальных корректирующих станций ГЛОНАСС/GPS для формирования специальных реперных систем нового поколения для скоростных и высокоскоростных магистралей, инженерно-геодезиче-

- ских работ в обеспечение проектирования, строительства, ремонта и содержания объектов железнодорожной инфраструктуры;
- системы комплексной диагностики, в результате которой появилась возможность прогнозировать отказы компонентов и осуществлять планирование профилактических осмотров и ремонта подвижного состава до того, как он получит серьезные повреждения и создаст нагрузки для пути и сооружений;
 - системы информационного обеспечения ситуационных центров, обеспечивающих достижение синергетического эффекта от внедрения инноваций в данной области.

Общий замысел внедрения указанных комплексных информационно-управляющих систем, обладающих интеллектуальными свойствами, имеет главную цель – оптимизацию управления инфраструктурой и перевозочным процессом при обеспечении высокого уровня безопасности движения поездов и качества транспортного обслуживания. Еще совсем недавно комплексы железнодорожной автоматики и телемеханики рассматривались как самостоятельно функционирующие системы, сейчас они интегрируются в функциональном, техническом, информационном плане в общую систему управления перевозками как важнейший элемент обеспечения эффективности перевозочного процесса наряду со связью, системами обработки информации, поддержки и принятия решений. Такое направление развития лежит в основе создания систем интеллектуального железнодорожного транспорта.

Дальнейшее интегрирование ЖАТ в общую систему управления перевозочным процессом подразумевает повышение интенсивности поездопотоков за счет применения спутниковых технологий и систем моделирования работы железнодорожных участков. Базовым элементом в этой системе является информация ЖАТ, которая позволит значительно улучшить управление перевозочным процессом.

Однако без единого координатного пространства всех хозяйств ОАО «РЖД» невозможно построение реальных геоинформационных си-

стем. Опыт показывает, что вопросы и проблемы ГИС должны быть проработаны и в хозяйстве ЖАТ. Расположение кабельных сетей, расстановка мачт, элементов грозозащиты и т.д. должны лечь в основу единой геоинформационной системы ОАО «РЖД», созданной ОАО «НИИАС».

В разработанной Стратегии развития ОАО «НИИАС» до 2015 г. определена миссия института, которая заключается в создании и применении новых технологий, автоматизированных систем управления, информационных систем и информационных продуктов, позволяющих получить наибольший совокупный положительный эффект от их внедрения и использования как в сфере железнодорожного транспорта, так и в смежных областях. Это в полной степени соответствует задачам, которые стоят и перед ОАО «РЖД» по дальнейшему развитию перевозок и их интероперабельности.

Шаров В.А.

Концепция интегрированной технологии управления движением грузовых поездов по расписанию

Ключевые слова:

твердый график, маршрутные отправки, управление движением, себестоимость перевозки, процессная модель управления перевозками.

В ОАО «Российские железные дороги» в настоящее время проводится работа по организации обращения грузовых поездов по твердому графику при перевозке грузов маршрутными отправками между крупными грузоотправителями и грузополучателями, а также перевозке ценных или скоропортящихся грузов с повышенной скоростью по расписанию (рис. 1).

Рассмотрим концепцию интегрированной технологии управления движением грузовых поездов по расписанию. Следует подробнее выделить технологию работы с повагонными отправками грузов, доля которых сегодня составляет около 60%, а себестоимость и трудоемкость перевозки наиболее высоки.

В бизнесе «Грузовые перевозки» ОАО «Российские железные дороги» исполняет и будет исполнять роль общесетевого публичного перевозчика, внедряя передовые инновационные технологии в области управления транспортным бизнесом, продолжит формировать новую линейку транспортных продуктов и повышать уровень клиентского сервиса.

Для большинства отправок важна не скорость их доставки, а своевременность. Для массовых грузов важна регулярность их доставки, для ценных и скоропортящихся – скорость доставки, а для повагонных – гарантированность в заданный интервал времени. Отдельно можно рассматривать специальные поезда, для которых более важным является регламент пропуска, учитывающий особенности груза (негабаритные отправки, опасные и др.).

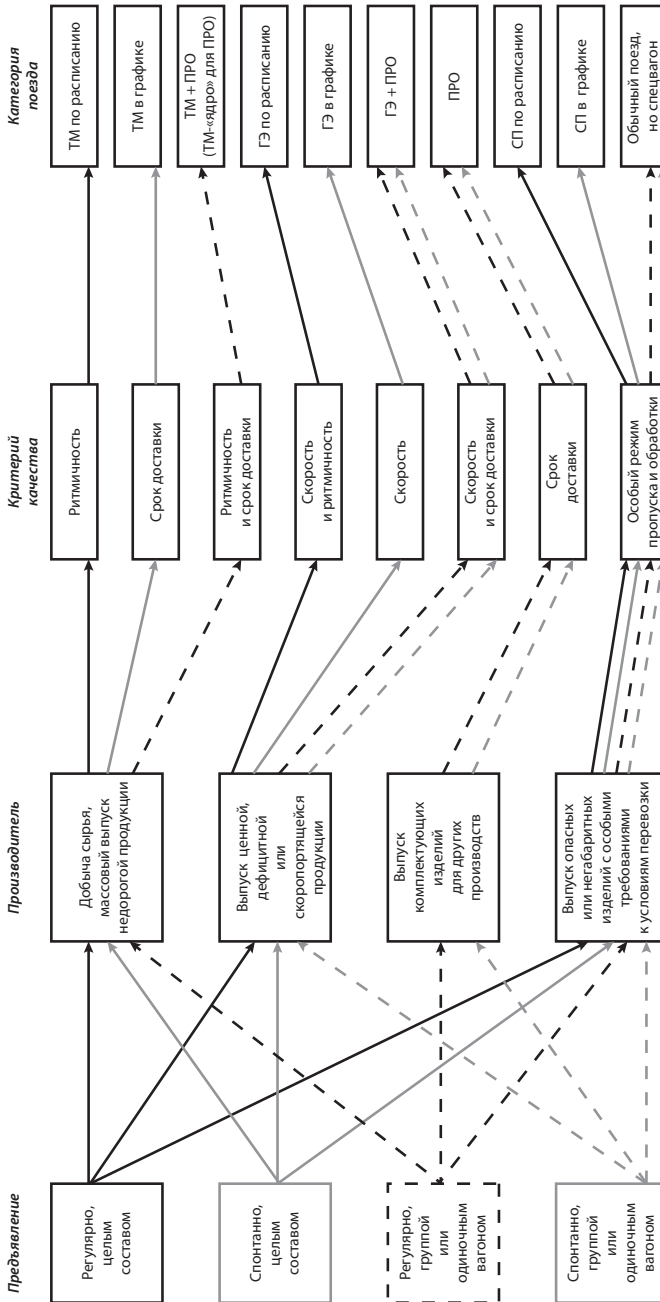


Рис. 1. Выбор категории грузового поезда для доставки отправки в зависимости от характера предъявления груза к перевозке, характера производства у потребителя и требований к режиму доставки: ТМ – регулярная доставка массовых грузов – технологический маршрут; ГЭ – ускоренная доставка грузов по установленным расписаниям – грузовой экспресс;

ПРО – гарантированная доставка грузов в заданный интервал времени – поезд регулярного обращения;
СП – специальные перевозки – специальный поезд

Алгоритм выбора категории грузового поезда для доставки отправки в зависимости от характера предъявления груза к перевозке, характера производства у потребителя и требований к режиму доставки разработан.

Характерно, что выделенные категории поездов требуют существенно меньшей традиционной переработки на технических станциях с ожиданием накопления и могут следовать по технологии «с обменом групп вагонов», тем самым снижая себестоимость перевозки. Перевозку грузов, предъявляемых как повагонные отправки, предлагается осуществлять в поездах регулярного обращения (ПРО), следующих по расписанию. В их организации большая роль отводится сортировочным станциям, которые станут настоящей «фабрикой» по подготовке грузовых поездов на нитку графика или расписание.

При отправлении грузовых поездов по готовности (технология, традиционная сегодня для отечественных железных дорог) время готовности состава, локомотива, локомотивной бригады, наличие свободной нитки графика, взаимозуязка ниток по лежащим впереди техническим станциям носят вероятностный характер, что увеличивает непроизводительные простои (рис. 2, а).

При этом поезда, при их готовности, отправляются с начальных станций либо по ближайшей свободной нитке графика в нужном направлении, либо в любое время при свободных перегонах (выходных блок-участков), и следуют далее по участку, выдерживая графиковые времена хода, межпоездные и станционные интервалы.

При такой технологии в существующих условиях оперативного планирования поездной работы на удлинённых участках обращения локомотивов из-за малых глубины и точности прогноза вагонопотоков невозможно обеспечить своевременную пересылку локомотивов резервом «по регулировке». Это приводит к тому, что на отдельных станциях накапливается избыточное число локомотивов, а в других пунктах их численность оказывается недостаточной для своевременного вывоза готовых поездов. Вследствие этого возрастают дополнительные простои готовых составов в ожидании отправления.

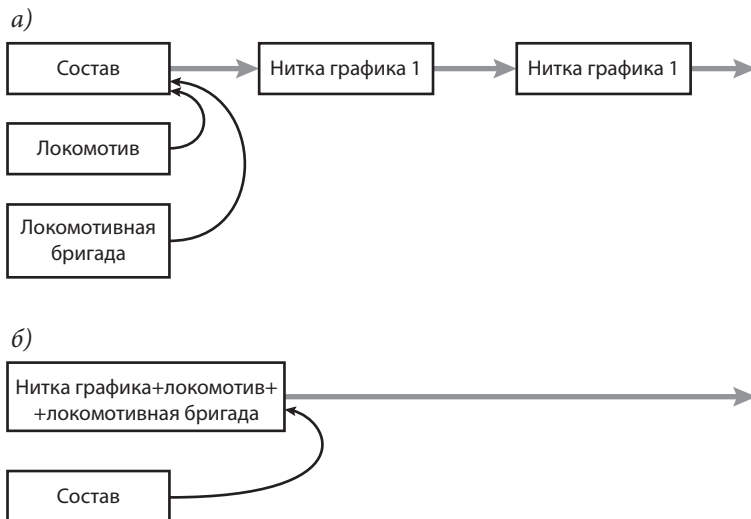


Рис. 2. Согласование процессов составообразования и отправления поездов:

а) отправление грузовых поездов по свободным ниткам графика;

б) грузовое движение по твердому расписанию

В случае применения технологии движения грузовых поездов по расписанию состав готовится к отправлению по твердой нитке (расписанию), не только обеспеченной локомотивом и локомотивной бригадой (на основе заданного на определенный период графика оборота локомотивов), но и согласованной по направлению следования (рис. 2, б), что существенно уменьшает непроизводительные потери.

Формирование каждого состава при этом осуществляется таким образом, чтобы подготовить его ко времени заданной нитки графика, обеспеченной локомотивом и локомотивной бригадой. В этом случае, при изменениях интенсивности вагонопотока, используют гибкие нормы веса и длины отправляемых поездов при неизменности регулярности и ритма эксплуатационной работы. Такая технология наиболее полно отвечает современным условиям перевозок и требованиям гарантированной доставки груза клиентуре в установленный срок.

Надежность и качество перевозочного процесса – практически главное в производственной деятельности ОАО «РЖД». Важнейшими компонентами здесь являются: во-первых, качество составления графика движения поездов всех категорий; во-вторых, своевременность его адаптации к изменениям спроса на перевозки; в-третьих, надежность его выполнения.

Последняя задача вовсе не ограничивается достижением высоких средних процентов соблюдения графика движения поездов разных категорий, как это принято считать. Немало примеров, когда при высоких процентных показателях выполнения графика грузовых поездов имели место низкие показатели использования подвижного состава и несвоевременная доставка грузов.

Безусловно, важно переходить от существующего поучасткового учета выполнения графика к оценкам как продвижения поездопотоков на маршрутах следования, так и процессов перехода вагонов из поезда в поезд на станциях. Но еще важнее усовершенствовать систему диспетчерского руководства движением поездов, чтобы она вырабатывала:

- наиболее быстрые способы восстановления графического движения при различных сбоях;
- наиболее экономичные способы продвижения транспортных потоков при графическом ходе эксплуатационной работы.

Традиционное планирование платежеспособного спроса на грузовые перевозки с детализацией корреспонденций по схеме «отправитель – вид отправки – требование к режиму продвижения – получатель» сбытовым блоком, опирающимся только на уже имеющиеся заявки и контракты, не позволяет заблаговременно предоставить Дирекции управления движением информацию, необходимую для оптимального планирования грузовых перевозок по расписанию. Организаторы перевозочного процесса при реализации грузовых перевозок вынуждены все время «догонять и подстраиваться» под возникающую эксплуатационную ситуацию. Предлагается эту задачу решать, действуя «на опережение».

В новой системе управления перевозочным процессом на этапе планирования на основе глубоких маркетинговых исследований и ретроспективного анализа следует установить потенциальный платежеспособный спрос (по объему, по порционности отправок, по режиму и маршруту следования отправки и другим показателям качества транспортного обслуживания).

Это позволит строить нормативный график движения с четким выделением «ядра» грузовых поездов с регулярным обращением (по расписанию) между станциями зарождения и погашения вагонопотоков в течение года и по более коротким периодам (в том числе сезонным). Затем заблаговременно всем грузоотправителям будет объявлен набор транспортных услуг в форме расписаний обращения грузовых поездов разных категорий и с разными сервисными условиями (между крупными транспортными узлами, городами-миллионниками, крупными производителями и потребителями и т.д.). Это позволит экспедиторам решать задачи оптимизации построения логистических цепочек перемещения грузопотоков между производителями и потребителями.

Сбытовой блок получает возможность продавать доступ к железнодорожной инфраструктуре в форме вагоно-мест в грузовом поезде, следующем по расписанию (по «нитке графика»). «Вагоно-места» в грузовом поезде, следующем по расписанию, все пользователи услугами ОАО «РЖД» могут приобрести на равных правах. При этом владельцы долгосрочных контрактов, осуществляющие перевозки маршрутными отправлениями, могут приобретать все «вагоно-места» в нужных им поездах, то есть, по существу, покупая «нитки графика» на весь период действия контракта. Отправители грузов отдельными вагонами приобретают «вагоно-места» в поездах регулярного обращения между техническими станциями и в поездах регулярного обращения, обслуживающих технические станции (вывозные, передаточные и сборные поезда).

При отсутствии груза на «купленную нитку графика» или возникновении высокой вероятности опоздания доставки вагонов для прицепки к поездам регулярного обращения отправители должны заблаговременно

предупредить об этом РЖД, чтобы эти «вагоно-места» оказались доступны для других отправителей. При этом обязательно должно быть правовое запрещение на перепродажу «ниток графика» и «вагоно-мест», чтобы исключить возможности спекуляций на дефиците пропускных способностей инфраструктуры железных дорог отдельных направлений. Этот важный вопрос требует очень серьезной проработки, в том числе и с учетом большого положительного опыта зарубежных железных дорог.

Работа с «ядром» грузовых поездов, следующих «по расписанию», уже реализуется на ряде российских железных дорог. На втором этапе предполагается разработать и реализовать технологию работы по расписанию всех поездов на выделенных опытных полигонах.

В перспективе, после отработки новой технологии и учета основных технических, технологических и внешних рисков при ее реализации, все поезда на сети РЖД будут обращаться по графику с адаптивным расписанием. Для этого должен измениться и подход к предложению доступа к инфраструктуре железнодорожных линий с учетом ее наличной и потребной пропускной способности (рис. 3).

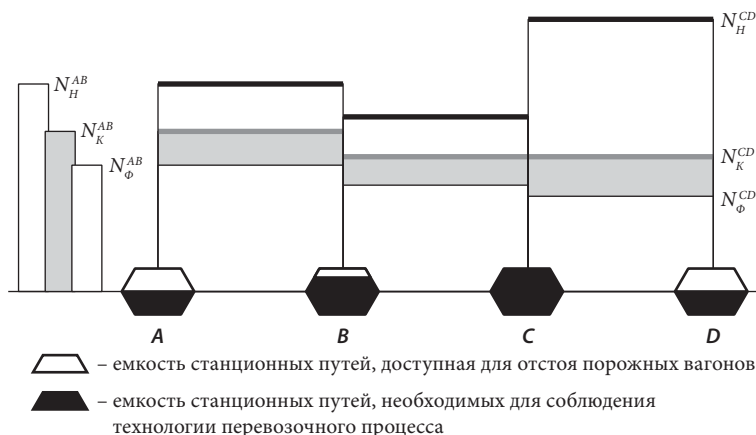


Рис. 3. Новый подход к использованию пропускной способности линии: N_H – наличная пропускная способность линии; N_K – сервисная пропускная способность линии; N_Φ – фактическая потребность в пропускной способности

Дирекции управления движением, тяги и инфраструктуры – филиалы ОАО «РЖД», после сопоставления наличной и потребной пропускной способности объектов инфраструктуры на направлениях, через ЦФТО предложат пользователям услугами железнодорожной инфраструктуры сервисную пропускную способность в виде «ниток графика» или «расписаний», обеспеченную емкостью станционных путей и локомотивной тягой, выдерживающую нормативное время на работы по содержанию инфраструктуры в исправном состоянии и ее модернизацию.

В таком графике предусматриваются: «ядро ниток графика», утверждаемое на год или иной длительный период, и «сезонные нитки или нитки на более короткий период», которые гарантированно обеспечиваются локомотивами и локомотивными бригадами.

Кроме того, при наличии резерва между наличной и сервисной пропускными способностями остается возможность прокладывать «разовые нитки следования поезда» по заказам клиентов. Такая ситуация может появляться при возникновении новых не предусмотренных маршрутов следования грузовой отправки, неожиданном росте объемов грузовых и пассажирских перевозок на существующих маршрутах.

Имеется богатый отечественный опыт организации работы по расписанию грузовых поездов. Это и работа по расписанию в железнодорожных узлах (больше известная под названием «Пермский метод»), и календарная погрузка «по направлениям» («Белорусский метод»), и НПГРТУ (непрерывный план-график работы транспортного узла) на Октябрьской железной дороге, и межотраслевая технология «РИТМ», и многие другие.

Ретроспективный анализ показал, что все эти передовые методы работы по расписанию в свое время прекращали существование по вполне конкретным причинам. В первую очередь это:

- низкая мотивация исполнителей в строгом соблюдении нормативного графика движения поездов;
- ориентация диспетчерского аппарата на выполнение локальных эксплуатационных показателей;

- высокая вероятность технических отказов объектов инфраструктуры и подвижного состава;
- недостаточное или несвоевременное обеспечение информацией о реальном текущем спросе на перевозки или о ходе перевозочного процесса.

Сегодня количество причин только возросло, в первую очередь из-за наличия на сети частного подвижного состава с неопределенным правовым обеспечением эксплуатации. Тем не менее считаем, что все эти помехи вполне могут быть решены, хотя на это потребуются большие усилия и время.

Подобная технология работы с повагонными отправлениями была рассмотрена на рабочей группе по железнодорожному транспорту Комитета по внутреннему транспорту ООН в рамках доклада «Видение будущих интеллектуальных железнодорожных систем» в октябре 2002 г., что подтверждает правильность взятого курса российских железных дорог на качество транспортного обслуживания, изложенного в ТЗ на АКС ФТО еще в 1996 г.

Запоздалая востребованность этих технологий объясняется тем, что в последние годы российские железные дороги не испытывали острого дефицита производственных мощностей (в первую очередь пропускных способностей основных железнодорожных направлений и парков подвижного состава).

Сегодня, в условиях роста коэффициента порожнего пробега грузовых вагонов, снижения его производительности, увеличения встречных перевозок взаимозаменяемых типов вагонов, появления дефицита станционных путей для отстоя частных порожних вагонов в ожидании их заадресовки, компании требуется по-новому подойти к организации доступа к инфраструктуре ОАО «РЖД», скоординировать действия всех подразделений компании по повышению провозной способности и производительности труда.

В основу разрабатываемой процессной модели будет положена «Технология централизованного управления перевозками во взаимодействии дирекций управления движением, тяги, инфраструктуры и сбыта», утвержденная первым вице-президентом ОАО «РЖД» В.Н. Морозовым 1 апреля 2009 г. №5731, и ранее выполненные ОАО «НИИАС», ОАО «ВНИИЖТ» и Гипротранстэи исследования.

Таблица 1. Основные особенности задач оперативного управления

Этапы управления	Традиционная технология	Новая технология
1. Техническое нормирование эксплуатационной работы	Определение среднесуточных количественных и качественных показателей перевозочной работы и использования подвижного состава	Определение количественных и качественных показателей и варианта технологии, обеспечивающего их
2. Сменно-суточное планирование поездной и грузовой работы	Уточнение количественных показателей технических норм с учетом оперативной ситуации	Проверка возможности вывоза планируемого вагонотока по ниткам твердого графика и назначение дополнительных поездов
3. Регулирование локомотивами на участках их обращения	Балансовый расчет регулировочных мероприятий по локомотивам	Работа по графику оборота локомотивов, обслуживающих твердые нитки, и пониточное/пономерное регулирование остальных локомотивов
4. Текущее планирование поездной работы	Назначение поездов на основе планов поездообразования, рассчитываемых каждой станцией при фиксированном плане формирования поездов	Совместный расчет планов поездообразования для группы взаимодействующих станций при вариантном плане формирования поездов
5. Диспетчерское руководство движением на участках и расформированием-формированием поездов на станциях	Разработка регулировочных мероприятий без взаимовязки решений на основе графика	Регулирование направлено на обеспечение подготовки назначенных грузовых поездов на нитки графика, пропуска поездов по расписанию и работы локомотивов по графику оборота

Необходимы адекватные методы управления поездной работой, позволяющие правильно реализовывать эффективные технологические решения в оперативной обстановке. В табл. 1 представлены принципиальные различия новой технологии оперативного управления и традиционной.

Сейчас важно отработать технологии формирования таких расписаний, организации и обеспечения перевозочного процесса, показать всю их выгоду операторам подвижного состава, которые смогут строить всю логистику перевозки «от двери до двери», в том числе с участием других видов транспорта.

В основе предлагаемых разработок следует использовать теорию процессного подхода. Цель использования процессной модели управления перевозками является обеспечение эффективного взаимодействия дирекций управления движением, тяги, инфраструктуры и сбыта и компаний-операторов для выполнения принятого плана перевозок и эффективного управления затратами по всем элементам управления.

Для достижения синергетического эффекта технология управления движением грузовых поездов по расписанию на отечественных железных дорогах должна:

- 1) опираться на процессные модели, упорядочивающие информационные потоки, конкретизирующие (и в итоге оптимизирующие) функции взаимодействующих подразделений в корпоративной системе управления по вертикальным дирекциям и в целом в холдинговой структуре Российских железных дорог;
- 2) внедряться с одновременной перестройкой системы организации вагонопотоков с расширением практики формирования групповых поездов и согласованного подвода вагонопотоков;
- 3) «встраиваться» в логистические схемы операторов подвижного состава и в технологию взаимодействия с крупными грузообразующими, грузопогашающими и грузоперевалочными комплексами;
- 4) предусматривать развитие специальных программных комплексов для оптимизации разработки базовой технологии и ее адаптации к меняющимся условиям работы.

Этапность внедрения рассматриваемой технологии поездной работы должна устанавливаться на основе анализа структуры и устойчивости поездопотоков, оценки планируемой эффективности (рис. 4). Организация движения грузовых поездов по расписанию требует решения как внутренних, так и внешних задач.

Особое внимание должно быть уделено техническим, технологическим и внешним рискам нарушения расписаний с учетом большого исторического опыта (рис. 5).



Рис. 4

К внешним рискам относятся не только перебои в движении по причинам, не связанным со структурами РЖД, но и недостаточное правовое обеспечение новой технологии обращения грузовых поездов.

Нужна обязательная консолидированная ответственность за реализацию и обеспечение работы по расписанию всех участников перевозочного процесса (грузоотправителей, грузополучателей, компаний-операторов, железнодорожников, таможенников, пограничников и др.).

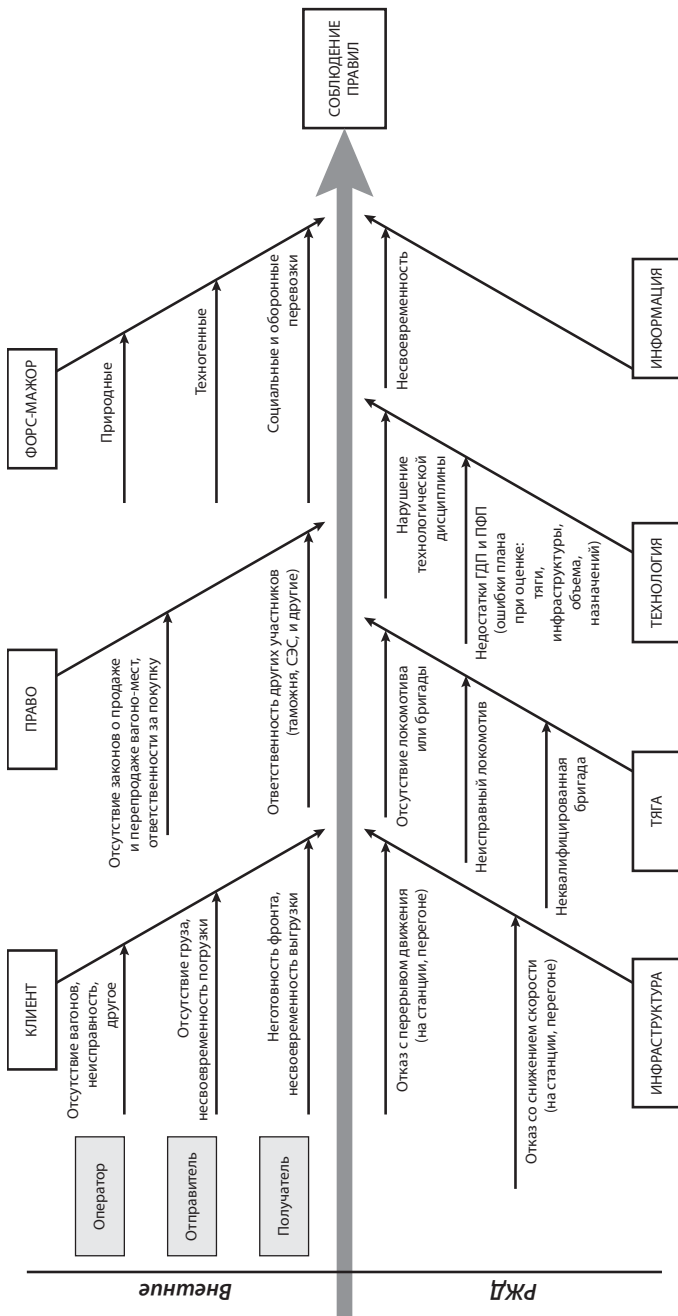


Рис. 5

Основные этапы и работы проекта внедрения технологии управления движением грузовых поездов по расписанию представлены на рис. 6, укрупненный план-график разработки и внедрения технологии – на рис. 7.

Развернутые эксплуатационно-технические требования к интегрированной технологии управления движением грузовых поездов по расписанию должны определить порядок анализа транспортных потоков, с учетом которого должно быть выполнено технико-экономическое обоснование полигонов и этапности внедрения технологии.

На основе технико-экономической проработки предполагается подготовить программу внедрения технологии управления движением грузовых поездов по расписанию на 2011–2015 гг. Этапность и перечень полигонов внедрения в данной программе подлежат уточнению после рассмотрения научно-техническим советом ОАО «РЖД» результатов научно-технических работ и практической реализации новой технологии на базовых полигонах в 2011–2012 гг.

Интегрированная технология управления движением грузовых поездов по расписанию должна быть разработана как совокупность типовых (продуктовых) технологических модулей, которые можно: настраивать и адаптировать к особенностям конкретных полигонов внедрения; объединять в разных сочетаниях в зависимости от структуры и динамики транспортных потоков; включать в технологические процессы Диспетчерских центров управления перевозками на региональном и сетевом уровнях.

Важнейшим компонентом внедрения новой технологии в сетевом масштабе является подготовка производственного персонала. По результатам разработок и внедрения на базовых полигонах должна быть сформирована программа обучения, реализуемая на современных образовательных технологиях.

Данные проведенного SWOT-анализа (табл. 2) подтверждают эффективность поэтапного внедрения технологии управления движением грузовых поездов по расписанию, и вместе с тем определяют задачи, над которыми следует работать для минимизации внутренних и внешних рисков.

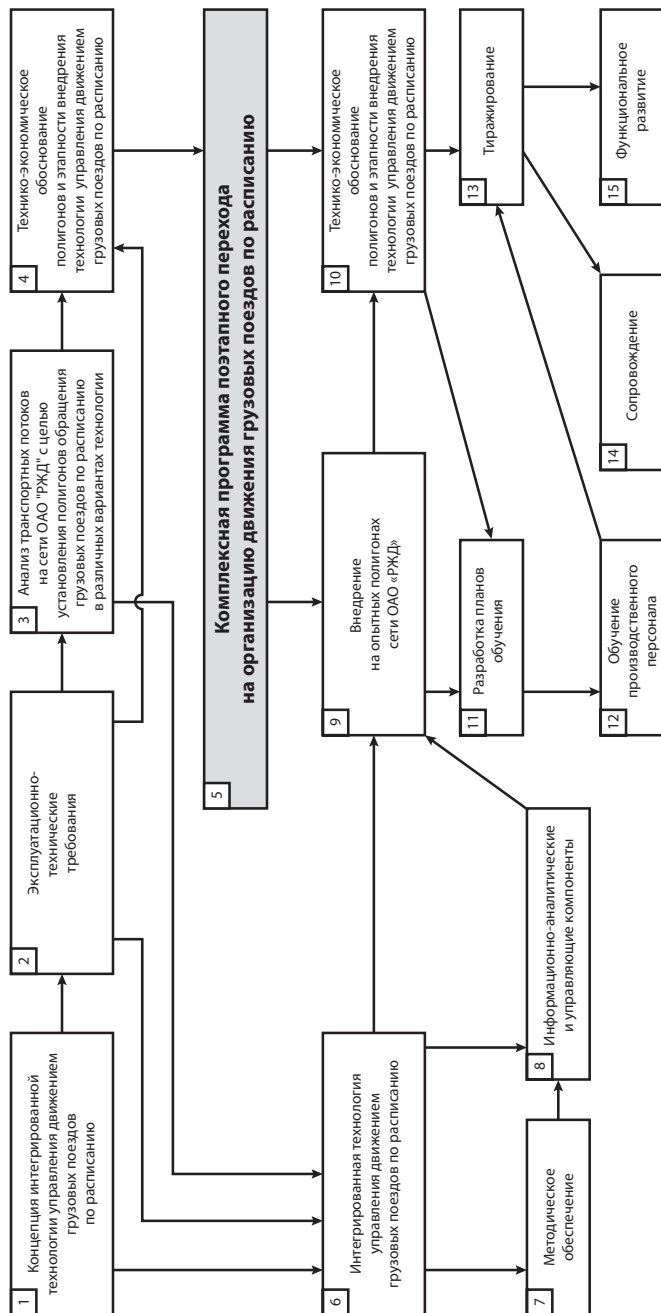


Рис. 6. Основные этапы разработки и внедрения технологии управления движением грузовых поездов по расписанию

Наименование этапов	2010	2011	2012	2013	2014	2015
1. Концепция интегрированной технологии управления движением грузовых поездов по расписанию	■					
2. Эксплуатационно-технические требования	■					
3. Анализ транспортных потоков на сети ОАО «РЖД»	■					
4. Технико-экономическое обоснование полигонов и этапности внедрения технологии управления	■	■				
5. Комплексная программа поэтапного перехода		■				
6. Интегрированная технология управления движением		■				
7. Методическое обеспечение		■				
8. Информационно-аналитические и управляющие компоненты		■	■			
9. Внедрение на опытных полигонах		■	■			
10. Оценка результатов и актуализация комплексной программы			■			
11. Разработка планов обучения				■		
12. Обучение производственного персонала				■	■	
13. Тиражирование				■	■	
14. Сопровождение				■	■	
15. Функциональное развитие				■	■	

Рис. 7. Укрупненный план-график разработки и внедрения технологии управления движением грузовых поездов по расписанию

Таблица 2. SWOT-анализ технологии управления движением грузовых поездов по расписанию

S – сильные стороны	O – возможности
<ul style="list-style-type: none"> • улучшение использования тяговых и энергетических ресурсов, вагонного парка и мощностей инфраструктуры • согласованное продвижение поездов по специализированным ниткам на направлениях большой протяженности • обеспечение оперативно-диспетчерского персонала возможностью регулирования по отклонениям от базовой графической технологической схемы • улучшение организации труда локомотивных бригад и повышение безопасности движения поездов • улучшение условий для текущего содержания технических устройств • своевременная постановка локомотивов на техническое обслуживание и текущие ремонты 	<ul style="list-style-type: none"> • разработка и внедрение новой линейки перевозочных продуктов с гарантированным обеспечением своевременной доставки грузов и порожних вагонов • обеспечение сквозных транспортно-логистических схем взаимодействия с другими железнодорожными инфраструктурами общего и необщего пользования, другими видами транспорта, операторами подвижного состава • обеспечение регламентированного режима функционирования малоделятельных железнодорожных станций и участков • практическая реализация Правил доступа к железнодорожной инфраструктуре общего пользования
W – слабые стороны	T – угрозы
<ul style="list-style-type: none"> • необходимость соблюдения более высоких требований к качеству разработки и актуализации плана формирования и графика движения грузовых поездов, их реализации в станционных технологиях и тяговом обслуживании • необходимость более высокой квалификации оперативно-диспетчерского персонала всех уровней управления движением • необходимость высокого уровня технологической дисциплины всех участников перевозочного процесса • необходимость внедрения новой системы показателей и стимулирования участников перевозочного процесса 	<ul style="list-style-type: none"> • недостаточность нормативно-правовой базы, регулирующей взаимоотношения ОАО «РЖД» с операторами подвижного состава и грузообразующей средой • дефицит ресурсов инфраструктуры и тяги на ряде грузонапряженных направлений сети • недостаточная достоверность планирования погрузки по назначениям в сводном заказе и неопределенность предстоящих рейсов порожних вагонов • нарушения планов проведения ремонтно-строительных работ в «окна» • сверхнормативное количество предупреждений об ограничении скорости движения поездов и отказов технических средств

Стабилизация грузового движения открывает дополнительные возможности для сокращения издержек железнодорожного транспорта за счет снижения числа остановок поездов в зонах с повышенным расходом топлива и электроэнергии, а также для уменьшения размеров движения в периоды суток с лимитированным расходом электроэнергии на тягу поездов. На малодейственных и тушиковых линиях пропуск поездов строго по ниткам графика позволит сократить число смен работы станций или законсервировать ряд отдельных пунктов и перейти на график движения с увеличенным периодом.

Новая технология может занять достойное место в регионах сети, «богатых» хроническими затруднениями в эксплуатационной работе. В ближайшей перспективе вряд ли удастся изжить случаи «бросания» грузовых поездов на участках, особенно на подходах к портовым и пограничным станциям. Движение грузовых поездов по расписанию позволяет заблаговременно оценить резервы путевого развития как промежуточных, так и участковых станций, определить варианты остановки составов с минимальными потерями участковой скорости и ущербом для продвижения других поездов, которых не касаются возникшие затруднения.

Стабилизация грузового движения снижает его внутрисуточную неравномерность, повышает надежность тягового обеспечения и тем самым создает резервы пропускной способности для более качественного транспортного обслуживания владельцев грузов, а значит, и для повышения доходов железнодорожного транспорта.

Сам факт привлечения на железнодорожный транспорт дополнительных объемов грузов за счет повышения качества транспортного обслуживания путем предоставления грузовладельцам и операторам дополнительных услуг можно рассматривать как экономическую выгоду ОАО «РЖД». Кроме того, данная технология позволит снизить затраты на организацию и обеспечение перевозок на большинстве направлений за счет повышения производительности подвижного состава, что подтверждает опыт американских и канадских железных дорог.

По предварительным оценкам, потенциальная потребность грузообразующей среды в грузовых поездах по расписанию составляет не менее 85% от общего объема перевозок, включая регулярную доставку массовых грузов технологическими маршрутами (55%), ускоренную доставку грузов по установленным общесетевым расписаниям (3%), гарантированную доставку грузов в заданный интервал времени (25%), доставку грузов по специальному соглашению – негабаритные и др. (2%).

Переход к новой организации поездной работы в современных условиях позволяет обеспечить:

- 1) повышение участковой скорости грузовых поездов на 2–4 км/ч за счет использования в оперативных условиях рациональных схем пропуска поездопотоков, заложенных в график;
- 2) снижение простоя вагонов на технических станциях на 0,2–0,6 ч за счет согласованного подвода поездов к узлам и гарантированного обеспечения отправляемых поездов локомотивами и бригадами;
- 3) повышение среднесуточного пробега локомотивов на 6–10% за счет ускорения пропуска поездов по участкам и рациональной увязки их оборота на станциях;
- 4) экономию топливно-энергетических ресурсов за счет уменьшения в 1,5 раза неграфиковых остановок грузовых поездов;
- 5) снижение потребности в локомотивных бригадах на 4–6%, улучшение организации их труда и отдыха на базе именных графиков работы;
- 6) компенсацию потерь в эксплуатационной работе, вызываемых закрытием отдельных пунктов и малодеятельных линий с переводом их на сокращенный регламентированный режим действия;
- 7) уменьшение финансовых потерь, связанных с несвоевременной доставкой грузов и возвратом вагонов их владельцам, не менее чем на 7–9%.

Приведенные оценки изменения показателей следует рассматривать как минимальные, без учета сопутствующих эффектов и дальнейшей оптимизации графика движения и его исполнения, включая расписания для тяжеловесных и других специализированных категорий поездов.

УДК 656.223.2

Поплавский А.А.

Развитие системы оперативного управления перевозочным процессом и транспортной логистики

Ключевые слова:*поездопоток, вагонопоток, оперативное управление перевозочным процессом.*

В современных рыночных условиях общая структура «железнодорожный транспорт» организационно разделяется на множество самостоятельно управляемых компаний-собственников подвижного состава и инфраструктурных объектов, основной и крупнейшей из которых является Открытое акционерное общество «Российские железные дороги» (ОАО «РЖД»), выступающее в роли общенациональной транспортной компании. Именно работа компании ОАО «РЖД» оказывает преобладающее влияние на организацию процесса железнодорожных перевозок в стране. Поэтому так важно достижение высокого уровня управления ее работой.

Перевозочный процесс является основным видом деятельности ОАО «РЖД». Оперативное управление этим процессом представляет собой одну из наиболее сложных функций в работе железнодорожного транспорта, поскольку необходимо обеспечивать выполнение комплекса задаваемых выходных значений параметров при ограниченных ресурсах многомерного объекта управления и значительных возмущениях.

Состав информационной системы оперативного управления перевозочным процессом (АИСО)

Систему оперативного управления перевозочным процессом можно представить в виде АСУТП отраслевого уровня. Она подобно другим аналогичным системам включает в себя управляемый объект, управляющее и исполнительное устройства.

Управляемым объектом является совокупность поездов, вагонов и грузов, продвижение потока которых осуществляется на основе исполнения комплекса технологий перевозочного процесса.

К ним относятся определяющие технологию перевозок в целом такие долгосрочные документы, как график движения и план формирования поездов, месячные технические нормы, технологические процессы работы объектов инфраструктуры, планы ремонта технических средств.

Оперативное управление продвижением упомянутых потоков, осуществляемое на сетевом и региональном (дорожном) уровнях, традиционно заключается в выполнении следующих функций:

- обеспечение погрузочными ресурсами заявок клиентуры на погрузку грузов (F_1);
- организация движения поездопотоков и вагонопотоков по дорожным и сетевым направлениям (F_2);
- обеспечение доставки груженых вагонов к пунктам выгрузки, т.е. развоз местного груза (F_3);
- организация перевозок специальных грузов (F_4).

Реализация этих функций обеспечивается посредством оперативного (суточного планирования) для множества контролируемых (управляемых) параметров X_0 (объем погрузки, выгрузки, передачи вагонов по стыковым пунктам и др.) и контроля за их выполнением. При этом выполнение пассажирских перевозок при безусловном их приоритете может рассматриваться как одно из ограничений при оперативной организации грузовых перевозок.

Используемые для выполнения функций $F_1 - F_4$ ресурсы подразделяются на стационарные и подвижные.

К стационарным ресурсам относятся: а) станции, локомотивные и вагонные депо, а также другие линейные подразделения; б) сеть железных дорог в целом, структурированная на: поездные (диспетчерские) участки; направления сети; регионы сети.

К подвижным относятся ресурсы: вагоны, поезда, локомотивы, локомотивные бригады ($f - j$).

Размеры используемых ресурсов в целом характеризуется следующими данными:

- эксплуатационная длина сети железных дорог 85,5 тыс. км
- количество станций, всего примерно 4700
 - в том числе сортировочных /грузовых 93/680
 - стыковых междорожных 63
 - припортовых/пограничных 25/61
 - на пограничных переходах 61
- количество подъездных путей примерно 20 000
- количество диспетчерских участков примерно 500
- участки обращения локомотивов/лок.бригад > 100/400
- пункты текущего обслуживания вагонов примерно 300
- количество поездов, одновременно находящихся на сети железных дорог примерно 3000
- вагонный парк (рабочий парк), всего примерно 500 000
- локомотивный парк (в грузовом движении) 5400.

Для выполнения функций F_1-F_4 используется управляющее устройство – иерархическая структура диспетчерских центров сетевого (ЦУП) и дорожного (ДЦУП) уровней. В диспетчерские центры поступает информация о фактических показателях $X(t)$ работы системы, которые сравниваются с плановыми X_0 , для принятия управленческих решений. То есть рассматриваемая система представляет собой систему с обратной связью.

Принимаемые управляющим устройством решения передаются исполнительному органу (ИО), в качестве которого выступает совокупность технических и программных средств, а также оперативные работники отделений железных дорог, станций, депо и других структур.

На уровне ИО выбираются рациональные пути выполнения выдаваемых управляющих решений без изменения заданных параметров.

Возмущающие воздействия

На работу системы оказывают влияние возмущающие воздействия. Внутри системы (W_1) они возникают, в основном, вследствие отказов технических средств и нарушений установленной технологии ($W_{1,1}$), а также вследствие присущей железнодорожному транспорту посуточной неравномерности вагонопотоков. В условиях ограниченной пропускной и перерабатывающей способности это может вызывать задержки поезда и вагонопотоков ($W_{1,2}$).

Из внешних возмущающих воздействий (W_2) наиболее существенно влияние нарушений технологии (и отказов) в работе – морских портов; пограничных переходов; предприятий, осуществляющих погрузку и выгрузку грузов. Например, несвоевременный подвод судов к морским портам, вызывают затруднения, иногда существенные, на примыкающих железнодорожных линиях.

Третий вид возмущающих воздействий – изменения природных и особенно погодных условий (W_3).

Возмущающие воздействия $W(W_1, W_2, W_3)$ могут быть предвидимыми и учитываться на стадии разработки оперативных планов. В этом случае они становятся одним из условий расчета плановых показателей.

Схема взаимодействий в системе оперативного управления перевозочным процессом

На рис.1 представлена схема системы управления перевозочным процессом в оперативном режиме работы железнодорожного транспорта на сетевом и региональном уровнях как АСУТП отраслевого уровня.

Сигналы управления (управляющие решения) – и, вырабатываемые управляющим устройством, основываются на информации о значениях плановых (X_0) и измеренных значениях фактических показателей $X(t)$ перевозочного процесса, а также информации о возмущающих воздействиях

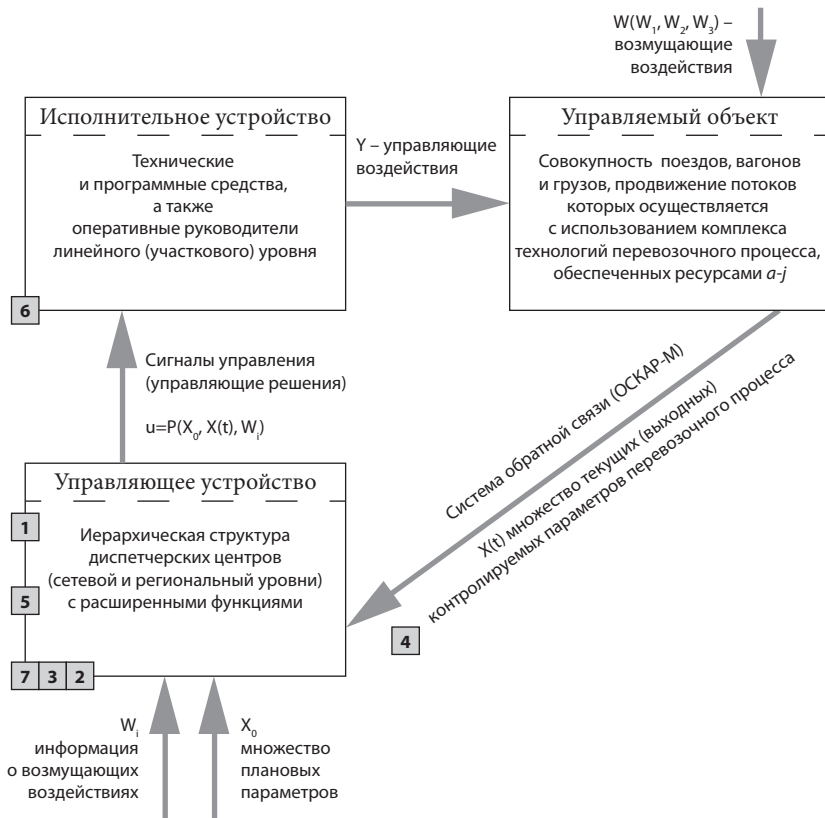


Рис. 1. Развитие системы управления перевозочным процессом в оперативном режиме работы железнодорожного транспорта (сетевой и региональный уровни):

- 1 – построение структуры АИСО, определение числа агрегатов регионального уровня, функциональное взаимодействие в иерархической структуре;
- 2 – расширенный комплекс направлений деятельности по управлению оперативной работой;
- 3 – качественное выполнение диспетчерских функций, характеристики работы центров управления;
- 4 – реализация функций обратной связи;
- 5 – программно-технический комплекс центров управления;
- 6 – типовой АРМ поездного диспетчера;
- 7 – решение конкретных задач оперативного управления

(W_i), которые не могли быть учтены при выработке плановых показателей X_0 , и описываются логической функцией:

$$u = P(X_0, X(t), W_i).$$

В последнем выражении P представляет собой оператор, соответствующий действиям системы управления для различных комбинаций значений X_0 , $X(t)$ и W_i .

Важным является следующее положение. По своему существу рассматриваемая система управления перевозочным процессом в оперативном режиме работы железнодорожного транспорта относится к большим системам. Такие системы носят также название сложных систем.

Понятие «большая система» относится не к размерности используемых ресурсов, а к характеру построения и поведения системы, что, в свою очередь, определяет выбор применяемых методов ее изучения и управления системой. Для подобных систем являются существенными выбор иерархической структуры управления, декомпозиция решаемых задач, использование методов имитационного моделирования и других, учитывающих многофакторность протекающих процессов.

Настоящий этап развития информационной системы, предназначенной для оперативного управления перевозочным процессом (АИСО), характеризуется:

- новыми условиями работы железнодорожного транспорта в рыночной среде с соответствующим повышением роли экономических факторов;
- проведением структурной реформы, в ходе которой осуществляется разделение управления содержанием и развитием инфраструктуры и организацией перевозочного процесса, насыщение общего рабочего парка вагонов вагонами, принадлежащими различным собственникам, в том числе другим государствам;
- существенным усилением взаимодействия с внешними информационными системами, с которыми взаимодействует система АИСО (морские порты, крупные предприятия, пограничные переходы);
- насыщением системы современными техническими средствами, что позволяет широко внедрять информационные технологии.

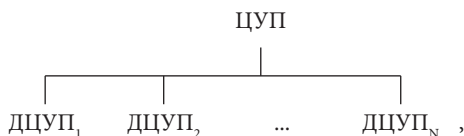
Все это требует использования новых подходов к развитию системы оперативного управления перевозочным процессом.

Переход от дорожных центров к региональным центрам управления при структурной реформе железнодорожного транспорта

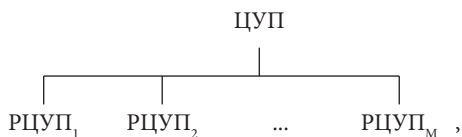
Структурная перестройка железнодорожного транспорта определяет разделение функций содержания инфраструктуры и организации перевозочного процесса.

Административно выполнение этих функций будет организовываться различными управляющими структурами. Таким образом, управление перевозочным процессом в этом случае организуется не на полигоне железной дороги, а в некотором регионе. Соответственно и функцию организации перевозочного процесса, в том числе и в оперативном режиме, следует рассматривать применительно к некоторым регионам управления, протяженность которых определяется исключительно с точки зрения эффективности выполнения перевозочного процесса. В таких регионах организуется оперативный контроль за состоянием инфраструктуры в части, влияющей на ход оперативной работы, но не ее содержание.

Можно говорить о переходе структуры управляющего устройства системы АИСО от схемы:



где N – число железных дорог, к схеме:



понимая под РЦУП центры управления регионального уровня при числе регионов, равном M .

Региональный уровень в части оперативного управления перевозочным процессом тождественен дорожному уровню. Взаимосвязи при оператив-

ном управлении на уровнях ЦУП – ДЦУП и ЦУП – РЦУП аналогичны. Это же относится и к взаимосвязям между ДЦУПами смежных железных дорог и РЦУПами смежных регионов. Вопрос стоит лишь о количестве регионов управления в новой структуре, которое не обязательно должно равняться числу существующих железных дорог. В предельном случае вся сеть железных дорог может представлять собой один регион, тогда управляющее устройство будет иметь один уровень управления. С другой стороны, регионами могут быть и полигоны существующих железных дорог.

Следует отметить, что в настоящее время, в сложный период работы железнодорожного транспорта, когда осуществляется разделение перевозочной и инфраструктурной деятельности, необходимо особое внимание уделять вопросу сохранения управляемости перевозочным процессом. Одним из таких условий признано сохранение действующих дорожных структур в качестве опоры территориальных подразделений вновь создаваемой Дирекции перевозок. Поэтому вопрос может идти об объединении существующих дорожных структур, но не об их дроблении на некоторые части с передачей этих частей другим дорожным структурам.

Для решения задачи расчета числа агрегатов (центров управления) регионального уровня необходим выбор критериев, непосредственно определяющих условия организации оперативного управления перевозочным процессом. Следует отметить, что эта задача не имеет строгого решения, поскольку число влияющих факторов исключительно велико, а взаимосвязи между многими из них носят неявный характер. Предлагается двухэтапный способ решения данной задачи.

На первом этапе используются методы экономической оценки организации укрупненных регионов оперативного управления перевозочным процессом на основе моделирования показателей использования подвижного состава.

Изучение характера производственных затрат при изменении числа регионов управления показывает, что с их уменьшением, а значит и расширением полигонов оперативного управления, производственные затраты

снижаются. Экономические расчеты позволяют получить примерную количественную оценку получаемого эффекта. Следует также заметить, что с увеличением размеров регионов управления возрастает вариантность формируемых решений, что создает более благоприятные условия для решения оптимизационных задач оперативного управления и позволяет лучше использовать возможности вычислительной техники. Однако дать им привязку к конкретным регионам затруднительно. Эта задача решается на втором этапе на основе технологического критерия управления перевозочным процессом.

На первом этапе математическая постановка задачи в общем виде имеет следующий вид.

Необходимо определить прогноз X при условиях:

$$F(X) = \min(\max), X \in D(Y),$$

где $F(X)$ – критерий оптимальности прогноза; $D(Y)$ – множество допустимых прогнозов; Y – факторы, определяющие допустимые прогнозы.

В данной постановке задачи $F(X)$ – это прогноз экономии производственных затрат по перевозкам, экономии инвестиций в подвижной состав при различных значениях уровня показателей использования подвижного состава и ограничениях по управляемости перевозочным процессом.

В качестве ограничений выступает ресурсное обеспечение. Основным следует признать число поездных диспетчерских участков n_d в одном агрегате. Опираясь на мировой опыт, принимаем $n_d \leq 80 \div 100$. Тогда протяженность сети, обслуживаемой одним агрегатом, составит $L_A \approx 15-17$ тыс. км с количеством станций, выполняющих грузовую работу, $n_{cr} \approx 600-800$ станций.

Что касается устройств, обеспечивающих передачу оперативных сведений о перевозках и их обработку, то современный уровень информатизации, систем передачи данных, вычислительной техники позволяет не включать этот фактор в качестве ограничения.

Создание регионов оперативного управления (с соответствующим снижением числа агрегатов регионального уровня – n_{A2} по сравнению с числом агрегатов дорожного уровня) позволяет получить эффект снижения

производственных затрат, и соответственно увеличения прибыли за счет улучшения качественных показателей подвижного состава, по следующим меняющимся операциям перевозочного процесса (факторам).

1. За счет уменьшения общего числа межрегиональных стыков снижаются задержки поездов на таких стыках (станциях), возникающие вследствие несоординированности действий аппарата управления смежных агрегатов.
2. За счет расширения полигонов оперативного управления и соответственно удлинения направлений, находящихся под единым оперативным руководством, создаются благоприятные условия для удлинения участков обращения локомотивов и организации более эффективного их оборота. Это позволяет обеспечить заданные объемы перевозок при уменьшении рабочего парка локомотивов.
3. При укрупнении регионов и организации новых плеч оборота локомотивов (с перераспределением поездных локомотивов) может быть достигнута экономия энергоресурсов.
4. Укрупнение полигонов оперативного управления улучшает условия регулирования поездопотоков, поскольку увеличиваются возможности использования внутрирегиональных параллельных ходов.
5. Включение в расчет внутрирегиональных (ныне внутридорожных) планов формирования большего числа струй вагонопотоков и технических станций улучшает условия для снижения общих затрат вагоно-часов на реализацию заданного плана перевозок.
6. Включение в расчет большего числа внутрирегиональных станций для обеспечения пунктов погрузки порожними вагонами создает условия для снижения порожнего пробега вагонов во внутрирегиональных сообщениях.

Для оценки влияния мероприятий по улучшению качества эксплуатационной работы на текущие издержки использованы укрупненные расходные ставки на единицу работы подвижного состава. Такие укрупненные ставки

определяются на основе единичных расходных ставок и затрат соответствующих измерителей на 1 поезд-час, 1 поезд-км, 1 локомотиво-км и т.д.

Например, экономия производственных затрат при сокращении числа междорожных стыков рассчитывается по формуле:

$$\Delta CNt = n_3 t (e_{вч} m + e_{лч} + e_{брч} + e_{эл(м)} a_l^n) \Delta k,$$

где n – число задержанных поездов в год на одном межрегиональном (междорожном) стыковом пункте; t – среднее время задержки поезда на одном межрегиональном (междорожном) стыковом пункте, ч; $e_{вч}$ – расходная ставка на 1 вагоно-час, руб.; m – количество вагонов в составе поезда, ваг.; $e_{лч}$ – расходная ставка на 1 локомотиво-час, руб.; $e_{брч}$ – расходная ставка на 1 бригадо-час локомотивной бригады, руб.; $e_{эл(м)}$ – расходная ставка на 1 кВт-ч электроэнергии (килограмм условного топлива), руб.; a_l – удельный расход электроэнергии (условного топлива) на 1 час простоя, кВт-ч (кг); Δk – уменьшение числа межрегиональных (междорожных) стыков, ед.

При образовании регионов с сокращением примерно в 2 раза числа междорожных стыков годовая экономия оценивается в 80÷100 млн руб.

В целом суммарная экономия производственных издержек по всем меняющимся операциям перевозочного процесса (факторам) при формировании 5–7 регионов оперативного управления поездной работой оценивается в размере более 900 млн руб. (в ценах 2007 г.).

Дополнительно значительный эффект получается за счет экономии инвестиционных расходов на подвижной состав, оцениваемый величиной 2÷2,5 млрд руб., реализуемой всеми собственниками вагонного и локомотивного парка.

Практическое решение задачи определения числа агрегатов регионального уровня с учетом прикрепления полигонов групп железных дорог к регионам может быть основано на использовании критерия оперативной самоуправляемости выделяемых регионов (p).

В технологии оперативного управления одной из центральных является функция F_1 . Самоуправляемость региона по отношению к этой функции определяется долей обеспечения заявок на погрузку собственными ресур-

сами. Если в регионе таких ресурсов недостаточно, то необходимо обращение к верхнему уровню управления за помощью в обеспечении заявок. В рассматриваемый критерий включим и фактор избытка порожних вагонов, когда также требуется обращение к верхнему уровню для принятия решения о маршруте их назначения (составляющая функции F_2).

Задача заключается в выборе такого варианта объединения железных дорог в регионы, когда $p \rightarrow \max$. В качестве ограничения также выступает ресурсное обеспечение, т.е. $n_d \leq 80 \div 100$ поездных диспетчерских участков.

Средневзвешенный показатель оперативной самоуправляемости для всех групп железных дорог, объединяемых в регионы и образующих сеть железных дорог, $p_{cp,j}$, равен:

$$p_{cp,j} = \frac{\sum_{j=1}^M m_j - \sum_{j=1}^M r_j}{\sum_{j=1}^M m_j},$$

где m_j – объем грузовой работы (погрузка + выгрузка) в j -м регионе (число регионов – M); r_j – число порожних вагонов, решение вопроса по направлению следования которых в регионе принимается на верхнем уровне управления.

Представленная функция является целевой функцией задачи оптимизации $p_{cp,j} \rightarrow \max$.

Для сети железных дорог ОАО «РЖД» при завершении процесса структурного реформирования на основании выполненных расчетов может быть рекомендовано использование 5–7 регионов оперативного управления перевозочным процессом с соответствующим числом агрегатов:

$$n_{A2} = 5 \div 7,$$

что и следует учитывать в иерархической структуре построения управляющего устройства системы АИСО при проведении структурной реформы железнодорожного транспорта.

Новые функции оперативного управления

Функциональное обеспечение рассматриваемой системы с учетом расширения функций оперативного управления в новых условиях можно описать с использованием аппарата теории множеств:

$$F = F_1 \cup F_2 \cup F_3 \cup F_4 \cup F_5 \cup F_6 \cup F_7,$$

где F_1, F_2, F_3, F_4 – подмножества традиционных функций; F_5 – подмножество функций по выполнению требований рыночной экономики в области грузовых перевозок; F_6 – подмножество функций оперативного контроля за работой и состоянием технических устройств, сооружений, подвижного состава; F_7 – подмножество функций взаимодействия с внешними системами.

Причем $F_5 = F_{51} \cup F_{52} \cup F_{53} \cup F_{54}$, где F_{51} – подмножество функций контроля за выполнением договорных перевозок с особыми и оплаченными требованиями грузоотправителей: подача вагонов точно в срок или по определенным периодам, следование грузовых поездов по заданным ниткам графика с повышенной скоростью и т.п.; F_{52} – подмножество функций, определяющих воздействие экономического регулятора (диспетчеры структуры ОАО «РЖД» – ЦФТО), на очередность обеспечения порожними вагонами заявок на погрузку и очередность доставки груженых вагонов к пунктам выгрузки с учетом достижения максимального дохода компании (ОАО «РЖД»); F_{53} – подмножество функций, связанных с минимизацией расходов компании по уплате штрафов за несоблюдение нормативных сроков доставки грузов; F_{54} – подмножество функций, связанных с минимизацией расходов компании по использованию вагонов, других собственников («чужих»).

$$F_6 = F_{61} \cup F_{62} \cup F_{63} \cup F_{64} \cup F_{65} \cup F_{66},$$

где F_{61} – подмножество функций по контролю за работой хозяйства пути; F_{62} – подмножество функций по контролю за работой локомотивного хозяйства; F_{63} – подмножество функций по контролю за работой вагонного хозяйства; F_{64} – подмножество функций по контролю за работой хозяйства электроснабжения; F_{65} – подмножество функций по контролю за работой хозяйства автоматики и телемеханики; F_{66} – подмножество функций по контролю за безопасностью движения.

$$F_7 = F_{71} \cup F_{72} \cup F_{73} \cup F_{74},$$

где: F_{71} – подмножество функций взаимодействия с морскими и речными портами (взаимодействие с логистическими центрами – это относится и к функциям F_{72}, F_{73}, F_{74}); F_{72} – подмножество функций взаимодействия с крупными предприятиями (металлургическими, угольными и др.); F_{73} – подмножество функций взаимодействия с зарубежными железнодорожными администрациями; F_{74} – подмножество функций взаимодействия с собственниками вагонов.

Для повышения надежности и качества перевозок некоторые множества и подмножества функций должны пересекаться:

$$F_1 \cap F_{51}, F_1 \cap F_{52}, F_1 \cap F_{54}, F_1 \cap F_7, F_2 \cap F_{51}, F_2 \cap F_6, F_2 \cap F_7, F_3 \cap F_5, F_3 \cap F_7.$$

Носителями новых функций выступают диспетчеры по функциональным направлениям с автоматизированными рабочими местами в ЦУП и ДЦУП, а при переходе к региональной структуре – ЦУП и РЦУП. В соответствии с пересечением множеств и подмножеств следует организовывать взаимодействие диспетчеров за счет идентичного информационного обеспечения их АРМов, выдачи информации на табло коллективного пользования (ТКП), размещения диспетчеров в одном помещении.

Следует отметить, что выполнение функций F_{71} и F_{72} наиболее эффективно при организации логистических центров (ЛЦ), обеспечивающих взаимодействие ЦУП и ДЦУП с информационными системами морских портов и крупных предприятий. В ЛЦ учитываются возмущающие воздействия W_2 и W_3 и совместно с ДЦУП принимаются оперативные управляющие решения по организации вагонопотоков на направлениях, примыкающих к портам и крупным предприятиям. При необходимости в контур управления включается ЦУП.

Важным элементом современной системы оперативного управления перевозочным процессом является реализация функции обратной связи. Эта функция включает в себя решение задачи определения и оценки отклонений текущих показателей оперативной работы $X(t)$ от плановых заданий X_0 и компенсации таких отклонений.

Развитие такой системы (ОСКАР-М) должно идти в направлении совершенствования аналитического аппарата для прогноза хода перевозочного процесса

выработки проектов управляющих решений с учетом экономических факторов с передачей их диспетчерам для принятия окончательного решения.

Для этого требуется совершенствовать информационную базу системы на основе интеграции баз данных комплекса информационных систем (ИС), построенных с использованием различных программных продуктов (рис. 2).

Если сегодня информационное обеспечение системы ОСКАР-М базируется, в основном, на данных АСОУП (АСОУП-2), то предстоит обеспечить поступление данных от систем: оперативного управления эксплуатационной работой ГИД «Урал-ВНИИЖТ»; дислокации тягового подвижного состава ДИСТПС; системы пономерного учета, контроля дислокации и анализа работы и регулирования вагонного парка ДИСПАРК, системы организации вагонопотоков АСОВ, единой корпоративной системы управления финансовыми ресурсами ЕК АСУФР, системы управления предоставлением и использованием «окон» для ремонта пути АС АПВО, системы централизованной подготовки и оформления перевозочных документов ЭТРАН и др.

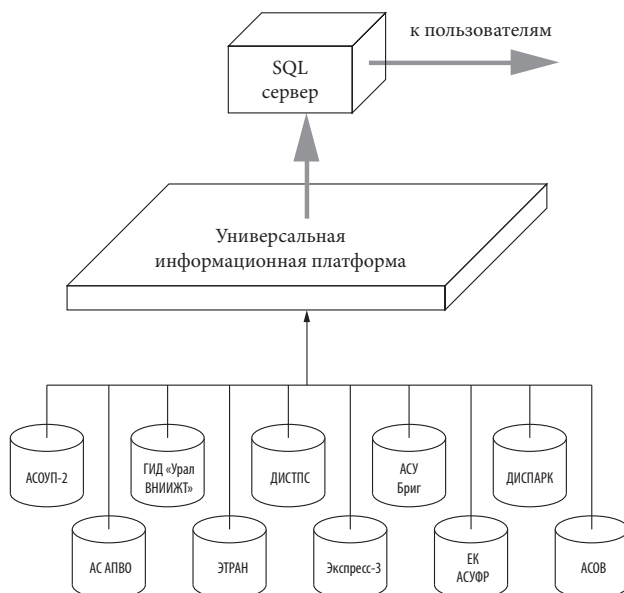


Рис. 2. Интеграция баз данных различных информационных систем с использованием универсальной информационной платформы в системе ОСКАР-М

Расширение круга решаемых задач может потребовать усиления вычислительного комплекса системы ОСКАР-М. При этом следует учитывать нарастание количества пользователей системы и объемов передаваемой информации. В настоящее время система обслуживает примерно 3 тыс. рабочих мест, а среднесуточный объем выходной информации составляет более 100 тыс. МГб. Предстоит, по крайней мере, удвоить эти показатели.

Развитие программно-технического комплекса (ПТК) системы АИСО должно строиться на основе соблюдения следующих принципов:

- информационно единое построение системы с обеспечением доступа к информации любого уровня управления;
- минимизация времени отклика на запросы клиентов в ПТК с использованием комплекса специальных решений для повышения быстродействия работы системы;
- обеспечение единства и совместимости всех элементов ПТК, что особенно актуально в условиях наличия большого числа разработчиков подсистем и элементов, внедрения их на всей сети железных дорог при значительных объемах инвестиций;
- соблюдение условия возможности непрерывного развития информационного обеспечения системы, а также изменения и наращивания функций, реализуемых в АРМ работников оперативного управления перевозками;
- этапность развития системы;
- гарантированное обеспечение требуемого уровня защиты информации от несанкционированного доступа;
- резервирование технических средств;
- использование самых современных вычислительных комплексов, систем передачи данных, программных средств.

Сегодня система АИСО является неотъемлемой частью оперативного управления перевозочным процессом в ОАО «РЖД», обеспечивает получение значительного экономического эффекта. Созданы условия для дальнейшего развития системы при реализации расширенных функций оперативного управления.

*Центры
автоматизированного
управления перевозками*

Поплавский А.А.

Резервирование диспетчерских функций в центрах управления перевозочным процессом

Ключевые слова:

резервирование диспетчерских функций, интервалы пиковой загрузки, рекуррентные соотношения, пиковая нагрузка диспетчера.

1. Инженерная постановка задачи

В известных работах загрузка диспетчера в основном определяется как отношение времени в течение смены, когда он непосредственно управляет порученными ему процессами к общей длительности сменного периода, обычно равного 12 часам. При этом в затраты времени включаются сбор необходимых исходных данных для решения возникающих задач, обдумывание возможных альтернативных решений по каждой задаче, принятие управляющего решения, формирование соответствующего диспетчерского приказа и контроль его исполнения.

Такое определение загрузки диспетчера нашло широкое распространение. Так, в докторской диссертации Г.М. Прошева [1] показано, что для поездных диспетчеров допустимый уровень загрузки составляет 75% продолжительности смены днем и 70% – ночью.

В современных условиях круг диспетчеров, работающих в центрах управления, существенно расширился. Для всех диспетчеров характерны поступление большого числа вопросов, требующих срочного решения, напряженный темп работы. Средний уровень загрузки для диспетчеров центров управления может быть равным допустимому уровню загрузки поездных диспетчеров.

В то же время в работе диспетчеров можно выделить интервалы пиковой загрузки, когда им приходится одновременно заниматься несколькими задачами, причем по одним надо собирать необходимые исходные данные, по другим – обдумывать возможные альтернативные решения, по третьим –

принимать управляющие решения, по четвертым – формировать диспетчерские приказы и т.д. Такие пиковые нагрузки имеют место практически у всех диспетчеров центров управления.

Ясно, что если к диспетчеру поступает почти одновременно несколько требований, то результат его труда может быть далек от оптимальных решений, которые он мог бы принять, если бы такие требования поступали с интервалами, большими или равными потребному времени на их решение.

Далекие от оптимальных решения, принимаемые диспетчером в таких условиях, могут отрицательно сказываться на перевозочном процессе, в конечном счете, замедляя его. Необходимо так организовать структуру управления, чтобы избежать таких ситуаций. Это возможно при резервировании диспетчерских функций.

Определение интервалов пиковой загрузки диспетчеров в зависимости от входящего потока требований в свете вышесказанного является весьма важной и актуальной задачей для ускорения перевозочного процесса.

Рассмотрим эту задачу на примере работы региональных диспетчеров ЦУП по направлениям Север, Юг, Восток.

2. Формализация работы диспетчера

Обозначим длительность смены диспетчера через T . Заметим, что диспетчер должен решать все задачи, которые к нему поступают, т.е. он должен одновременно решать столько задач, сколько нужно для бесперебойного функционирования перевозочного процесса. Его работу можно формализовать как систему массового обслуживания. Обслуживание состоит в решении поступающих к нему задач. Решение каждой задачи занимает некоторое время, во многих ситуациях являющееся случайным. Обозначим через ζ случайную величину – время решения задачи. Задачи могут быть разными, со своими длительностями решения, в величину ζ они входят со своими пропорциями. Интервалы между последовательными моментами поступления к диспетчеру задач также являются случайными. Обозначим такой интервал через ξ . Определим максимальное количество задач, которое диспетчер может решать одновременно, через k . Требуется найти

периоды времени, в которые он достаточно сильно загружен, т.е. когда он решает одновременно более k_0 задач, $k_0 < k$.

Анализ работы диспетчеров рассматриваемого уровня показал, что в их работе встречаются сложные задачи (решения об отклонении поездопотоков, регулирование локомотивов на междорожных стыках и др.), требующие существенных затрат времени (в среднем 10–15 мин. на 1 задачу), причем они возникают сравнительно редко (в среднем 1 раз в час), и имеются текущие задачи (выполнение графика движения, использование «окон» для ремонта инфраструктуры и др.), требующие меньших затрат времени (в среднем 3–7 мин. на 1 задачу), но они возникают чаще (до 3–5 раз в час). Есть также задачи (так называемые фоновые задачи), требующие минимального времени на их решение по типу «вопрос – ответ», и таких задач большинство. Такое распределение времен обслуживания и интервалов времени между последовательными моментами поступления к диспетчеру задач характерно для экспоненциального распределения моментов времени обслуживания (решения) задач и пуассоновского входящего потока задач. Кроме того, времена обслуживания и интервалы времени между последовательными моментами поступления задач независимы в совокупности. Натурные наблюдения подтвердили это.

Для рассматриваемых диспетчеров время обслуживания имеет экспоненциальное распределение: $P\{\zeta < t\} = 1 - e^{-\mu t}$, где $1/\mu = 2,8$ мин. Также для рассматриваемых диспетчеров средняя длительность интервала между последовательными моментами поступления к диспетчеру задач имеет экспоненциальное распределение: $P\{\xi < t\} = 1 - e^{-\lambda t}$, где $1/\lambda = 4$ мин.

Итак, в силу вышесказанного полагаем в предлагаемой аналитической модели, что случайные величины ζ и ξ независимы и имеют экспоненциальные распределения.

3. Математическая постановка задачи

Имеем k -линейную систему массового обслуживания (СМО), на которую поступает пуассоновский поток требований с параметром λ . Время обслуживания имеет экспоненциальное распределение с параметром μ .

Требуется найти нестационарное распределение вероятностей ее состояний при произвольных начальных условиях.

Решение задачи

Введем случайный процесс $\nu(t)$ – число требований в СМО в момент времени t . Этот процесс является марковским. Обозначим

$$P\{\nu(t)=i\}=P_i(t), i=0, 1, \dots, k.$$

Система дифференциальных уравнений для вероятностей состояний этой СМО $P_i(t), i=0, 1, \dots, k$, имеет вид

$$\begin{aligned} P_0'(t) &= -\lambda P_0(t) + \mu P_1(t), \\ &\dots \\ P_0'(t) &= -(\lambda + i\mu)P_i(t) + (i+1)\mu P_{i+1}(t) + \lambda P_{i-1}(t), i=1, \dots, k-1. \quad (1) \\ &\dots \\ P_k'(t) &= -(\lambda + i\mu)P_k(t) + \lambda P_{k-1}(t), \end{aligned}$$

с произвольными начальными условиями $P_i(0)=P_i^{(0)}, i=0, 1, \dots, k, \sum_{i=0}^k p_i^{(0)} = 1$.

4. Решение системы уравнений

Решение этой системы линейных дифференциальных уравнений первого порядка можно найти с помощью преобразования Лапласа. Обозначим

$$\tilde{p}_i(s) = \int_0^{\infty} e^{-st} P_i(t) dt, i=0, 1, \dots, k.$$

Применяя к системе уравнений (1) преобразования Лапласа, получаем

$$\begin{aligned} s\tilde{p}_0(s) &= -\lambda\tilde{p}_0(s) + \mu\tilde{p}_1(s) + P_0^{(0)}, \\ &\dots \\ s\tilde{p}_i(s) &= -(\lambda + i\mu)\tilde{p}_i(s) + (i+1)\mu\tilde{p}_{i+1}(s) + \lambda\tilde{p}_{i-1}(s) + P_i^{(0)}, i=1, \dots, k-1. \quad (2) \\ &\dots \\ s\tilde{p}_k(s) &= -(\lambda + i\mu)\tilde{p}_k(s) + \lambda\tilde{p}_{k-1}(s) + P_k^{(0)}. \end{aligned}$$

Систему уравнений (2) можно преобразовать к следующему виду:

$$\begin{aligned} \tilde{p}_1(s) &= \mu^{-1}[(s + \lambda)\tilde{p}_0(s) - P_0^{(0)}], \\ &\dots \\ \tilde{p}_{i+1}(s) &= ((i+1)\mu)^{-1}[(s + \lambda + i\mu)\tilde{p}_i(s) - \lambda\tilde{p}_{i-1}(s) - P_i^{(0)}], i=1, \dots, k-1. \quad (3) \end{aligned}$$

$$\dots$$

$$(s + \lambda + k\mu) \tilde{p}_k(s) = \lambda \tilde{p}_{k-1}(s) + P_k^{(0)}.$$

Система уравнений (3) кроме последнего уравнения представляет собой рекуррентные соотношения, которые достаточно легко раскрываются и в результате все $\tilde{p}_i(s)$, $i=1, \dots, k$, выражаются в виде линейных функций через $\tilde{p}_0(s)$ и s по отдельности. Итак, имеем следующее выражение для $\tilde{p}_i(s) = f_i(s) \tilde{p}_0(s)$, $i=1, \dots, k$, где $f_i(s)$, $i=1, \dots, k$, являются линейными функциями от s . Само $\tilde{p}_0(s)$ определяется подстановкой всех $\tilde{p}_i(s)$, $i=1, \dots, k$, в уравнение $\sum_{i=0}^k P_i(t) = 1$, которое в преобразованиях Лапласа имеет вид $\sum_{i=0}^k \tilde{p}_i(s) = s^{-1}$.

$$\text{Отсюда } \tilde{p}_0(s) = \left[s \left(\sum_{i=1}^k f_i(s) + 1 \right) \right]^{-1}.$$

Определенное таким образом $\tilde{p}_0(s)$ подставляется в выражения всех $\tilde{p}_i(s)$, $i=1, \dots, k$, через $\tilde{p}_0(s)$. Тем самым аналитический вид всех $\tilde{p}_i(s)$, $i=0, 1, \dots, k$, найден.

Каждое $\tilde{p}_i(s)$, $i=0, 1, \dots, k$ представляет собой отношение двух полиномов, т.е. имеет вид

$$\tilde{p}_i(s) = \frac{\Delta_i(s)}{\Delta(s)}, \quad i=1, \dots, k, \quad (4)$$

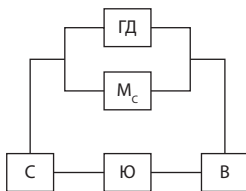
где $\Delta(s) = [s(\sum_{i=1}^k f_i(s) + 1)]$ и является полиномом степени $k+1$, $\Delta_i(s)$ является полиномом степени i , $i=1, \dots, k$. Обозначим корни полинома $\Delta(s)$ через α_j , $j=1, \dots, k$, $\alpha_0=0$. Отсюда, обращая преобразование Лапласа, получаем

$$P_i(t) = \frac{\Delta_i(0)}{1 + \sum_{j=1}^k f_j(0)} + \sum_{j=1}^k \frac{\Delta_i(\alpha_j)}{\alpha_j \Delta'(\alpha_j)} e^{\alpha_j t}, \quad i=0, 1, \dots, k. \quad (5)$$

Теперь можно определить величину $\sum_{i=k_0+1}^k P_i(t)$, которую можно обозначить через $P_{кр}(t)$. Меняя в $P_{кр}(t)$ переменную t в интервале $(0, T)$, можно найти периоды пиковой нагрузки диспетчера, когда ему приходится решать одновременно более k_0 задач.

Данная методика является универсальной для расчета пиковых нагрузок диспетчеров. В практических условиях важно определить пиковые значения вероятности нахождения в системе более k_0 задач, при этом изучение условий работы региональных диспетчеров показало, что $k_0=2$. Точность определения такой вероятности для практических целей может быть порядка 10–15%. Упрощенные расчеты для рассматриваемого случая показали, что эта вероятность $P_{(k_0 > 2)} = 0,2-0,23$, что говорит о необходимости резервирования работы региональных диспетчеров.

Практически было предложено ввести четвертого диспетчера (M_c), который выполняет функции мониторинга ситуации и взаимодействует с главным диспетчером (ГД). При возникновении пиковых нагрузок он включается в решение поступающих задач. Функции резервирования при необходимости выполняет и главный диспетчер. Схема резервирования работы региональных диспетчеров представлена на рисунке.



С, Ю, В – региональные диспетчеры направлений Север, Юг, Восток;
 M_c – диспетчер по мониторингу, ГД – главный диспетчер

Практическая работа по такой схеме обеспечила устойчивую работу региональных диспетчеров. Предложенный принцип резервирования является новым в организации работы диспетчеров центров управления перевозочным процессом. Элементы резервирования были использованы при организации рабочих мест и других диспетчеров.

Литература

1. *Грошев Г.М.* Оптимизация диспетчерского управления на железнодорожных полигонах на основе автоматизации в условиях структурной реформы. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. – Санкт-Петербург, ПГУПС, 2007.

*Геоинформационные системы
и спутниковые технологии*

УДК 004.9

Розенберг И.Н., Дулин С.К.,
Уманский В.И. (ЗАО «ИнтехГеоТранс»)

Проектирование репозитория, поддерживающего ограничения целостности геоданных

Ключевые слова:

репозиторий, проблемно-предметная ориентация, интегрированность, некорректируемость, зависимость от времени.

Введение

В представленной работе под репозиторием понимается предметно-ориентированная информационная корпоративная база данных, специально разработанная для подготовки отчетов и анализа бизнес-процессов с целью поддержки принятия решений в организации. Репозиторий обычно строится на базе клиент-серверной архитектуры, реляционной СУБД и утилит поддержки принятия решений. Данные, поступающие в репозиторий, как правило, становятся доступны только для чтения.

Различают следующие принципы организации репозитория.

Проблемно-предметная ориентация. Данные объединяются в категории и хранятся в соответствии с областями, которые они описывают, а не с приложениями, которые они используют.

Интегрированность. Данные объединены так, чтобы они удовлетворяли всем требованиям предприятия в целом, а не единственной функции бизнеса.

Некорректируемость. Данные в репозитории не создаются: они поступают только из внешних источников, не корректируются и не удаляются.

Зависимость от времени. Данные в репозитории точны и корректны только в том случае, когда они привязаны к некоторому промежутку или моменту времени.

Существуют два архитектурных направления – нормализованные репозитории и размерностные репозитории.

В нормализованных репозиториях данные находятся в предметно ориентированных таблицах третьей нормальной формы – витрины данных. Витрина данных – срез репозитория, представляющий собой массив тематической, узконаправленной информации, ориентированный, например, на пользователей одной рабочей группы или департамента.

Нормализованные репозитории характеризуются как простые в создании и управлении, недостатки нормализованных репозиториях – большое количество таблиц вследствие нормализации, из-за чего для получения какой-либо информации нужно делать выборку из многих таблиц одновременно, что приводит к ухудшению производительности системы.

Размерностные репозитории используют схему «звезда» или «снежинка». При этом в центре звезды находятся данные (таблица фактов), а размерности образуют лучи звезды. Различные таблицы фактов совместно используют таблицы размерностей, что значительно облегчает операции объединения данных из нескольких предметных таблиц фактов. Таблицы данных и соответствующие размерности образуют архитектуру «ШИНА». Основным достоинством размерностных репозиториях является простота и понятность для разработчиков и пользователей. Благодаря более эффективному хранению данных и формализованным размерностям, облегчается и ускоряется доступ к данным, особенно при сложных анализах. Основным недостатком являются более сложные процедуры подготовки и загрузки данных, а также управление и изменение размерностей данных.

Операции с данными в репозитории определяются как:

1. Извлечение – перемещение информации от источников данных в отдельную БД, приведение их к единому формату.
2. Преобразование – подготовка информации к хранению в оптимальной форме для реализации запроса, необходимого для принятия решений.
3. Загрузка – помещение данных в репозитории производится атомарно, путем добавления новых фактов или корректировки существующих.
4. Анализ – OLAP, Data Mining, Reporting и т. д.
5. Представление результатов анализа.

Вся эта информация используется в словаре метаданных. В словарь метаданных автоматически включаются словари источников данных. Здесь же хранятся форматы данных для их последующего согласования, периодичность пополнения данных, согласованность во времени. Задача словаря метаданных состоит в том, чтобы освободить разработчика от необходимости стандартизировать источники данных.

Создание репозитория не должно противоречить действующим протоколам систем сбора и обработки информации. Специальные компоненты словарей должны обеспечивать своевременное извлечение и преобразование данных к единому формату на основе словаря метаданных. Логическая структура данных репозитория отличается от структуры данных источников данных. Для разработки эффективного процесса преобразования необходима хорошо проработанная модель корпоративных данных и модель технологии принятия решений. Данные для пользователя удобно представлять в многомерных БД, где в качестве размерности могут выступать время, цена или географический регион.

Подход к проектированию репозитория

Один из недостатков существующих коммерческих ГИС – невозможность обеспечить адекватную операционную среду для конечных пользователей, которые являются экспертами в своей прикладной области, но обладают минимальным опытом в разработке программного обеспечения и проектировании базы данных [1]. Такие пользователи лишены возможности использования многих из особенностей коммерческой ГИС. Другой недостаток – отсутствие средств наложения ограничений целостности данных, что ставит под угрозу качество геоданных [2]. Проектирование базы геоданных с контролем целостности при помощи существующих инструментальных средств требует знания некоторого языка сценариев. Конечные пользователи редко обладают этим типом знания.

В представленной работе делается акцент на проектирование и разработку прототипа ГИС, который предоставляет конечным пользователям средство определять подмножество пространственных классов ограничения целостности геоданных без потребности в программировании.

Если первые шаги в разработке базы геоданных для ГИС ставили в качестве главной цели приобретение данных и размещение их в релевантное место в системе [3], то в настоящее время акцент смещается в сторону эффективной организации и анализа геоданных, хотя никто не отрицает важности усовершенствований технологии сбора геоданных. На ранней стадии разработки непространственных систем управления базами данных контролю целостности уделили недостаточно внимания. В результате этого и пространственные наборы данных создаются с сомнительным качеством данных, что приводит к соответствующим результатам анализа, выполненного с использованием таких данных.

Учитывая высокую стоимость фиксации данных в формате ГИС, уже недостаточно неавтоматизированным способом обрабатывать определяемые пользователем ограничения целостности, которые влияют на качество данных. В [4] была предложена ставшая уже классической архитектура, которая предусматривает определение и совместное использование бизнес-правил в приложениях ГИС. В общих чертах она проиллюстрирована на рис. 1.



Рис. 1. Модель Чадвика использования бизнес-правил геоданных

Можно реализовать бизнес-правила непосредственно через приложения, тогда приложение и правила должны быть логически согласованы. Когда рассматривается несколько приложений, этот подход становится более сложным, так как контроль бизнес-правил во всех приложениях становится трудной задачей из-за большой избыточности, и увеличивается опасность потери правила. Отметим, что бизнес-правила указаны в двух местах на рис. 1: атрибутивные правила типа «шпала должна быть сделана из бетона или из древесины, пропитанной антисептиком» сохранены в логическом описании базы данных, тогда как топосемантические правила сохранены в специализированном репозитории бизнес-правил, который может быть использован многими приложениями или проектами.

Есть два основных подхода к проблеме качества данных. Первый – уменьшить ошибки в пространственных наборах данных, и второй – вооружить пользователей знанием качества наборов данных и их содержания. Первому подходу посвящены работы [5–7]. В них предлагается автоматически идентифицировать и исправлять топологические ошибки в пределах существующих наборов данных. Чтобы устанавливать ограничения целостности до ввода данных, необходимо включить ограничения целостности в язык определения данных базы данных так, чтобы они автоматически контролировались во время выполнения загрузки данных. Метаданные для этого процесса – словарь метаданных, описывающих характеристики, отношения и структуры. Каталог метаданных описывает происхождение и качество данных. Сопоставление информации типа «Кто ввел данные?» и «Каково их происхождение?» представляет собой важную задачу при вводе данных для пользователя.

Репозиторий метаданных, который поддерживает хранение и обновление каталога метаданных, важен при проектировании геопространственных систем. Ограничения целостности могут быть неявно включены при проектировании, это позволит автоматически включить их в спроектированную систему. Пространственные и непространственные отношения также сохраняются вместе с ограничениями целостности и данными, касающимися преобразования объектов. Эта особенность проектирования репозитория обоснована в

[8, 9], где поддержка составления диаграмм часто обеспечивается на том же самом уровне, что и поддержка генерации схемы, т. е. одна из задач репозитория – определить, какая сущность появится на диаграмме сущность-связи. Сказанное выше относится и к картографическим данным.

Репозиторий активизируется при вводе геоданных, контролируя соблюдение ограничений на данные или же фиксируя такие нарушения в файле регистрации нарушений.

Важную роль в реализации ограничений целостности играет использование дедуктивных объектных баз данных. Было показано, что они полезны на уровне метаданных и применимы к ГИС [10].

Важно различать географическую информационную систему (ГИС) и пространственную информационную системную среду разработки. Дополнительная функциональность часто обеспечивается для разработчика приложения ГИС объединением ГИС с внешними программами или написанием специальной прикладной программы. Кроме того, ГИС или приложение могут быть ориентированы на определенную проблему (например, управление сетью дорог). Часто этот процесс представляется поставщиками как настройка программного обеспечения ГИС. В таком случае это – среда разработки, обеспеченная используемой ГИС. Другими словами, это инструментальные средства, предоставленные разработчику или конечному пользователю, чтобы создавать различные приложения.

Особую важность в современных исследованиях представляет инструмент разработки ГИС, который позволяет пользователю специфицировать семантические ограничения на бинарные топологические отношения без потребности в программировании. Проектирование при этом не зависит от конкретной ГИС, но может быть связано с одной из них. Оно должно помочь пользователям в разработке пространственных приложений; один и тот же инструмент может использоваться, чтобы многократно строить проекты в различных масштабах. Одна из главных особенностей такого проектирования – создание репозитория для пространственных ограничений целостности, которые могут быть использованы во множестве приложений. Репозиторий отличается от различных словарей данных, поддерживающих ГИС, которые являются файлом или набором

файлов, ориентированных на одно конкретное приложение. Интегрированная пространственная среда разработки программного обеспечения проиллюстрирована на рис. 2. Ключевой элемент в этой среде – репозиторий метаданных, который является средством контроля всех проектных изменений так же, как и репозиторий инструментальных средств разработки программного обеспечения в непространственных средах разработки.

При проектировании репозитория формулируются следующие цели:

1. Исследовать спецификацию правил и ограничений целостности в существующих пространственных и непространственных средах разработки.
2. Оценить существующую возможность инструментальных средств разработки ГИС представлять определяемые пользователем пространственные ограничения целостности.
3. Определить методы регистрации и применения этих ограничений средствами, доступными для конечных пользователей.
4. Проверить эффективность этих методов.

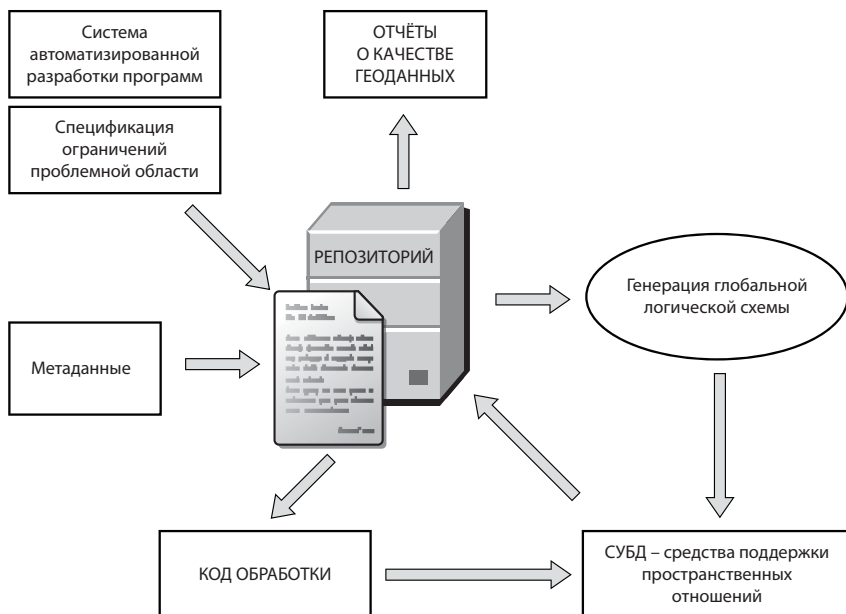


Рис. 2. Интегрированная пространственная среда программирования

Проектирование включает интегрированную среду разработки программного обеспечения с репозиторием, как показано на рисунке 2. Репозиторий хранит и контролирует подмножество классов ограничения целостности. Ограничения фиксируются двумя способами: первый – посредством предложений языка определения данных СУБД, и второй – интеграцией с существующим программным обеспечением ГИС. Репозиторий хранит элементы модели геоданных или данных о геоданных, средства генерации логических моделей данных из этих метаданных и поддержки проекта базы геоданных. В частности, должно быть средство для включения ограничений целостности в базу данных разрабатываемой системы. Метаданные качества и происхождения также сохранены в репозитории.

Пространственные ограничения целостности

Проблеме качества пространственных данных, связанной с ограничениями целостности, было уделено внимание в работе [5]. Там же давались определения и классификации различных типов ограничений целостности, которые принадлежат пространственным системам (рис. 3).

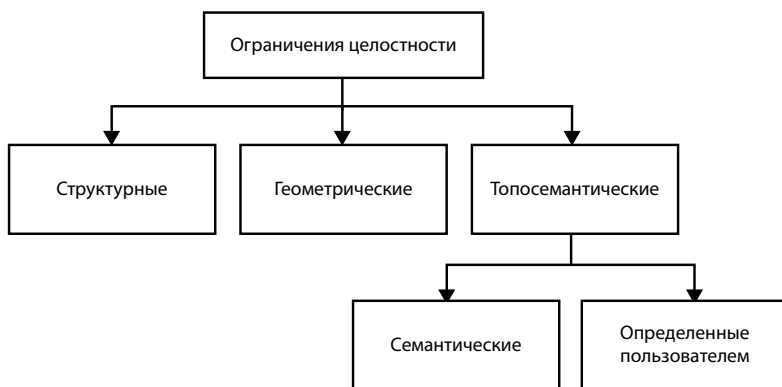


Рис. 3. Пространственные ограничения целостности

Топологические ограничения там были подразделены соответственно трем типам возможных ошибок: структурным ошибкам, геометрическим ошибкам и топосемантическим ошибкам. В [5] топосемантические ошибки определены

как топосемантическое подмножество топологических. В дальнейшем топосемантические ограничения были подразделены на семантические ограничения и определяемые пользователем ограничения целостности. Семантические ограничения касаются природы объектов, например, снег рыхлый и лед твердый, а дороги не должны проходить через озера или здания. Ограничения целостности, определенные пользователем, могут быть, например, такие: атомная электростанция не должна быть в пределах определенного радиуса жилой зоны. Этот тип ограничения часто описывается в геопространственной литературе как бизнес-правила. Топосемантические правила также включают топологические правила, основанные на значениях признака. Например, «в системах и сетях железнодорожной электросвязи должна отсутствовать возможность удаленного воздействия на порты сетевого оборудования, связанные с его конфигурированием». В [5] предлагается идентифицировать и исправлять главным образом топологические ошибки в пределах условий выполнения, причем если ошибки в существующих системах обнаруживаются, то они, по возможности, исправляются автоматически.

Интегрированная среда разработки пространственной информационной системы

В этом разделе описывается подход к проектированию репозитория. Рисунок 4 иллюстрирует архитектуру предлагаемого репозитория. В качестве инструментальных средств предполагается использовать любой тип доступных инструментальных средств, которые позволят проиллюстрировать, как будет вести себя репозиторий в интегрированной среде разработки. Репозиторий управляет всем программным обеспечением в среде и представляет собой интерфейс между пользователем и инструментальными средствами, через которые можно управлять разработкой и определять правила.

Рисунок 5 представляет концептуальную модель репозитория, который хранит данные на метауровне. При проектировании неявно предполагается, что геометрия может иметь много графических представлений. Визуализация спецификаций включена, чтобы позволить пользователю

определить графические стили для объектов в ГИС, предполагая, что наличие визуальных команд вызова программы улучшило бы ясность относительно того, что собой представляют объекты, и таким образом уменьшило бы ошибку ввода данных. Это – задача, которая непосредственно контролируется репозиторием. Для этого используются метаданные, касающиеся схематического изображения и использующиеся для генерации схемы, сохраняемой на том же самом метауровне.



Рис. 4. Архитектура системы управления пространственными данными

Сущность диаграммы является внутренней для репозитория и содержит пространственную диаграмму связей. Логическая схема репозитория содержит таблицы хранения каталога метаданных, возвращаемых репозиторию от ГИС через интерфейс ODBC, и файл нарушений корректности (целостности и согласованности). Правило (атрибута) иллюстрирует концептуальную модель хранения атрибутивных правил. Атрибут может иметь два или больше присоединенных правил, например, расстояния между шпалами должны быть больше чем 10 см, но меньше 50 см.

Центральная часть изображения модели репозитория содержит основную информацию для представления сущности и ее отношений. Репозиторий обрабатывает проекты через отношение сущность-проект этой части модели. Все записи в базе геоданных отмечены идентификатором проекта посред-

ством значения внешнего ключа в сущности. В рабочем режиме репозиторий должен использоваться для того, чтобы проекты совместно использовали допустимые правила. Но это требует дальнейшего развития модели, так как при этом требуется обработка отношений «многие ко многим» между проектом и сущностью.

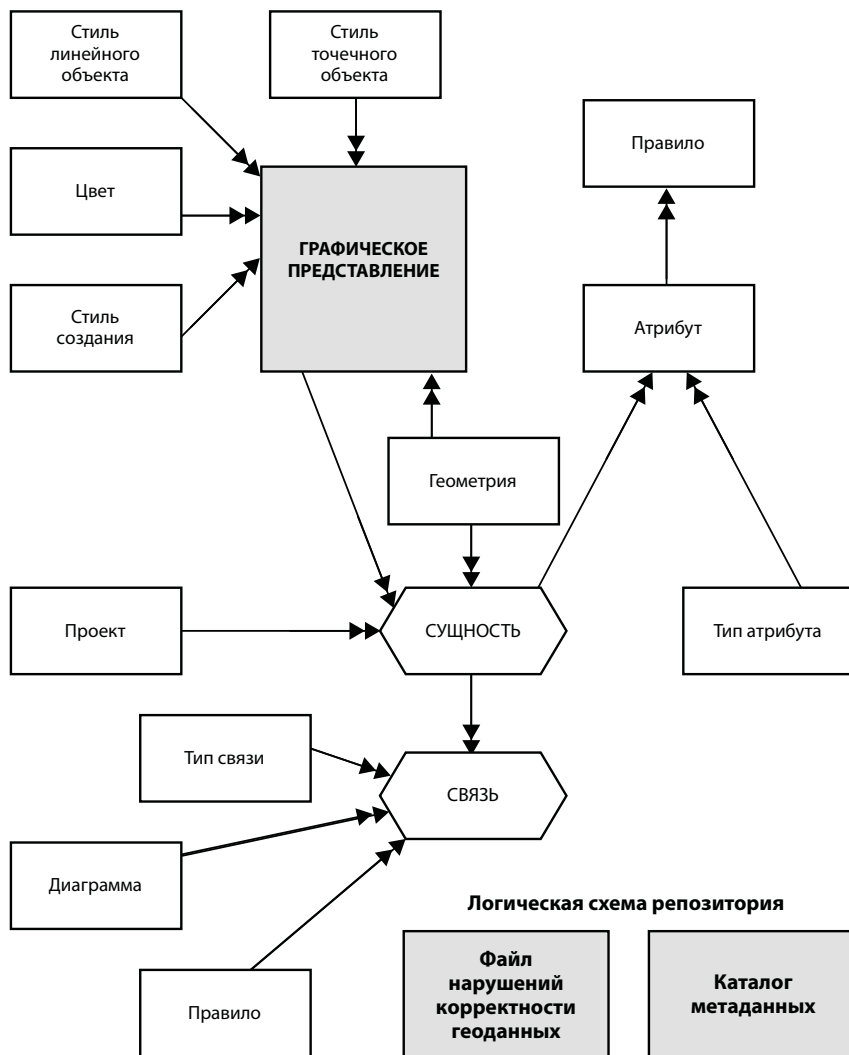


Рис. 5. Модель данных репозитория

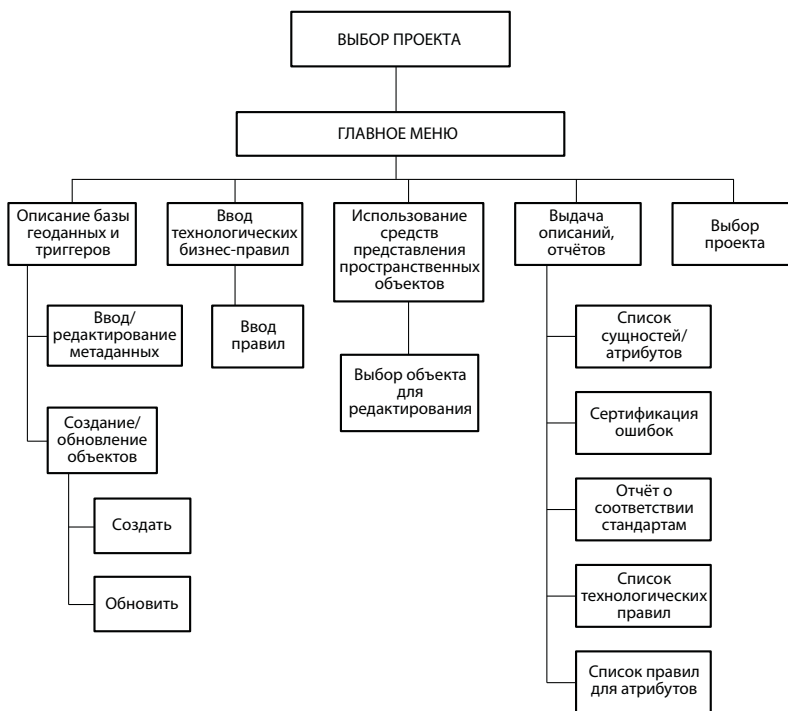


Рис. 6. Структура меню системы репозитория

Топологические ограничения неявно поддерживаются средствами ГИС, с которой связан репозиторий. Правила представлены как предложения языка определения данных в SQL для правил атрибута и как структурированный текст для правил отношений (связи) [11].

Система репозитория проектируется, чтобы облегчить разработку системы не вполне подготовленными пользователями. При этом главная задача – обеспечить спецификацию реальных объектов пользователями при существующих ограничениях на способ, которым данные об этих объектах могут быть введены. Эти ограничения задаются, чтобы управлять качеством данных. Система репозитория обеспечивает интерфейс пользователям, позволяющий устанавливать статические ограничения целостности на значения атрибута и определяемые пользователем ограничения целостности на пространственные отношения. Они автоматически перетранслируются в предложения языка

определения данных или ограничения, выраженные как запросы к ГИС. Таким образом, не приходится нагружать программированием пользователей. Интерфейс репозитория также обеспечивает шлюз к ГИС. Управление в этом случае переходит к ГИС. ГИС способна реагировать на результат, который указывает, что имеет место нарушение правила. Такие нарушения при вводе геоданных приводят к откату входных данных или фиксируются в файле нарушений корректности репозитория. Кроме того, могут быть собраны автоматически и также предоставляться репозиторием метаданные об авторе, дате, пространственных границах, масштабе, проекции и системе координат.

Цель операции по выбору проекта состоит в том, чтобы находить, вводить или изменять основные детали проекта. Эта операция начинается непосредственно после инициализации системы репозитория. Однако она может быть задействована на любой стадии выполнения проекта, когда пользователь пожелает перейти на другой проект. При этом вводятся детали проекта, включая координаты и масштаб.

Описание базы геоданных и триггеров (встроенных процедур) позволяет пользователю, во-первых, описывать реальные объекты, их признаки и их графическое представление и, во-вторых, генерировать таблицы, представляющие эти объекты. Есть два обеспечивающих ее процесса: ввод/редактирование метаданных и создание/обновление объектов. В первом случае пользователь вводит имя сущности, ее атрибуты и правила, которые применяются к ним, ее геометрию и графический стиль, связанный с ней.

Функция ввода топологического бизнес-правила дает возможность пользователю определить пользовательские правила, ограничивающие отношения, в которых сущности могут принять участие. Первоначально создается правило, основанное на сущностях, вовлеченных в связь и являющихся непосредственно связью. Они отбираются пользователем. Если заданы конфигурации сущностей, а связь – под вопросом, то существует только одна возможная диаграмма.

Если заданы метаданные, которые сохраняются согласно существующим таблицам, то данные о правилах собираются на основе существующих в базе геоданных ограничениях целостности объектов. Сообщение об ошибке фор-

мируется во время производимого пользователем выбора. Условия, на которых базируются ограничения целостности, сохранены в двух областях в репозитории. В первой условия сохраняются в соответствии с определенными атрибутами, а во второй – в соответствии с пространственными отношениями.

Когда пользователю требуются средства представления пространственных объектов, репозиторий инициирует запуск ГИС со всеми таблицами для выбранного открытого проекта. Репозиторий управляет всеми топологическими ограничениями и атрибутивными условиями. Ограничения проверяются ГИС при добавлении каждого пространственного объекта. Кроме того, при каждой транзакции проверяются все атрибутивные условия и топологические ограничения, и в случае ошибок формируется соответствующее сообщение.

Существующие стандарты метаданных в пространственных информационных системах прежде всего отражены в каталоге метаданных. Существенная выгода использования подхода на основе репозитория в том, что репозиторий является активным и при разработке системы, и при ее эксплуатации.

ГИС обеспечивает сообщения (отчеты) о сущностях/атрибутах и дает список всех сущностей в проекте, их атрибутов и ограничений на эти атрибуты. Файл нарушений корректности геоданных дает список всех ошибок, которые произошли с пользовательскими правилами, идентификатор рассматриваемого объекта и его координаты. Сообщения, обеспечиваемые репозиторием, включают также сообщение о топологическом правиле и сообщение о правиле атрибута. Топологическое сообщение о правиле включает все топологические правила проекта и условия выполнения этих правил. Сообщение о правиле атрибута включает атрибуты проектных сущностей, правила, связанные с ними, и текстовое правило, которое поставляется с сообщением об ошибке.

Заключение

В этой работе описан подход к проектированию репозитория для управления пространственными бизнес-правилами и его роль в разработке интегрированной среды программного обеспечения для ГИС. Следует отметить, что метаданные являются больше чем средством каталогизации наборов

данных. Они могут также эффективно использоваться при проектировании базы геоданных. Через контролируемый ввод геоданных репозиторий имеет возможность улучшить качество данных ГИС. Репозиторий активен при эксплуатации системы, проверяя ввод данных. Все нарушения ограничений регистрируются с выдачей сообщений о качестве геоданных. Репозиторий может обеспечить метаданные описания идентичности и происхождения наборов данных, введенных в систему. Эти два средства сообщения улучшают осведомленность о качестве рассматриваемого набора данных и поэтому предотвращают некорректное использование. Наконец, можно получить полный отчет о содержании репозитория, который помогает в администрировании базы данных. Качество геоданных в существующих ГИС часто невысокое. Существующие ГИС обеспечивают, в лучшем случае, только поддержку корректности ввода геоданных. Кроме того, инструментальные средства, используемые для разработки таких систем, не ориентированы на участие в разработке системы конечных пользователей. Основная направленность представленной работы – определить главные особенности развития ГИС, допускающей конечных пользователей к участию в создании интегрированной среды, которая позволила бы пользователям задавать их собственные ограничения и получать качественные отчеты, соответствующие стандартам на метаданные.

Литература

1. Longley P. A., Goodchild M. F., Maguire D. J., Rhind D. W. Geographic information systems and science. Second Edition. New York: Wiley, 2005.
2. Розенберг И.Н., Дулин С.К. Геоинформационный портал отрасли. Гарантировать достоверность данных // Железнодорожный транспорт. 2010 № 2. С. 12–17.
3. Бугаевский Л.М., Цветков В.Я. Геоинформационные системы. – М.: Златоуст, 2000.
4. Chadwick A. An architecture to support business rules in custom GIS applications // Proc. 18th AMI FM International Conference, Baltimore, AM/FM International, 1995. Pp.1047–1058.

5. Дулина Н.Г., Уманский В.И. Структуризация проблемы улучшения пространственной согласованности баз геоданных. – М.: ВЦ РАН, 2009.
6. Дулин С.К., Розенберг И.Н. Об одном подходе к структурной согласованности геоданных // Мир транспорта. 2005. № 3. С. 16–29.
7. Дулин С.К., Розенберг И.Н. Согласованное пополнение геоинформационного портала неструктурированными данными // Системы и средства информатики. Вып. 15. М.: Наука, 2005. С. 194–218.
8. Baird M.P., Frome R.J. Large-scale repository design // Cell preservation technology. 2005. Vol. 3. N 4. Pp. 256–266.
9. Berstein P.A., Bergstraesser T., Carlson J., Pal S., Sanders P., Shutt D. Microsoft repository version 2 and the open information model // Information Systems. 1999. Vol. 24(2). Pp. 71–98.
10. Servigne S., Ubeda T., Puricelli A., Laurini R. A methodology for spatial consistency improvement of geographic databases // Geoinformatica. 2000. Vol. 4(1). Pp. 7–34.
11. Orriens B., Yang J., Papazoglou M. P. A framework for business rule driven service composition // 4th Int. Workshop, TES 2003, B. Benatallah and M.-C. Shan, Eds.: Springer, 2003. Pp. 14–27.

*Системы управления
транспортной
инфраструктурой
и имущественным
комплексом*

УДК 621.331

Макаров А.Ю., Василейский А.С., Карелов А.И.

Спутниковый мониторинг потенциально опасных воздействий на железнодорожную инфраструктуру

Ключевые слова:

спутниковый мониторинг, потенциально опасные воздействия, железнодорожная инфраструктура, дифференциальная интерферометрия, Геопортал РЖД.

Высокая эксплуатационная нагрузка и интенсивное использование железнодорожного транспорта в нашей стране предъявляют повышенные требования к бесперебойному и безопасному функционированию железнодорожной инфраструктуры. Железные дороги являются основным видом транспорта в нашей стране и пролегают по большей части территории Российской Федерации в самых разных климатических зонах и геоморфологических условиях. При этом зачастую они подвержены постоянным негативным воздействиям явлений и процессов окружающей среды. Несмотря на то, что механизмы этих воздействий хорошо изучены, далеко не всегда удается своевременно выявить участки интенсивного развития опасных геодинамических процессов и классифицировать эти участки по степени угрозы для железнодорожной инфраструктуры. Кроме того, многие природные факторы отягощаются антропогенными воздействиями, что, в свою очередь, приводит к резкому изменению устоявшейся картины негативных процессов и явлений, зачастую в сторону ухудшения ситуации.

Очевидно, что традиционные методы наблюдения и мониторинга за состоянием железнодорожной инфраструктуры и ее окружением не всегда удовлетворяют требованиям, диктуемыми реальной ситуацией. Поэтому особенно актуальным становится применение спутниковых систем дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) для целей мониторинга потенци-

ально опасных воздействий на железнодорожную инфраструктуру, позволяющих, в том числе, отслеживать ситуацию и за пределами полосы отвода.

Поскольку инфраструктура железнодорожного транспорта – это сложная геотехническая система, включающая в себя множество объектов (земляное полотно, искусственные сооружения, наземные и подземные линии коммуникаций), находящихся под постоянным воздействием природных процессов и явлений (геологические явления, гидрологические процессы, влияние растительности и т.п.), то для ее комплексного анализа, а также для анализа угрожающих ей воздействий целесообразным является использование данных ДЗЗ в основном сверхвысокого пространственного разрешения (от 1 м и лучше) в оптическом, а в некоторых случаях и радиолокационном диапазонах.

При анализе разновременных оптических снимков (космические аппараты (КА) QuickBird и GeoEye, пространственное разрешение – 0,6 и 0,5 м соответственно) на участке Туапсе–Адлер Северо-Кавказской железной дороги у станции Якорная Щель (рис. 1) видно уменьшение ширины защитного пляжа (из-за воздействия волн морского прилива) на 30 м в период с 2005 по 2009 г. В результате на станции Якорная Щель вследствие вымывания грунтов наблюдаются смещение насыпи и нарушение геометрии покрытия пассажирской платформы. Этот процесс может привести к нарушению геометрии пути и повлиять на пропускную способность и безопасность движения на данном участке. Регулярный спутниковый мониторинг станции и прилегающей территории позволил бы на начальном этапе выявить изменение ширины защитных пляжей и своевременно принять меры по защите железнодорожных объектов с учетом динамики естественного переноса обломочного материала, формирующего пляж, вдоль берега моря.

В другом месте участка Туапсе–Адлер Северо-Кавказской железной дороги в устье реки Шепси в непосредственной близости от железнодорожного моста в течение последних трех лет наблюдается существенное изменение количества русловых отложений, преимущественно состоящих из обломочных горных пород и определяющих морфологическое строение русла (рис. 2).



Рис. 1. Уменьшение ширины защитного пляжа с 2005 по 2009 г.
в районе станции Якорная Щель



Рис. 2. Изменение отложений обломочного материала и протоков
в месте впадения реки Шепси в море



Рис. 3. Изменение отложений обломочного материала и протоков
в русле реки Шепси в связи с добычей стройматериалов



Рис. 4. Мониторинг потенциально опасных русловых процессов по данным ДЗЗ среднего пространственного разрешения

Активизация русловых процессов реки Шепси может создать угрозу для мостовых опор и подходных пойменных насыпей моста, особенно в периоды половодья, причиной которых стало выпадение интенсивных осадков, характерных для этого района.

Анализ одновременных снимков с КА QuickBird позволяет констатировать факт, что выше по течению реки Шепси (на большом расстоянии за пределами полосы отвода) начиная с 2007 г. проводится разработка и добыча русловых отложений обломочного материала (рис. 3), что могло стать причиной изменения морфологии русла реки и системы водотоков. Регулярный мониторинг с помощью средств ДЗЗ позволит вовремя, еще на начальной стадии, выявлять такие процессы и заранее принимать комплекс соответствующих охранно-предупредительных мер.

В некоторых случаях для мониторинга потенциально опасных процессов и явлений, негативно воздействующих на железнодорожную инфраструктуру, целесообразно применять средства ДЗЗ не высокого, а среднего пространственного разрешения. С одной стороны, это не ухудшит процесс дешифрирования снимков (в силу большой протяженности областей негативных воздействий), а с другой – приведет к уменьшению затрат на приобретение материалов ДЗЗ.

Так, например, на представленном на рис. 4 снимке (снимок предоставлен компанией «СканЭкс») с КА IRS 1C/1D (пространственное разрешение 5,8 м)

на перегон Кугуты–Светлоград Северо-Кавказской железной дороги видно изменение положения русла реки Грачевка. Новое русло в трех местах пролегло настолько близко от железной дороги, что стало причиной размывания земляного полотна и привело к проседанию железнодорожного пути на 60 см. Изменение геометрии железнодорожного пути стало причиной ограничения скоростного режима на данном участке до 40 км/ч.

В связи с тем, что изменение положения русла на начальном этапе происходило за пределами полосы отвода, традиционные наземные методы мониторинга, проводимые в полосе отвода железной дороги, не позволили своевременно обнаружить данный процесс. Применение средств ДЗЗ позволило бы вовремя обратить внимание на данное явление и спрогнозировать его развитие, что, в свою очередь, помогло бы заранее принять необходимые контрмеры.

В дополнение к оптическим съемочным системам, возможность оперативного использования которых бывает ограничена метеорологическими условиями и условиями освещенности, в последнее время широкое распространение получают космические радиолокационные системы ДЗЗ высокого разрешения (пространственное разрешение лучше 3 м), позволяющие осуществлять съемку наземных объектов вне зависимости от погодных условий и времени суток.

Также следует иметь в виду тот факт, что некоторые потенциально опасные процессы (карстовые провалы, оползни) на своей начальной стадии практически невозможно различить на оптических снимках в силу незначительных (миллиметровых) смещений земной поверхности.

Особенности формирования радиолокационных изображений обеспечивают дополнительные преимущества этой информации по сравнению с оптическими данными ДЗЗ. Интерферометрическая обработка детальных радиолокационных снимков позволяет получать детальные и высокоточные цифровые модели рельефа. Дифференциальная интерферометрическая обработка нескольких радиолокационных снимков, полученных в разное время, позволяет производить измерения смещений наблюдаемой поверхности с миллиметровой точностью, недоступной для других мето-

дов ДЗЗ. Кроме того, элементы железнодорожной инфраструктуры сами по себе являются хорошими искусственными отражателями радиолокационного сигнала, что делает мониторинг с помощью радиолокационных средств ДЗЗ особенно эффективным.

Для примера на рис. 5 представлен фрагмент снимка с КА QuickBird морского порта города Сочи с наложенными на него точками деформаций и смещений, полученными в результате дифференциальной интерферометрической обработки радиолокационных разновременных снимков с группировки КА COSMO-SkyMed (данные предоставлены компанией e-GEOS).

В результате такой обработки можно строить карты потенциально опасных процессов и смещений. На основе анализа карты можно прогнозировать возникновение опасных геодинамических воздействий на железнодорожную инфраструктуру на их начальной стадии.

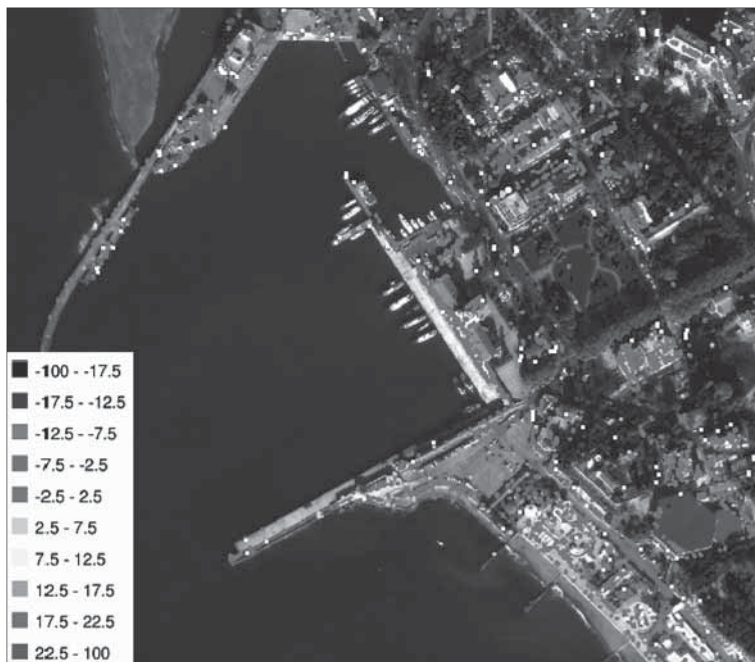


Рис. 5. Мониторинг деформаций в г. Сочи по радиолокационным данным высокого разрешения COSMO-SkyMed

«Геопортал РЖД» – сетевая геоинформационная система, призванная объединить на одной координатной основе данные спутникового мониторинга, результаты тематической интерпретации космических данных, а также данные инженерно-геологических обследований, проводимых наземными методами.

Геопортал создан на основе технологии GeoMixer WEB-GIS, разработанной ИТЦ «СканЭкс». Получить доступ к пространственным данным посредством «Геопортала РЖД» может любой пользователь, работающий в СПД (внутренняя сеть передачи данных ОАО «РЖД») и имеющий соответствующие права доступа. Для работы с геопорталом не требуется установки дополнительного программного обеспечения, достаточно браузера, установленного на компьютере.

Пользовательский интерфейс GeoMixer позволяет создавать собственные проекты на основе геоданных в растровом и векторном виде, подключать к ним дополнительные сервисы и предоставлять многопользовательский доступ для просмотра или совместной работы над проектом.

Серверная часть геопортала содержит в себе ряд функциональных модулей:

- регистрация пользователей системы;
- создание типов пользователей: администратор, редактор, пользователь;
- управление правами доступа к WMS-серверу и слоям геоданных;
- импорт таблиц из Базы данных, построенной на базе MS SQL Server-2008;
- общие настройки системы.

Одним из основных преимуществ технологии GeoMixer WEB-GIS перед другими сетевыми геоинформационными технологиями является оптимизированное хранение и представление растровых и векторных данных в виде фрагментов с размером 256×256 пикселей (тайлы). Это позволит существенно увеличить производительность при работе с загружаемой картой за счет передачи пользователю только той части геоданных, которая выводится в окно браузера.

Совместное применение на железнодорожном транспорте космических технологий мониторинга и инновационных систем сетевого доступа к пространственным данным открывает широкие возможности по совершенствованию устоявшихся методов обеспечения безопасности, управления движением, проектирования и строительства объектов инфраструктуры и управления имуществом.

Броневи́ч А.Г., Каркищенко А.Н., Уманский В.И.

Восстановление профиля по результатам лазерного сканирования¹

Ключевые слова:

восстановление профиля, кусочно-стационарный случайный процесс, функция правдоподобия, оценка статистических характеристик.

Введение

В настоящее время развиваются методы автоматического мониторинга профиля земляного полотна и верхнего строения железнодорожного пути на протяженных участках дороги. Профиль (точнее, поперечный профиль) включает полосу отвода² или территорию до защитных лесонасаждений.

Земляное полотно должно удовлетворять требованиям установленной нормативной документации. Однако под воздействием динамических поездных нагрузок и влиянием природно-климатических факторов происходит его деформация, так что со временем оно может не удовлетворять условиям дальнейшей эксплуатации. В этом случае предпринимаются меры по поддержке земляного полотна – от обычных регламентных работ до срочного восстановления. В связи с этим возникает необходимость постоянной диагностики (или мониторинга) земляного полотна. Учитывая протяженность существующих железнодорожных линий, мониторинг становится чрезвычайно трудоемкой, требующей постоянного внимания процедурой [1], [2].

К числу наиболее простых и широко используемых методов мониторинга относятся так называемые традиционные и геодезические методы

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ.

² Полоса отвода – полоса земли, предоставляемая правительством из земельного фонда страны под постройку железной дороги со всеми ее устройствами – земляным полотном, искусственными сооружениями, станционными площадками, водоснабжением, производственными, служебными зданиями и т.п. (Технический железнодорожный словарь).

диагностики. Традиционные методы включают в себя эксплуатационные наблюдения – визуальный осмотр, учет выправок пути, замеры смещений масс грунта, проверка положения и роста трещин, а геодезические – нивелирование по точкам створов и головкам рельсов, проверка сдвижки пути, съемка поперечных и продольных профилей земляного полотна.

Развитие методов анализа и обработки результатов диагностики земляного полотна позволяют на основе оценки его фактического состояния обосновать очередность и установить сроки ремонта и усиления полотна, повысить безопасность движения поездов за счет своевременного выявления поврежденных участков. При этом не нарушается график движения поездов и не требуется предоставление технологических «окон». Экономический эффект от применения автоматизированных систем диагностики обусловлен тем, что быстрее снимаются ограничения на скорость движения поездов при прохождении деформированных участков (ограничения снимаются после выполнения работ по усилению полотна), устраняются перерывы в движении поездов вследствие своевременного ремонта насыпей вблизи пути и др.

Эффективность диагностики земляного полотна во многом определяется такими свойствами, как объективность, достоверность, простота проведения, оперативность, дешевизна. При этом требуется мониторинг целых участков и направлений, применяющийся для выявления деформаций массового характера на большом протяжении. Учитывая протяженность, особую ценность приобретают методы мониторинга, главными свойствами которых являются быстрота проведения и дешевизна. Наиболее простыми, но важными являются наблюдения за соответствием сложившихся профилей земляного полотна с типовыми нормативными профилями для заданных грунтов, слагающих насыпи или выемки. На основании таких наблюдений и их сравнительного анализа требуется фиксировать следующие параметры:

- ненормативная ширина плеча балластной призмы;
- ненормативная ширина обочины земляного полотна;
- места с завышенной крутизной откосов;

- нарушение *структурных линий* полотна, представляющих собой продольные линии излома поверхности земли в полосе отвода, и др.

В связи с этим возникает необходимость разработки методов автоматического или автоматизированного сравнения поперечных профилей на основе использования специальных технических средств получения информации о поверхностном рельефе земли, отведенной под железнодорожный путь.

Для решения этой задачи перспективным является использование современных лазерных сканеров, которые, по сути, представляют собой лазерные дальномеры. Технически это сводится к тому, что посредством геометрических преобразований оказывается возможным восстановить в некоторой координатной системе координаты большого количества точек (облака точек) поверхности. Анализ полученных данных позволяет сделать выводы о поверхностном строении просматриваемого участка и ответить на многие вопросы, в том числе и на сформулированные выше.

Для обработки и анализа полученных в результате сканирования данных требуется решение ряда математических и алгоритмических задач. В частности, необходимо разработать методы координатной привязки данных и эффективную систему визуализации точек сканирования. Требуется создать алгоритмы двумерной аппроксимации поверхности на основе лазерных измерений, анализа возникающих в результате сканирования шумов, выделения семантически важных объектов и др. Сложность решения этих задач связана с необходимостью хранения большого объема получаемых данных, а также требованием быстрого их анализа и последующей обработки [3], [4]. Поэтому направление исследований, связанное с построением методов и алгоритмов обработки данных лазерного сканирования, является актуальным.

В настоящее время выпускаются эффективно работающие лазерные сканеры, причем их производительность увеличивается с каждым годом. Например, современные лазерные сканеры импульсного типа способны сканировать поверхность объекта со скоростью до 10 тыс. точек в секунду, а сканеры фазового типа – до 500 тыс. точек.

Один из способов применения лазеров заключается в воздушном сканировании, которое выполняется с вертолета или дирижабля. Это позволяет получать трехмерное представление объектов, находящихся в полосе съемки (земляное полотно, балластная призма, насыпи, выемки, кюветы и канавы, строения и сооружения, контактная сеть и др.), с точностью, сопоставимой с точностью наземной съемки.

Другой способ состоит в создании технических комплексов наземного лазерного сканирования и обработки (или частичной обработки) получаемой информации непосредственно на перемещающемся поезде [5]. Технологически данная задача решается путем установки двух лазеров на задней стенке последнего вагона (рис. 1). В процессе движения вагона каждый лазер сканирует свою часть полупространства – соответственно, слева и справа относительно движения, формируя совокупность замеров (рис. 2). Далее предполагается именно такая реализация технологии лазерного сканирования.



Рис. 1. Крепление лазерных дальномеров³

³ Материалы, представленные на рис. 1, 3, 4 и 5, публикуются с разрешения Научно-производственного объединения «Регион».

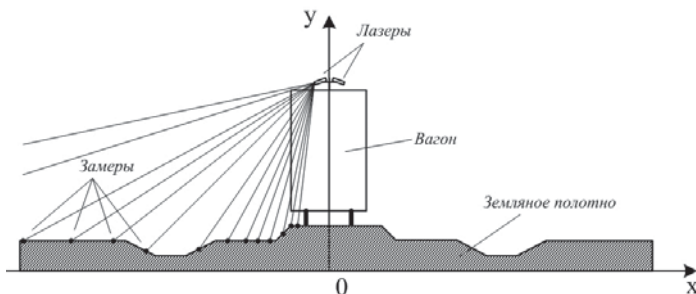


Рис. 2. Схема измерений земляного полотна

В настоящее время имеются и успешно применяются подобные системы. Например, в [6] для измерения габаритов пути используются два вращающихся синхронизированных лазерных дальномера и ультразвуковая система измерения габаритов приближения строений. При этом привязка к местности осуществляется с помощью датчиков пути и скорости. Данная система позволяет оперативно обнаруживать места с нарушением габаритов приближения строений, а также места с нарушением поперечного профиля балластной призмы и земляного полотна.

В данной работе далее приведена формальная постановка задачи восстановления поперечного профиля земляного полотна по зашумленным данным лазерного сканирования, описан подход к решению задачи путем сведения ее к анализу случайной последовательности измерений и показано, в частности, что более естественным является представление этой задачи в полярной системе координат. Показано, как можно решать данную задачу с помощью дискриминантной функции Фишера. Строится выражение для дискриминантной функции в полярной системе координат. Показано, как с помощью построенной дискриминантной функции локализуются точки переключения в параметризованной случайной последовательности, и предложен простой способ приближенного отыскания таких точек. В заключение приведены примеры реализации метода на моделируемых данных.

1. Описание и общая постановка задачи

При организации лазерного сканирования следует принимать во внимание ряд особенностей, возникающих при подобном способе измерений.

К числу таких особенностей относятся прежде всего следующие:

- совокупность измерений, называемых в дальнейшем *замерами*, представляет собой дискретное множество точек, количество которых определяется частотой излучения лазера и может варьироваться в зависимости от его технических возможностей (рис. 3);
- за один проход лазеров получается совокупность замеров по общему углу охвата в 360° (по 180° на каждый лазер);
- распределение точек замеров существенно зависит от высоты расположения лазера над поверхностью земли. Поскольку лазеры устанавливаются на задней стенке последнего вагона, то считается, что высота подвеса лазеров равна 4–5 м над рельсами;
- характер и совокупность данных зависят от того, перемещается ли поезд на открытом пространстве (насыпь), на полуоткрытом (выемка) или в закрытом пространстве (например, тоннель);
- точки замеров расположены относительно *равномерно по угловой мере*, так как сканирующий луч перемещается дискретно во времени, а значит, и в пространстве, через равный угловой шаг;
- точки замеров располагаются крайне *неравномерно в линейном измерении*, поскольку происходит отражение от поверхностей, расположенных под разным углом по отношению к лучу лазера и находящихся на разном расстоянии от источника лазерного излучения. При этом общая тенденция расположения точек-замеров состоит в их сгущении при приближении к балластной призме, так как расстояние до лазеров в этом случае уменьшается, и линейная мера угла становится меньше;
- данные реальных измерений оказываются сильно зашумленными. Ошибки измерений возникают из-за погрешностей собственно лазерного дальномера, а также в большей степени ввиду естественной неров-

ности отражающей поверхности земляного полотна, наличия на нем посторонних предметов, растительности и пр.

Ниже рассматривается задача восстановления по лазерным замерам формы обочины земляного полотна и балластной призмы на достаточно протяженном участке дороги. Теоретически решение данной задачи позволит провести автоматическое сравнение реального рельефа полотна с рельефом, соответствующим требованиям нормативных документов.

Рассмотрим один цикл съема информации о земляном полотне с помощью лазерного датчика. Под *циклом съема* или просто *циклом* будем понимать период лазерного сканирования, соответствующий обзору лазера сверху-вниз, т.е. на 180° . В частности, в данной работе будем рассматривать информацию, получаемую только при сканировании земляного полотна, и не будем принимать во внимание точки, возникающие при отражении луча сканера от объектов, находящихся выше полотна (опоры электропередач, деревья, провода, искусственные сооружения и пр.).

В результате одного цикла сканирования получается совокупность точек-замеров в поперечном сечении железнодорожного полотна, т.е. в плоскости, перпендикулярной направлению железнодорожного пути⁴. Если получаемые точки соединить последовательно отрезками прямых линий, то можно получить представление о форме реального поперечного профиля. На рис. 4 частично показаны также точки, получаемые вторым лазерным дальнометром, сканирующим правую часть поверхности полотна.

Как отмечалось выше, полученные замеры будут лишь приближенно описывать земляное полотно. Даже в том случае, если оно соответствует всем требованиям существующих нормативов, измерения будут содержать существенную случайную составляющую, появление которой вызвано различными причинами:

– неровностями поверхности земли;

⁴ На самом деле из-за движения поезда, несущего лазеры, точки замеров не будут лежать в указанной плоскости, а будут в случае равномерного движения поезда лежать на пересечении винтовой линии, описываемой лучом лазера, и поверхности земли, пересекающейся с этой винтовой линией. Будем считать в дальнейшем, что эти замеры на участке одного цикла путем геометрических преобразований приведены к рассматриваемой перпендикулярной плоскости.

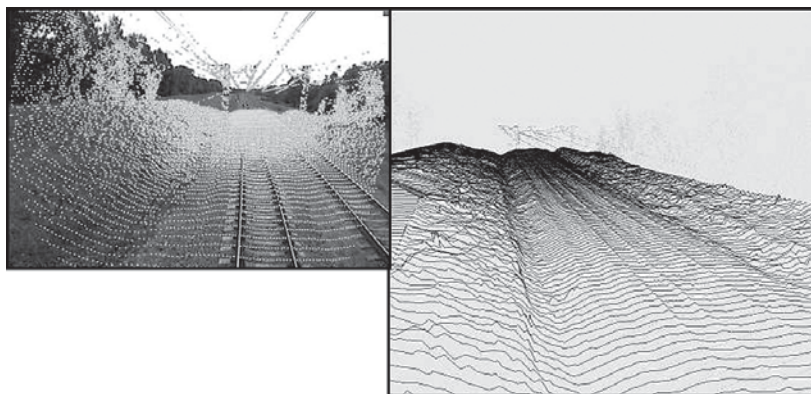


Рис. 3. Совокупность точек замеров, получаемых в результате сканирования

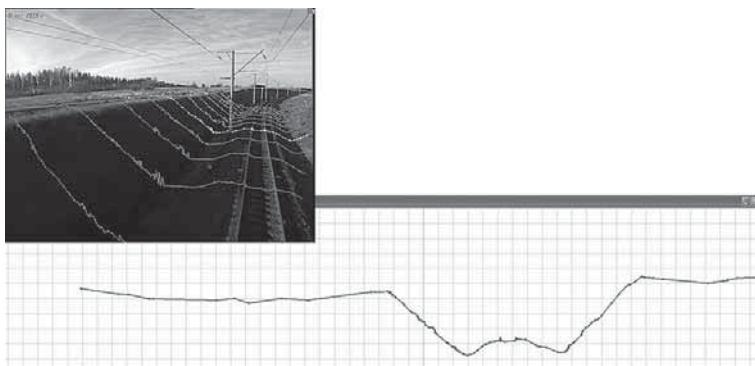


Рис. 4. Построение поперечных сечений дорожного полотна

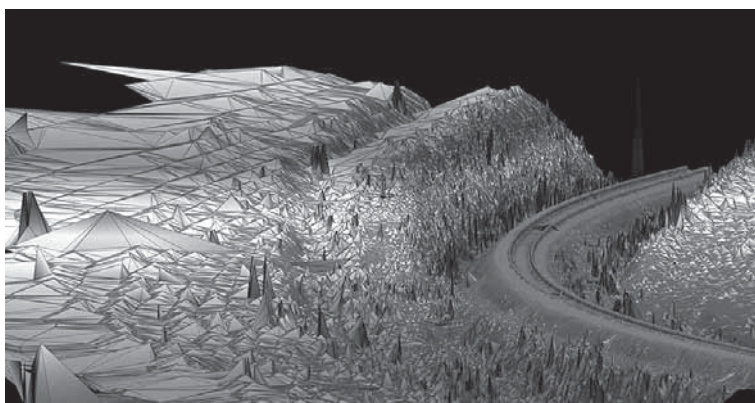


Рис. 5. Характерные шумы и выбросы, вызванные наличием растительности

- наличием различных предметов на поверхности, способных отразить лазерный луч;
- растительным покровом (рис. 5);
- снегом;
- собственно погрешностями лазерного дальномера;
- продольными и поперечными колебаниями вагона и др.

Далее будем считать, что выполняются следующие предположения:

- 1) ошибка каждого измерения в одном цикле является суммой большого количества независимых или слабо зависимых факторов (случайных величин). Поэтому ошибка измерения может быть достаточно точно описана случайной величиной, подчиненной нормальному закону распределения;
- 2) случайные величины имеют короткий «промежуток зависимости». Иными словами, случайные возмущения слабо связаны с их предысторией, и поэтому статистическая зависимость двух измерений быстро уменьшается с ростом расстояния между ними. Перечисленные выше факторы, влияющие на возникновение ошибок в измерениях, позволяют считать данное предположение вполне реалистичным. Это условие гарантирует, что получаемые на основе таких измерений стандартные статистические оценки являются асимптотически гауссовскими в смысле центральной предельной теоремы [7].

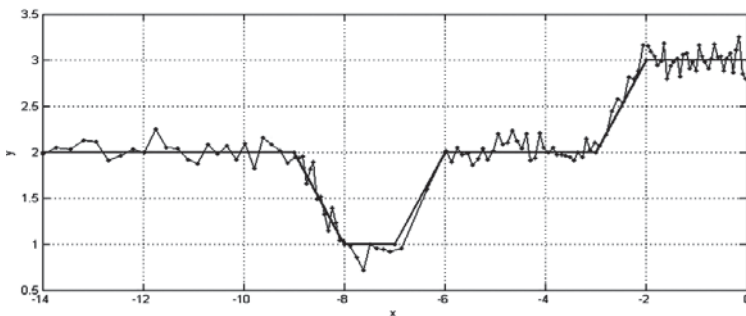


Рис. 6. Пример последовательности точек-замеров

Таким образом, в результате одного цикла измерений получается случайная последовательность точек-замеров, которая примерно отражает рельеф земляного полотна слева и справа от железнодорожного пути. Пример такой последовательности, полученной в результате моделирования с гауссовским зашумлением слева от дальномера, приведен на рис. 6. Отметим, что точки показаны в декартовой системе координат, в которой ось абсцисс расположена перпендикулярно направлению перемещения дальномеров, как показано на рис. 2. На рисунке видно, что точки сгущаются по мере приближения к началу координат.

Задача обработки полученных данных состоит в том, чтобы по последовательности измерений восстановить исходную форму профиля полотна (показанную на рис. 6 более толстой линией – графиком кусочно-линейной функции).

2. Формальное описание статистического анализа профиля полотна

Описанную выше случайную последовательность замеров можно рассматривать как реализацию некоторого случайного процесса, который обладает существенной нестационарностью, т.е. меняет свои статистические характеристики на различных участках сканирования. При этом могут быть участки, на которых эти характеристики примерно постоянны, но могут быть и такие, на которых они меняются по некоторому неизвестному неслучайному закону. *Выявление этого закона или функции, описывающей эти изменения, в общем случае, а также определение точек, в которых вид этой функции меняется*, позволяют провести практический анализ реального профиля, и поэтому являются предметом последующего рассмотрения. Задачи в подобной или похожей формулировке давно рассматриваются во многих областях, связанных с обработкой статистических данных (случайные процессы, случайные последовательности, временные ряды, конкретные приложения).

Между тем, многообразие методов решения указанной задачи определяется в значительной степени тем, какие априорные предположения могут быть допустимыми в каждом конкретном случае. Рассматриваемая в

работе проблема имеет указанную выше специфику, которая оправдывает разработку и исследование эффективных методов, специально ориентированных на ее решение.

Рассмотрим вначале для простоты широко используемую и удобную модель кусочно-стационарного случайного процесса, в котором изменение свойств происходит скачком. Такой процесс можно представить в виде последовательности стационарных участков, на которых его свойства считаются одинаковыми.

Обнаружение стационарных участков можно рассматривать как классическую задачу математической статистики – оценивания точек, в которых происходит изменение свойств кусочно-стационарного случайного процесса. Подобные случайные процессы возникают в разных прикладных задачах – в системах управления в пространстве состояний, при мониторинге окружающей среды, анализе сейсмической активности и др. С этой точки зрения стационарные участки представляют собой устойчивые и возможно периодически меняющиеся в процессе наблюдения состояния порождающего их объекта. Как правило, понятия стационарного случайного процесса и стационарного участка требуют своего уточнения. Традиционно различают случайные процессы стационарные *в узком смысле*, если наблюдается постоянство совместной функции плотности вероятности случайного процесса вне зависимости от отсчета x , или *в широком смысле*, если аналогичные свойства выполняются только для математического ожидания и ковариационной функции случайного процесса [8], [9].

В практических задачах информация об исследуемом случайном процессе обычно представляет собой последовательность измерений (y_1, y_2, \dots, y_N) в некоторых точках (x_1, x_2, \dots, x_N) , а вероятностной моделью описания данных измерений является последовательность $(\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_N)$ случайных величин. Таким образом, считается, что измерения (y_1, y_2, \dots, y_N) являются реализациями данных случайных величин. При описании последовательностей $(\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_N)$ можно использовать цепи Маркова, различного рода авторегрессионные модели, стохастические разностные уравнения [10].

В силу сделанного выше предположения о коротком «промежутке зависимости» ограничимся в дальнейшем наиболее простой моделью такого типа, а именно, будем считать, что последовательность состоит из независимых случайных величин, т.е. принимаем предположение, что случайные величины ξ_i попарно независимы.

Рассматриваемая ниже модель последовательности независимых случайных величин ориентирована на использование:

- 1) при небольших по объему обучающих выборках (y_1, y_2, \dots, y_N) , которые не могут гарантировать получения оптимальных статистических выводов при использовании стандартных вероятностных методов;
- 2) когда вычислительные ресурсы не позволяют реализовать применение более трудоемких и сложных вероятностных моделей.

Известно, что даже при использовании модели последовательности независимых случайных величин в задаче обнаружения многократных изменений свойств (или *разладок*) случайного процесса возникают труднопреодолимые проблемы вычислительного характера при решении ее классическими методами [11].

Предположим, что последовательность измерений (y_1, y_2, \dots, y_N) в точках (x_1, x_2, \dots, x_N) можно описать с помощью последовательности одномерных независимых случайных величин $(\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_N)$. Будем вначале считать для простоты, что в этой последовательности можно выделить некоторое число n стационарных участков $[\chi_1, \chi_2 - 1], [\chi_2, \chi_3 - 1], \dots, [\chi_n, \chi_{n+1} - 1], \chi_1 = x_1, \chi_{n+1} - 1 = x_N$. Внутри каждого стационарного участка $[\chi_m, \chi_{m+1} - 1]$ случайные величины ξ_i и $\xi_j, x_i, x_j \in [\chi_m, \chi_{m+1} - 1]$, должны обладать свойством постоянства математических ожиданий и дисперсий, т.е. $E(\xi_i) = E(\xi_j), D(\xi_i) = D(\xi_j)$. Если понимается стационарность в узком смысле, то случайные величины ξ_i и ξ_j должны иметь один и тот же вероятностный закон распределения.

Рассмотрим оценивание точек нарушения стационарности $\chi_p, p = 2, 3, \dots, n$, по методу максимального правдоподобия. Будем считать, что на каждом стационарном участке $[\chi_m, \chi_{m+1} - 1]$ функцию $f_m(y)$ плотности распределения случайных величин можно задать параметрически с вектором параметров

a_m , т.е. $f_m(y) = f(y, a_m)$. В этом случае логарифм функции правдоподобия Фишера имеет вид:

$$\Phi(\bar{a}_1, \dots, \bar{a}_n, \chi_1, \dots, \chi_n) = \sum_{m=1}^n \sum_{i=\chi_m}^{\chi_{m+1}-1} \ln [f(y_i, \bar{a}_m)].$$

Таким образом, для оценивания точек χ_1, \dots, χ_n необходимо найти максимум логарифмической функции правдоподобия относительно аргументов $a_1, \dots, a_n, \chi_1, \dots, \chi_n$.

В более общем случае в последовательности одномерных независимых случайных величин на каждом из n участков может наблюдаться тренд математического ожидания, описываемый неслучайной функцией $g(x)$, при постоянной дисперсии, т.е. для ξ_i и ξ_j , таких, что $x_i, x_j \in [\chi_m, \chi_{m+1}-1]$ имеет место $E(\xi_i) = g_m(x_i)$, $D(\xi_i) = D(\xi_j)$. Тогда для оценки точек переключения $\chi_i, i=2, 3, \dots, n$, по методу максимального правдоподобия следует считать, что на каждом участке $[\chi_m, \chi_{m+1}-1]$ функция $f_m(y)$ плотности распределения случайной величины ξ_i имеет вид $f_m(y) = f(y, g_m(x_i), a_m)$. В частности, если априорно известно, что функции, описывающие тренд, принадлежат одному классу (например, классу линейных или квадратичных функций), то $f_m(y) = f(y, g(x_i, b_m), a_m)$, где b_m – вектор параметров, описывающих конкретную функцию из данного класса. В дальнейшем для удобства такой случайный процесс (или случайную последовательность) будем называть *кусочно-параметризованным* процессом (или соответственно последовательностью). Заметим, что при $g_m(x) = c_m = \text{const}$ данный случай сводится к предыдущему случаю стационарных в широком смысле участков. Таким образом, логарифм функции правдоподобия Фишера имеет вид:

$$\Phi(\bar{a}_1, \dots, \bar{a}_n, b_1, \dots, b_n, \chi_1, \dots, \chi_n) = \sum_{m=1}^n \sum_{i=\chi_m}^{\chi_{m+1}-1} \ln [f(y_i, g(x_i, b_m), \bar{a}_m)].$$

Следовательно, для оценивания точек χ_1, \dots, χ_n необходимо найти максимум логарифмической функции правдоподобия относительно большего, чем в предыдущем случае, числа аргументов, а именно, $a_1, \dots, a_n, b_1, \dots, b_n, \chi_1, \dots, \chi_n$.

Как правило, построить рекуррентный алгоритм максимизации функционала Φ не удастся, поэтому остается единственная возможность – про-

водить полный перебор всех возможных положений точек переключения χ_m . Подчеркнем, что эта задача для случая многократных разладок является недопустимо трудоемкой – требуется оценивать функцию правдоподобия Фишера порядка N^n раз. Эти выводы согласуются с результатами, полученными в [12], где показано, что применение методов максимального правдоподобия и байесовских методов позволяет построить эффективные решающие правила для оценки моментов разладки и классификации однородности, но приводят к алгоритмам чрезвычайно высокой сложности, которые трудно реализуемы на практике. Для решения этой проблемы в [13] приводится алгоритм иерархической классификации по статистическим оценкам межклассовых расстояний. В [14] предлагается непараметрический метод обнаружения многократных нарушений стационарности, основанный на идее многократного разрезания и проверке однородности отдельных частей общей выборки. Этот метод использует достаточно сложную двумерную статистику, что затрудняет его применение. В работах [15], [16] предложены алгоритмы апостериорного обнаружения многократных разладок случайной последовательности по изменению моментной функции первого порядка. В них используется одномерная статистика, имеющая смысл разности оцениваемых математических ожиданий случайного процесса на отрезках различной длины. По этой статистике оцениваются точки изменения свойств случайной последовательности.

Заметим, что указанные алгоритмы обнаружения многократных разладок случайных последовательностей во многих случаях могут не дать решения поставленных задач. При выборе статистически оптимальных алгоритмов возникают трудноразрешимые проблемы вычислительного характера, а при отказе от них приходится эвристическим образом искать сильные статистики, как правило, методом проб и ошибок.

Идея описываемого ниже метода состоит в предварительном обнаружении и локализации участков, содержащих «нестационарные» точки, т.е. точки, в которых происходит изменение статистических характеристик случайной последовательности. Кратко суть метода состоит в следующем. На

множестве независимых наблюдений вводится *дискриминантная функция*, позволяющая судить о стационарности случайной последовательности в произвольной точке x . По априорным сведениям о возможной длине и отличительных свойствах параметризованного участка делаются правдоподобные предположения о поведении этой функции и вводится понятие нестационарных точек. После этого определение таких участков сводится к задаче кластеризации нестационарных точек и определению точек разладки.

3. Дискриминантная функция для случая кусочно-параметризованной последовательности

Как отмечалось выше, распределение точек-замеров в описанных выше условиях лазерного сканирования характеризуется существенной неравномерностью (см. рис. 2). Это усложняет использование статистических методов оценивания параметров случайной последовательности. Вместе с тем в данном случае можно избежать указанной неравномерности, если воспользоваться равномерностью распределения точек по угловой мере. Для этого целесообразно перейти к полярной системе координат, связанной с точкой подвеса лазерного дальномера. На рис. 7 показано соотношение декартовой и более удобной полярной системы координат. При этом положительное направление отсчета полярного угла φ осуществляется, как обычно, *против* направления часовой стрелки.

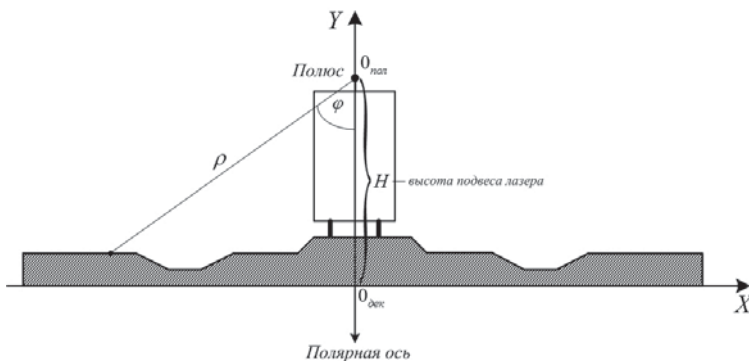


Рис. 7. Полярная система координат, связанная с лазерным дальномером

Из рис. 7 нетрудно видеть, что формулы, связывающие координаты некоторой точки (x, y) в декартовой и (ρ, φ) в полярной системах координат, имеют вид:

$$\begin{aligned}x &= \rho \sin \varphi, \\y &= H - \rho \cos \varphi,\end{aligned}$$

где H – высота подвеса лазера, т.е. расстояние между полюсом полярной и началом декартовой системы координат.

На рис. 8 видно, как кусочно-линейная функция, задающая некоторый идеальный профиль и представленная в декартовой системе координат (слева), выглядит в полярной системе (справа). На правом графике по горизонтальной оси откладываются значения полярного угла (в данном случае в направлении отрицательных углов), а по вертикальной – расстояние от точки до полюса. Следует обратить внимание на то, что в полярной системе все точки-замеры расположены регулярно по угловой координате с одним и тем же шагом. Далее будем предполагать, что все статистические данные представлены именно в полярной системе координат.

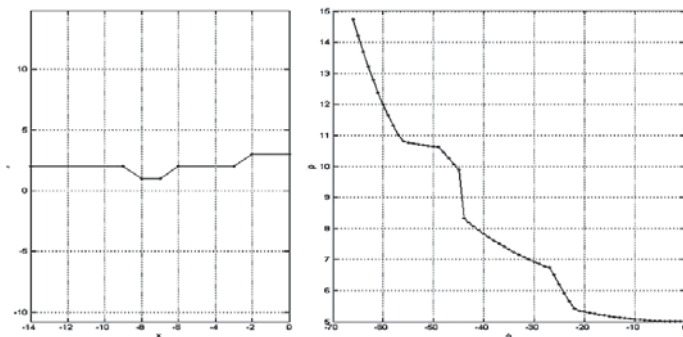


Рис. 8. Кусочно-линейная функция, описывающая «идеальный» профиль, в декартовой (слева) и полярной (справа) системах координат.

Поскольку в соответствии с существующими нормативами все регламентированные профили земляного полотна являются непрерывными кусочно-линейными функциями, то при переходе к полярной системе координат они будут представлять собой непрерывную кусочно-параметризованную

кривую, состоящую из кусков прямых линий, заданных в полярной системе: $\rho = r_m / \cos(\varphi - \psi_m)$, $m=1, 2, \dots, n$, где r_m – расстояние от прямой, описывающей m -й участок, до полюса, а ψ_m – угол, который образует нормаль к прямой с полярной осью. Поэтому реально наблюдаемый в результате замеров профиль будет представлять собой в полярной системе координат реализацию $(\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_N)$ кусочно-параметризованной последовательности случайных величин $(\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_N)$, которая на m -м участке описывается трендом вида $E(\eta_i) = r_m / \cos(\varphi_i - \psi_m)$. Построим дискриминантную функцию для анализа таких случайных последовательностей в полярной системе координат.

Основное требование, которое предъявляется к дискриминантной функции, состоит в том, что она должна принимать максимальные значения в областях изменения свойств последовательности независимых случайных величин η_i и минимальные – там, где эти свойства относительно неизменны или подчинены регулярной зависимости, т.е. внутри параметризованных участков. Для построения дискриминантной функции нам потребуется условие минимально возможной «длины» произвольного параметризованного участка. Будем предполагать, что количество точек замеров на каждом параметризованном участке не меньше некоторого значения $2s$, где s – натуральное число, т.е. для любого $i \in \{1, 2, \dots, n\}$ выполняется неравенство $|\{\varphi_i | \chi_i \leq \varphi_i < \chi_{i+1}\}| \geq 2s$. Это условие представляется менее жестким, чем априорно известное число стационарных участков, правдоподобные предположения о котором в реальных задачах сделать зачастую достаточно трудно.

Рассмотрим последовательность независимых случайных величин $(\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_N)$ с функциями плотности $f_i(\rho)$ и математическими ожиданиями, подчиняющимися закону $E(\eta_i) = g(\varphi_i, r_m, \psi_m) = r_m / \cos(\varphi_i - \psi_m)$ при $\chi_i \leq \varphi_i < \chi_{i+1}$ с неизвестными и подлежащими определению параметрами r_m и ψ_m . Пусть в точке φ_i происходит изменение статистических свойств этой последовательности, т.е.

$$f_i(\rho) = \begin{cases} f(\rho, g(\varphi, r_1, \psi_1), a_1), & i \leq t, \\ f(\rho, g(\varphi, r_2, \psi_2), a_2), & i > t. \end{cases}$$

Локализуем момент разладки по реализации случайной последовательности $(\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_N)$ с помощью дискриминантной функции, строящейся по логарифмической функции правдоподобия:

$$L(k) = \max_{r_1, \psi_1, a_1} \sum_{i=k-s+1}^k \ln f(\rho_i, g(\varphi_i, r_1, \psi_1), a_1) + \\ + \max_{r_2, \psi_2, a_2} \sum_{i=k+1}^{k+s} \ln f(\rho_i, g(\varphi_i, r_2, \psi_2), a_2) - \max_{r_3, \psi_3, a_3} \sum_{i=k-s+1}^{k+s} \ln f(\rho_i, g(\varphi_i, r_3, \psi_3), a_3).$$

Заметим, что данную дискриминантную функцию можно интерпретировать как логарифм отношения правдоподобия двух конкурирующих гипотез: H_1 – в точке φ_k произошла разладка случайного процесса (первое и второе слагаемые), против гипотезы H_2 – отрезок $[\varphi_{k-s+1}, \varphi_{k+s}]$ принадлежит кусочно-параметризованному участку (третье слагаемое). При этом параметры $r_1, \psi_1, a_1, r_2, \psi_2, a_2, r_3, \psi_3, a_3$ случайной последовательности на отрезках $[k-s+1, k], [k+1, k+s], [k-s+1, k+s]$ оцениваются по методу максимального правдоподобия. Можно предположить, что построенная таким образом дискриминантная функция будет обладать достаточно хорошими статистическими свойствами, например, можно ожидать, что момент разладки вероятнее всего произошел в тех точках случайной последовательности, в которых функция $L(k)$ принимает относительно большие значения и, наоборот, значения этой функции будут сравнительно невысоки внутри стационарных участков.

Для нормально распределенных случайных величин $\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_N$ дискриминантная функция принимает вид:

$$L(k) = \max_{r_1, \psi_1, \sigma_1} \sum_{i=k-s+1}^k \ln \left\{ \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_1} \exp \left[-\frac{1}{2\sigma_1^2} \left(\rho_i - \frac{r_1}{\cos(\varphi_i - \psi_1)} \right)^2 \right] \right\} + \\ + \max_{r_2, \psi_2, \sigma_2} \sum_{i=k+1}^{k+s} \ln \left\{ \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_2} \exp \left[-\frac{1}{2\sigma_2^2} \left(\rho_i - \frac{r_2}{\cos(\varphi_i - \psi_2)} \right)^2 \right] \right\} -$$

$$- \max_{r_3, \psi_3, \sigma_3} \sum_{i=k-s+1}^{k+s} \ln \left\{ \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_3} \exp \left[-\frac{1}{2\sigma_3^2} \left(\rho_i - \frac{r_3}{\cos(\varphi_i - \psi_3)} \right)^2 \right] \right\}.$$

Для окончательного установления вида дискриминантной функции необходимо, таким образом, решить три экстремальные задачи относительно неизвестных параметров, $r_j, \psi_j, \sigma_j, j=1, 2, 3$, соответственно. Рассмотрим решение первой из них. Приравнявая частные производные по переменным r_1, ψ_1, σ_1 к нулю, после эквивалентных преобразований получаем

$$\begin{cases} \sum_{i=k-s+1}^k \left(\rho_i - \frac{r_1}{\cos(\varphi_i - \psi_1)} \right) \frac{1}{\cos(\varphi_i - \psi_1)} = 0, \\ \sum_{i=k-s+1}^k \left(\rho_i - \frac{r_1}{\cos(\varphi_i - \psi_1)} \right) \frac{\sin(\varphi_i - \psi_1)}{\cos^2(\varphi_i - \psi_1)} = 0, \\ \sum_{i=k-s+1}^k \left(\rho_i - \frac{r_1}{\cos(\varphi_i - \psi_1)} \right)^2 = s\sigma_1^2, \end{cases}$$

откуда следуют выражения:

$$\begin{aligned} \sigma_1^2 &= \frac{1}{s} \sum_{i=k-s+1}^k \left(\rho_i - \frac{r_1}{\cos(\varphi_i - \psi_1)} \right)^2, \\ r_1 &= \sum_{i=k-s+1}^k \frac{\rho_i}{\cos(\varphi_i - \psi_1)} \Big/ \sum_{i=k-s+1}^k \frac{1}{\cos^2(\varphi_i - \psi_1)}, \\ \sum_{i=k-s+1}^k \sum_{j=k-s+1}^k \frac{\rho_i \sin(\varphi_i - \varphi_j)}{\cos^2(\varphi_i - \psi_1) \cos^3(\varphi_j - \psi_1)} &= 0. \end{aligned}$$

Из данных равенств находим $r_1^*, \psi_1^*, \sigma_1^*$. Заметим, что последнее уравнение можно решить относительно ψ_1 достаточно быстро, например, каким-либо итерационным методом⁵. При этом для применения итерационного метода необходимо указать начальное приближение искомого

⁵ Например, данное уравнение можно решить в MatLab с помощью процедуры `fzero`. Для значения $s = 10$ время отыскания корня ψ_1^* с точностью 10^{-4} в зависимости от начального приближения равно примерно 0,009 с.

корня. Можно показать, что на отрезке $[-\pi/2, \pi/2]$ хорошим начальным приближением будет

$$\psi_1^{(0)} = \arcsin \frac{\operatorname{sgn} b}{\sqrt{1+W^2}},$$

$$\text{где } W = \frac{\sum_{i=k-s+1}^k \rho_i \cos \varphi_i \left(s \rho_i \sin \varphi_i - \sum_{i=k-s+1}^k \rho_i \sin \varphi_i \right)}{\sum_{i=k-s+1}^k \rho_i \cos \varphi_i \left(s \rho_i \cos \varphi_i - \sum_{i=k-s+1}^k \rho_i \cos \varphi_i \right)},$$

$$b = \sum_{i=k-s+1}^k \rho_i (\sin \varphi_i - W \cos \varphi_i).$$

Аналогично находятся решения $r_2^*, \psi_2^*, \sigma_2^*, r_3^*, \psi_3^*, \sigma_3^*$ второй и третьей экстремальных задач:

$$\sigma_2^2 = \frac{1}{s} \sum_{i=k+1}^{k+s} \left(\rho_i - \frac{r_2}{\cos(\varphi_i - \psi_2)} \right)^2,$$

$$\sigma_3^2 = \frac{1}{2s} \sum_{i=k-s+1}^{k+s} \left(\rho_i - \frac{r_3}{\cos(\varphi_i - \psi_3)} \right)^2,$$

$$r_2 = \frac{\sum_{i=k+1}^{k+s} \frac{\rho_i}{\cos(\varphi_i - \psi_2)}}{\sum_{i=k+1}^{k+s} \frac{1}{\cos^2(\varphi_i - \psi_2)}},$$

$$r_3 = \frac{\sum_{i=k-s+1}^{k+s} \frac{\rho_i}{\cos(\varphi_i - \psi_3)}}{\sum_{i=k-s+1}^{k+s} \frac{1}{\cos^2(\varphi_i - \psi_3)}},$$

$$\sum_{i,j=k+1}^{k+s} \frac{\rho_i \sin(\varphi_i - \varphi_j)}{\cos^2(\varphi_i - \psi_2) \cos^3(\varphi_j - \psi_2)} = 0, \quad \sum_{i,j=k-s+1}^{k+s} \frac{\rho_i \sin(\varphi_i - \varphi_j)}{\cos^2(\varphi_i - \psi_3) \cos^3(\varphi_j - \psi_3)} = 0.$$

После подстановки найденных параметров в выражение для дискриминантной функции после несложных преобразований получаем окончательную формулу для вычисления $L(k)$:

$$L(k) = s \ln \frac{\sigma_3^2}{\sigma_1 \sigma_2}.$$

По определению и построению дискриминантной функции $L(k)$ можно ожидать, что вблизи точек переключения значения функции будут большими, чем внутри параметризованного участка. Выберем величину порога h так, чтобы можно было отслеживать поведение дискриминантной функции при изменении параметра k по истинности неравенства $L(k) \geq h$. При этом

должно наблюдаться скопление точек $NS = \{\varphi_k \mid L(k) \geq h\}$ вблизи точек φ_j , в которых происходит переход с одного параметризованного участка на другой, и, напротив, разреженность таких точек внутри параметризованного участка. Будем для простоты называть такие точки *нестационарными*. Поэтому возникает проблема кластеризации нестационарных точек на *нестационарные участки* $LN_j, j=1,2, \dots, n$, в которых по определению наблюдается лишь один переход с одного параметризованного участка на другой.

4. Определение параметризованных участков с помощью дискриминантной функции

Заметим, что нестационарные участки $LN_j, \varphi_j \in LN_j, j=1,2, \dots, n$, задают разбиение множества NS . Обозначим через θ отношение эквивалентности, связанное с этим разбиением.

Определим условие принадлежности двух произвольных точек $\varphi_{i_1}, \varphi_{i_2} \in NS, \varphi_{i_1} < \varphi_{i_2}$, одному нестационарному участку. Для этого рассмотрим функцию

$$E[\varphi_{i_1}, \varphi_{i_2}] = \frac{1}{i_2 - i_1 + 1} \sum_{j=i_1}^{i_2} L(j),$$

которая, очевидно, дает среднее значение функции L на отрезке $[\varphi_{i_1}, \varphi_{i_2}]$.

По определению внутри нестационарного участка наблюдается существование нестационарных точек, поэтому следует ожидать, что значение $E[\varphi_{i_1}, \varphi_{i_2}]$ при условии $(\varphi_{i_1}, \varphi_{i_2}) \in \theta$ будет больше выбранного порога h . В то же время, если точки φ_{i_1} и φ_{i_2} принадлежат различным нестационарным участкам, т.е. $(\varphi_{i_1}, \varphi_{i_2}) \notin \theta$, то отрезок $[i_1, i_2]$, вероятно, включает интервал, в точках которого значения функции L меньше h . Следуя этим рассуждениям, получаем следующее условие принадлежности произвольных $\varphi_{i_1}, \varphi_{i_2} \in NS$ одному нестационарному участку: $(\varphi_{i_1}, \varphi_{i_2}) \in \theta$, когда $E[\varphi_{i_1}, \varphi_{i_2}] \geq h$. Это условие, очевидно, определяет толерантное, но не транзитивное отношение $\tilde{\theta} \subseteq \theta$.

Введем дискретную функцию $\pi(\varphi_i)$, характеризующую плотность распределения нестационарных точек в окрестности точки φ_i , необходимую при описании нестационарных участков. Пусть $[\varphi_{i_1}, \varphi_{i_2}]$ – произвольный отрезок на $[\varphi_1, \varphi_N]$. Тогда

$$\pi(\varphi_i) = \max_{\substack{[\varphi_{i_1}, \varphi_{i_2}] \\ \varphi_i \in [\varphi_{i_1}, \varphi_{i_2}]}} E[\varphi_{i_1}, \varphi_{i_2}],$$

где максимум берется по всем отрезкам $[\varphi_{i_1}, \varphi_{i_2}]$, содержащим точку φ_i . В основе конструктивного метода определения нестационарных участков лежит следующая теорема, доказанная в [17].

Теорема. Пусть $\varphi_i, \varphi_m \in NS$, $\varphi_m > \varphi_i$. Тогда $(\varphi_i, \varphi_m) \in \theta$ в том и только том случае, если для любого $\varphi_k \in [\varphi_i, \varphi_m]$ имеет место неравенство $\pi(\varphi_k) \geq h$.

Покажем, как функцию $\pi(\varphi_j)$ можно использовать для определения нестационарных участков. Пусть нестационарные точки φ_i, φ_m принадлежат некоторому нестационарному участку LN_j , т.е. $(\varphi_i, \varphi_m) \in \theta$, тогда он включает отрезок $[\varphi_i, \varphi_m]$, т.е. $[\varphi_i, \varphi_m] \subseteq LN_j$. По теореме функция π не меньше пороговой величины h в каждой точке этого отрезка, т.е. для любого $\varphi_k \in [\varphi_i, \varphi_m]$ $\pi(\varphi_k) \geq h$. Поэтому будем считать, что точка $\varphi_k \in [\varphi_i, \varphi_N]$ принадлежит некоторому нестационарному участку тогда и только тогда, когда $\pi(\varphi_k) \geq h$; точки $\varphi_i, \varphi_m \in [\varphi_i, \varphi_N]$ при $\pi(\varphi_i) \geq h, \pi(\varphi_m) \geq h, \varphi_i < \varphi_m$, принадлежат одному нестационарному участку в том и только том случае, если для любого $\varphi_k \in [\varphi_i, \varphi_m]$ $\pi(\varphi_k) \geq h$. Это определение нестационарного участка удовлетворяет всем необходимым условиям. Легко проверяется, что каждая нестационарная точка принадлежит некоторому нестационарному участку, причем каждый такой участок имеет непустое пересечение с множеством нестационарных точек, т.е. для любого $j \in [2, n]$ $LN_j \cap NS \neq \emptyset$, и определенное таким образом множество $\{LN_j\}$ индуцирует отношение эквивалентности θ на множестве нестационарных точек NS .

5. Оценка моментов нарушения стационарности

Оценка положения точек переключения случайной последовательности с одного параметризованного участка на другой существенно упрощается, так как эти моменты локализованы внутри нестационарных участков, и можно перейти к однопараметрическим задачам определения точек переключения внутри сегментов, каждый из которых включает лишь один нестационарный участок. При этом могут оказаться полезными предварительные оценки положения точек переключе-

чения, учитывающие поведение дискриминантной функции L . В частности, для точки переключения $\hat{\varphi}_k$ можно использовать первоначальное приближение вида

$$\hat{\varphi}_k = \frac{\sum_{\varphi_i \in LN_k} \varphi_i L(i)}{\sum_{\varphi_i \in LN_k} L(i)}.$$

В качестве $\hat{\varphi}_k$ в последней формуле берется ближайшее целое значение.

Данный метод обнаружения точек изменения свойств случайных величин был апробирован на данных моделирования зашумленного профиля полотна. При этом оказалось, что последняя оценка дает достаточно точное приближение, и не возникает необходимости ее улучшения каким-либо другим способом. Данный подход может быть реализован и на других вероятностных моделях, описывающих случайные последовательности.

6. Пример численного моделирования

Рассмотрим в заключение численный пример обнаружения непараметрических участков в статистической последовательности.

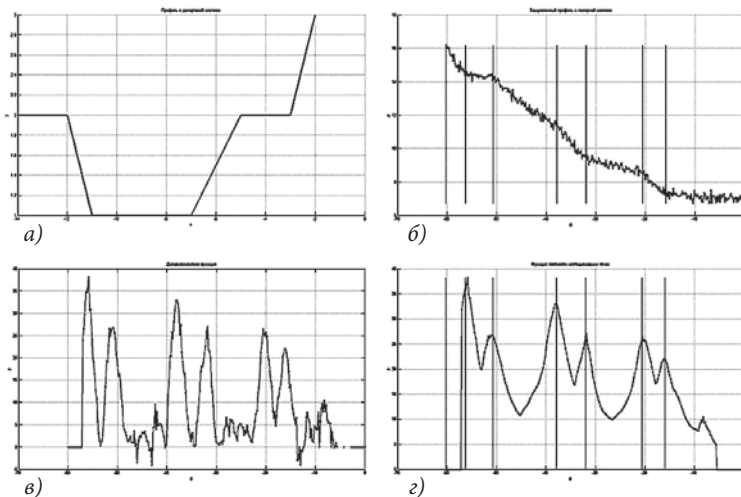


Рис. 9. Результаты моделирования: а) исходный идеальный профиль в декартовой системе; б) зашумленный профиль в полярной системе координат; в) дискриминантная функция; г) функция плотности нестационарных точек

На рис. 9, а показана форма идеального профиля, на рис. 9, б – результаты численного моделирования случайного последовательности в полярной системе координат, на каждом параметризованном участке которой случайная последовательность описывается нормальным вероятностным распределением с параметрами. По результатам численного моделирования была построена дискриминантная функция и функция плотности нестационарных точек (рис. 9, в и г). Обратим внимание на то, что локальный метод обнаружения непараметрических участков в данном случае позволил осуществить правильную локализацию точек переключения случайного последовательности, если использовать порог $h=22$.

Заключение

В работе показано, что автоматизация процедуры мониторинга поперечного профиля земляного полотна может быть сведена к задачам анализа случайной последовательности в различных постановках. Полезные результаты при этом открываются при использовании подходов, основанных на применении функций правдоподобия. В частности, на этом пути оказывается возможным решение задачи восстановления структурных линий, о чем упоминалось в начале статьи.

Между тем, использование статистических методов накладывает и ряд ограничений, за рамками которых трудно рассчитывать на приемлемое по качеству решение подобных задач. К числу таких ограничений следует отнести прежде всего требование достаточно представительной статистической выборки точек-замеров. Кроме того, метод вряд ли будет хорошо работать в условиях разрушений или сильных деформаций земляного полотна, когда не представляется возможным сделать правдоподобные предположения о форме профиля. Остается открытым вопрос об эффекте лазерных «теней», когда на профиле имеются места с крутизной, не позволяющей осуществить лазерное сканирование в принципе. Но это проблема, относящаяся к самой технологии съема ин-

формации. По-видимому, в этом случае для восстановления профиля в «затененных» местах следует разрабатывать методы, основанные не только на чисто математических подходах, что могло бы стать темой отдельного исследования.

Литература

1. Сазонов В., Кармалин Б., Лебедев А. и др. Современные направления диагностики и мониторинга земляного полотна. Путь и путевое хозяйство. 2009, 6, с. 34–37.
2. Ашпиз Е.С. Мониторинг эксплуатируемого земляного полотна: Теоретические основы и практические решения. Диссертация ... доктора технических наук. Москва, 2002.
3. Дулина Н.Г., Уманский В.И. Структуризация проблемы улучшения пространственной согласованности баз геоданных. Сообщения по прикладной математике ВЦ РАН. –М., 2009, С. 3–22.
4. Дулин С.К., Розенберг И.Н., Уманский В.И. Методы кластеризации в исследовании массивов геоданных. «Системы и средства информатики». Дополнительный выпуск. –М.: ИПИ РАН, 2009. С. 86–114.
5. Уманский В.И. Технология построения трехмерных моделей железнодорожного полотна в высокоточном координатном пространстве. Сборник докладов 6-й Международной научно-практической конференции «Геопространственные технологии и сферы их применения». Москва, 2010.
6. Комплекс скоростного контроля габаритов приближения строений. http://www.tvema.ru/ru/productList_2195.html.
7. Бриллинджер Д. Временные ряды. Обработка данных и теория. –М. Мир, 1980.
8. Гихман И.И., Скороход А.В. Введение в теорию случайных процессов. –М.: Наука, 1965.
9. Королюк В.С., Портенко Н.И., Скороход А.В., Турбин А.Ф. Справочник по теории вероятностей и математической статистике. –М.: Наука, 1985.

10. *Клигене Н., Телькснис Л.* Методы обнаружения моментов изменения свойств случайных процессов (обзор)// Автоматика и телемеханика. 1983, № 10.
11. *Торговицкий И.Ш.* Методы определения момента изменения вероятностных характеристик случайных величин. Зарубежная радиоэлектроника. 1976. №1. С. 3–52.
12. *Харин Ю.С.* Классификация случайных серий неизвестной длины. Проблемы передачи информации. 1985, Т. XXI. Вып. 4, С. 64–65.
13. *Мельникова Е.Н., Харин Ю.С.* Обнаружение многократных разладок и классификация временных рядов с помощью статистических оценок межклассовых расстояний. Автоматика и телемеханика. 1991. №12. С. 76–84.
14. *Дарховский Б.С.* Непараметрический метод оценивания интервалов однородности случайной последовательности. Теория вероятностей и ее применение. 1985. Т. 30. №4. С. 795–799.
15. *Бродский Б.Е., Дарховский Б.С.* Непараметрический метод обнаружения моментов переключения двух случайных последовательностей. Автоматика и телемеханика. 1989. №1. С. 66–75.
16. *Бродский Б.Е., Дарховский Б.С.* Алгоритм апостериорного обнаружения разладок случайной последовательности. Автоматика и телемеханика. 1993. №1. С. 62–67.
17. *Броневиц А.Г., Каркищенко А.Н.* Вероятностные и возможностные методы классификации случайных последовательностей. – Таганрог: ТРТУ, 1996.

*Комплексные системы
управления и обеспечения
безопасности
движения поездов*

УДК 656.2.08

Гапанович В.А., Розенберг Е.Н.

Современные средства обеспечения комплексной безопасности движения поездов с применением спутниковых технологий

Ключевые слова:*безопасность, прорывные технологии, спутниковые технологии, интеллектуальные системы управления.*

Российские железные дороги сегодня находятся на новой стадии технико-экономического развития и в своей деятельности используют результаты научного прогресса в экономике, технике и технологиях.

В последние годы подавляющая часть прироста объемов перевозок на железнодорожном транспорте получена за счет применения современных и перспективных научных разработок, воплощенных в оборудовании, автоматизированных системах управления и усовершенствованной технологической организации перевозочного процесса.

Сегодня для обеспечения устойчивой работы отрасли в условиях конкурентного рынка требуются прорывные технологии, создание которых без участия ученых практически невозможно. Эволюционный путь развития уже исчерпал себя, требуется перейти к техническим средствам и системам нового поколения, поэтому идет поиск конкретных перспективных решений.

Основные направления развития железнодорожного транспорта на современном этапе научно-технического прогресса ориентированы на повышение безопасности движения поездов, повышение объемов перевозок, особенно доли транзитных перевозок, повышение средней маршрутной скорости, увеличение провозной способности железнодорожных линий.

В целом такое направление развития требует перехода к интеллектуальному железнодорожному транспорту (ИЖТ), что согласуется с про-

граммой Международного союза железных дорог (МСЖД), предусматривающей комплекс мер по развитию интеллектуального железнодорожного транспорта. В программу входит разработка и поставка на производство интеллектуальных систем управления объектами инфраструктуры и интеллектуального поезда, не только пассажирского, но и грузового в том числе, и переход на координатные методы позиционирования подвижного состава при управлении движением поездов.

Интеллектуальные системы управления объектами инфраструктуры, в первую очередь, ориентированы на получение независимой от персонала объективной исходной информации. Обработка этой информации осуществляется с помощью автоматизированных систем, имеющих в своем составе аналитические и экспертные модели, которые не только облегчают работу персонала, отвечающего за безопасность движения, но и позволяют решать задачи моделирования и оптимизации эксплуатационной работы, энергосбережения и решения конфликтных ситуаций с учетом допустимых рисков.

Интеллектуальный поезд включает в себя интеллектуальный локомотив и интеллектуальные вагоны. Локальная вычислительная сеть интеллектуального поезда объединяет все устройства и системы на поезде с помощью общей информационной шины и обеспечивает управление локомотивным и вагонным оборудованием.

В состав локомотивного оборудования входят системы управления тяговым приводом и вспомогательными электрическими цепями; системы обеспечения безопасности движения и автоматического управления выполнением графика («Автомашинист») с выполнением функций оптимального расхода электроэнергии; системы диагностики и регистрации данных, системы цифровой радиосвязи; системы определения продольных динамических усилий; системы распределенного управления тормозным оборудованием; устройства определения полносоставности поезда и др. В перспективе интеллектуальные локомотивы будут объединены с интеллектуальными вагонами, которые должны иметь в своем составе локальные

средства управления всеми узлами вагона: тормозным оборудованием, электрооборудованием, сервисным оборудованием и т.д.

Утвержденная ОАО «РЖД» функциональная стратегия обеспечения гарантированной безопасности и надежности перевозочного процесса определила задачи перехода к новой системе обеспечения безопасности движения, основанной на анализе показателей рисков, формируемых по оперативным данным о состоянии технических средств и технологической дисциплины персонала. Основным органом управления в новой системе обеспечения безопасности, в котором сконцентрировано решение задач по получению, последующей обработке данных мониторинга объектов железнодорожного транспорта и выработке управленческих решений, должен являться ситуационный центр ЦРБ ОАО «РЖД» как неотъемлемая часть ИЖТ.

Основными потоками информации для ситуационного центра являются:

- данные АСУ хозяйств, являющиеся первичными для проведения ситуационного анализа и формирования управленческих решений;
- данные от центров управления перевозками о текущем поездном положении и работе технических средств;
- результаты дистанционной диагностики и видеонаблюдений, отображающих текущие ситуации (в том числе на местах производства восстановительных работ).

Анализ действующих автоматизированных систем управления показал, что заложенные в них возможности не позволяют в полной мере решать задачи обеспечения гарантированной безопасности движения поездов. Основными недостатками этих систем являются недостаточный уровень контроля качества технологических процессов, низкая степень достоверности информации, обусловленная особенностями ручного способа ее формирования и ввода. Одним из наиболее перспективных направлений автоматизации сбора информации является применение спутниковых технологий.

Созданный учеными ОАО «НИИАС» научно-технический задел позволяет приступить к реализации нового этапа инновационного развития. Его суть заключается в переходе от применения спутниковых нави-

гационных систем, задействованных в интересах конкретных хозяйств и служб ОАО «РЖД», к комплексной навигационной системе, обеспечивающей навигационной информацией одновременно всех пользователей ОАО «РЖД».

Выполнение современных требований по обеспечению безопасности движения поездов возможно лишь при интеграции систем связи и глобальных навигационных спутниковых систем и дает возможность решить ряд принципиально новых задач. В частности, вести мониторинг инфраструктуры, технических и автотранспортных средств, тягового и самоходного подвижного состава, контролировать местоположения и состояния пассажирских поездов на любом маршруте. Такие интегрированные информационные системы могут передавать необходимые данные для работы систем оповещения и предупреждения работников железнодорожного транспорта и пассажиров.

Решение задач комплексной безопасности требует единого подхода к математическому описанию объектов железнодорожной инфраструктуры. Этот подход реализован в цифровой координатной модели (ЦКМО), обеспечивающей описание местоположения и конфигурации объекта в заданной координатной системе. ЦКМО представляет собой сочетание текущей цифровой координатной модели, полученной тем или иным способом измерения на данный момент времени, и эталонной проектной координатной модели, представляющей, как правило, совокупность проектных параметров объекта и ряда предыдущих результатов измерений объекта.

Для решения задач оперативного мониторинга объектов инфраструктуры разработаны мобильные измерительные комплексы на базе служебных вагонов и поездов. При этом за счет интеллектуальной обработки среднеквадратическая погрешность определения с помощью измерительного комплекса текущей дискретной координаты для объектов верхнего строения пути не превышает 1 см, для земляного полотна – 3 см. Эти технологии обеспечивают минимальное влияние ошибок операторов на безопасность движения поездов.

Важным этапом обеспечения гарантированной безопасности движения является создание технических средств, обеспечивающих контроль работы наиболее ответственных узлов подвижного состава. Устройства, установленные на подвижном составе, были предназначены прежде всего для выдачи информации об отклонениях и сигналов тревоги, их срабатывание происходило только после выхода параметров за критические пороги. Такие устройства не являются оптимальными для долговременного наблюдения, вследствие чего они не подходят для применения на современном подвижном составе и контроля рисков и не могут использоваться в структуре интеллектуального транспорта.

В настоящее время ведется создание комплексной автоматизированной системы диагностики на железнодорожном транспорте, которая объединяет комплексы технических средств выявления и прогнозирования неисправностей в единую автоматизированную систему. На железных дорогах эксплуатируются системы диагностики подвижного состава типа КТСМ, КОМПЛЕКС, АСК ПВ и др. Они позволяют совместно с вновь разработанными напольными устройствами контроля вертикальных динамических нагрузок и акустической системой обнаружения дефектов подшипников ПАК выявлять тенденции изменения параметров подвижного состава на ранней стадии зарождения дефекта, а также выдавать информацию о причинах, а не о следствиях или признаках дефектов. Например, использование системы акустического контроля ПАК позволяет выявлять на 100% дефекты буксовых узлов на ранней стадии их развития путем измерения и анализа акустических шумов, излучаемых подшипниками буксовых узлов поездов. Это позволяет обнаруживать дефекты задолго до возникновения риска отказа и начала перегрева подшипника.

Важное место в работе ИЖТ приобретает системный анализ. Для сбора информации об отказах технических средств на основе данных графиков исполненного движения, используемых в перевозочном процессе, разработана автоматизированная система КАСАНТ, которая является информационной подсистемой ситуационного центра. В рамках системы КАСАНТ реализована вся технологическая цепочка, начиная от фиксации факта от-

каза до устранения, установления причины, отнесения ответственности и формирования материалов расследования отказа.

Сочетание различных способов контроля и идентификации позволяет обеспечить необходимую достоверность и полноту исходной информации о подвижном составе, что качественно повышает эффективность информационно-управляющих систем за счет уменьшения негативного влияния «человеческого фактора» и позволяет перейти к «прогнозным» методам управления в структуре ИЖТ.

Увеличение интенсивности движения поездов, особенно электропоездов в пригородной зоне крупных городов, вызывает необходимость сокращения межпоездных интервалов при сохранении требований по безопасности, что возможно реализовать только за счет координатного регулирования движения поездов, в том числе, с использованием радиоканала. Российские железные дороги имеют ряд технических средств, которые уже сегодня позволяют начать работы по применению систем координатного регулирования движения поездов. Из разработанных в настоящее время технических средств наиболее полно современным требованиям отвечает новая микропроцессорная автоблокировка типа АБТЦ-М и ее модификации, использующие цифровой радиоканал.

Объединенная локомотивная система безопасности БЛОК с расширенными функциями разработана ОАО «НИИАС», НПО «САУТ» и ОАО «Нейроком». Внедрение системы БЛОК позволяет повысить надежность локомотивной сигнализации и безопасность движения поездов; исключить несанкционированное движение локомотивов; обеспечить электронную регистрацию информации о параметрах движения поезда и исправности технических средств и производить ее последующую автоматическую дешифрацию. В состав комплексной системы входит интеллектуальный дисплей, с помощью которого машинист получает большой объем оперативной информации.

Статистика аварийных ситуаций показывает, что в последнее время они происходят, в основном, на станциях. Это говорит о том, что уровень

безопасности движения поездов на станциях, обеспечиваемый типовыми техническими средствами, пока явно недостаточен, особенно в маневровой работе.

Для повышения уровня безопасности на станциях внедряются спутниковые средства навигации GPS/ГЛОНАСС, предназначенные для обеспечения координатно-временной информацией маневровой автоматической локомотивной сигнализации МАЛС и автоматического контроля местоположения маневрового локомотива. Эти технологии основаны на использовании реальных моделей путевого развития, что необходимо для эффективного управления процессами в автоматическом режиме. Применение спутниковых технологий позволяет формировать повагонную динамическую модель размещения вагонов на путях станции, перейти в системах планирования и управления от упрощенных к реальным моделям работы станции, а в перспективе – к автоматизированному планированию работы станции.

Устройства спутниковой навигации в составе постовых и бортовых устройств маневровой АЛС (МАЛС) обеспечивают автоматическое позиционирование каждого маневрового локомотива не только на границе станции и маршруте, но и в районах, не оборудованных системами централизованного управления стрелками и сигналами. Они обеспечивают также мониторинг перестановок вагонов и заполнения путей в парках приема и отправления; обеспечивают автоматическое определение в режиме реального времени скорости и местоположения на путевом развитии (номер пути, пикет) технологических объектов вне зависимости от времени суток и погодных явлений.

В ИЖТ предусматривается контроль состояния объектов и управление ими при ремонтных и восстановительных операциях. Сегодня серийно выпускаемые устройства спутниковой навигации обеспечивают эффективное управление восстановительными и ремонтными поездами при проведении ремонтных работ в «окнах» и при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций.

Комплексный подход к использованию спутниковых технологий позволяет сформировать единую централизованную геоинформационную систему (ГИС) РЖД. Для ГИС РЖД используются не только данные, полученные на дорожном уровне, но данные спутникового позиционирования, аэрокосмического, бортового и наземного зондирования с применением съемочных систем, регистрирующих сигналы в разных спектрах электромагнитного излучения, включая лазерное и радиолокационное сканирование. Комплексное использование результатов дистанционного зондирования позволяет получать снимки высокого пространственного и спектрального разрешения и на этой базе оценивать состояние и прогнозировать динамику развития обнаруженных дефектов пути, оползневых, карстовых и других процессов и, в целом, на новом качественном уровне производить работы по текущему содержанию пути.

Использование цифровой трехмерной модели пути принципиально меняет технологию проектирования железных дорог и согласно отечественным и зарубежным источникам почти на 30% сокращает затраты на проектирование. Лазерное сканирование как элемент комплексной системы мониторинга резко повышает точность создаваемой цифровой модели рельефа местности и уже сейчас применяется для разработки проектов строительства новых путей, и, в частности, железнодорожной линии в районе Сочи.

На всех станциях участков этой линии установлена микропроцессорная электрическая централизация и интегрированная с ней автоблокировка с тональными рельсовыми цепями и централизованным размещением аппаратуры. Управление движением поездов будет осуществляться с помощью системы диспетчерской централизации, интегрированной с системами «Автодиспетчер» и «Автомашинист».

В настоящее время ОАО «НИИАС» совместно с итальянской фирмой ANSALDO разрабатывают систему управления движением поездов ITARUS – ATC, функционально идентичную европейской системе ERTMS второго уровня. В новой системе для определения местоположения поезда применяются спутниковые навигационные системы ГЛОНАСС/GPS вме-

сто используемых в ERTMS точечных путевых приемопередатчиков типа Eurobalise. Системой ITARUS – АТС будет оборудован верхний уровень транспортной сети Олимпиады-2014. Такое построение системы управления движением и обеспечения безопасности позволяет организовать скоростное движение поездов, оптимально решать задачи диагностики подвижного состава, мониторинга состояния инфраструктуры, маневровых локомотивов, планирования движения поездов и «окон», а также восстановления графика при больших сбоях.

Обеспечение безопасности движения, особенно при скоростном и интенсивном движении поездов, требует использования резервных альтернативных каналов поездной радиосвязи. Применение канала спутниковой связи с подвижными единицами (локомотивами) и работниками железнодорожного транспорта предоставляет широкие возможности для создания надежных ИЖТ. Средства подвижной спутниковой связи обеспечивают: голосовую связь, передачу текстовых сообщений и аудио/видеоинформации, определение местоположения движущихся объектов. Организация поездной радиосвязи с использованием системы подвижной спутниковой связи Inmarsat и оперативно-технологической связи с использованием средств фиксированной спутниковой связи для технологических задач ОАО «РЖД» проверялась на участке Верхне-Кандинская – Агириш Свердловской железной дороги.

Для функционирования ИЖТ требуется развивать и использовать в технологиях железнодорожного транспорта специализированные радиосети цифровой радиосвязи стандартов GSM-R и TETRA, системы широкополосного радиодоступа, цифровые и аналоговые системы связи и радиосвязи, а также специализированные радиоканалы передачи данных для управления тяжеловесными поездами.

В последние годы как в российских, так и зарубежных системах обеспечения безопасности и регулирования движения поездов стали применяться системы с широкозонными дифференциальными дополнениями: ГНСС ГЛОНАСС, GPS и GALILEO. Концепция построения таких систем разрабо-

тана ОАО «НИИАС» совместно с итальянской фирмой «Финмекканика» и утверждена президентами ОАО «РЖД» и фирмы «Финмекканика». Как в отечественной системе, так и в ERTMS – Европейской системе управления железнодорожным движением, предусматривается использование цифровой связи стандарта GSM-R как базовой системы передачи данных.

Концептуально институтом ОАО «НИИАС» совместно с ЦСС ОАО «РЖД» предложено использовать систему GSM-R преимущественно на участках скоростного и высокоскоростного движения поездов, а систему TETRA – преимущественно на крупных станциях сети дорог. Эти системы традиционно используются для организации радиотелефонной связи диспетчерского аппарата (ДНЦ, ДСП), но в современных условиях делается акцент на их использовании вместе с системами ГЛОНАСС/GPS для автоматического управления движением поездов, контроля местоположения подвижных объектов железнодорожного транспорта и решения задач оптимизации управления работой станций.

Значительный опыт в решении задач прикладного использования цифровых систем радиосвязи накоплен при эксплуатации электропоездов «Сапсан» на направлении Санкт-Петербург – Москва, где на основе радиоканала системы TETRA и средств спутниковой радионавигации ГЛОНАСС/GPS реализована подсистема контроля местоположения и скорости движения поездов, формирующая информацию для системы «Автодиспетчер».

К числу важнейших отраслевых задач, требующих оперативного решения с участием специалистов, следует отнести также задачи поэтапного перевода поездной радиосвязи из диапазона 2МГц в диапазоны 160 и 900МГц (GSM-R), что необходимо для обеспечения высокого качества связи при намечившемся широком внедрении локомотивов и электропоездов с асинхронными тяговыми двигателями.

На ряде станций проверяются технические решения по применению имеющихся каналов связи, в том числе модернизированных аналоговых сетей связи 160 МГц, в которых используются радиомодемы для передачи команд экстренной остановки поезда, разрешения движения поезда на запре-

щающий сигнал и др., что позволит резко сократить количество аварийных ситуаций. Одновременно с этим процессом идет разработка нормативной базы и ее гармонизация с европейскими стандартами.

Совершенно ясно, что невозможно в короткие сроки оборудовать весь подвижной состав и всю инфраструктуру современными цифровыми средствами радиосвязи. Поэтому в ходе продолжающегося реформирования железнодорожного транспорта необходимо четко определить сроки решения всех задач и проблем, их инвестирования и получения необходимой отдачи в достаточно короткой перспективе, в чем заинтересовано ОАО «РЖД».

В разработанной ОАО «РЖД» Стратегии развития железнодорожного транспорта определены задачи научного комплекса в создании и применении инновационных технологий, автоматизированных систем управления, информационных систем и информационных продуктов, позволяющих получить наибольший совокупный положительный эффект от их внедрения и использования как в сфере железнодорожного транспорта, так и в смежных областях. Это в полной степени соответствует и задачам, которые стоят и перед ОАО «РЖД» по дальнейшему развитию перевозок и их интероперабельности.

Только применение инновационных технологий, новых методов управления движением поездов и переход к ИЖТ может обеспечить высокую безопасность движения поездов, сделать железнодорожный транспорт привлекательным для пользователей, повысить эффективность грузовых и пассажирских перевозок без вложения больших средств на модернизацию инфраструктуры.

Розенберг И.Н., Замышляев А.М.

***Ситуационный центр ОАО «РЖД» –
основной инструмент реализации функциональной
стратегии обеспечения гарантированной
безопасности и надежности перевозочного процесса***

Ключевые слова:

ситуационное управление, перевозочный процесс, чрезвычайная ситуация, нормативно-техническая база.

Введение

Актуальность создания ситуационного центра ОАО «РЖД» назревала довольно давно. Ключевые задачи по совершенствованию существующей системы управления безопасностью движения и формированию системы, направленной на раннее предупреждение возникновения транспортных происшествий и событий, были определены в рамках Функциональной стратегии обеспечения гарантированной безопасности и надежности перевозочного процесса, утвержденной в 2007 г. распоряжением Президента ОАО «РЖД». Данная стратегия является одним из генеральных направлений деятельности компании, которые определены Стратегической программой развития ОАО «РЖД». Сегодня развитие бизнеса ОАО «РЖД» и рост объема грузоперевозок требуют повышения скоростей движения. При сохранении существующей системы управления безопасностью это, в совокупности с ростом износа материальной базы, может привести к снижению достигнутого уровня безопасности. Как было отмечено в Функциональной стратегии, осуществляемая в ОАО «РЖД» работа по выявлению и предупреждению нарушений безопасности движения характеризуется недостаточной скоординированностью, а также обособленностью управления в различных структурных подразделениях.

Вместе с тем в связи с реформированием компании, выделением дочерних зависимых обществ и других структурных преобразований ОАО «РЖД» для повышения уровня безопасности движения необходимо сохранить целостность системы управления безопасностью.

Основным инструментом реализации поставленных в Функциональной стратегии задач должен являться Ситуационный центр ОАО «РЖД».

Ситуационное управление основано на выявлении ситуаций, их классификации и выполнении различных преобразований, приводящих к их разрешению.

Ситуации могут иметь как внешний, так и внутренний источник, т. е. являться результатом нарушения взаимодействия подсистем организации между собой и с внешней средой [1]. Управленческая ситуация – это характеристика сложившегося состояния производственной организации, которое, с точки зрения субъекта управления, может быть удовлетворительным или неудовлетворительным. В последнем случае ситуация становится проблемной, она характеризует реальные несовпадения желаемого и действительного уровней удовлетворения потребностей субъекта [2].

Алгоритм ситуационного управления включает в себя следующие процедуры [3]:

- выявление проблемы;
- сбор информации о ситуации;
- анализ информации о ситуации;
- диагностика проблемы и ситуации;
- определение целей управления ситуацией при решении проблемы;
- разработка критериев оценки решения;
- перечень возможных действий по разрешению ситуации, прогнозов их последствий;
- верификация, оценка вариантов решений;
- принятие, оформление, доведение до исполнителей, исполнение, контроль выполнения решений.

Функциональная структура ситуационного центра должна базироваться на реализации указанных процедур [4].

1. Функциональная структура ситуационного центра ОАО «РЖД»

Организация перевозочного процесса требует от всех участвующих хозяйств обеспечить перевозку грузов и пассажиров на заданном маршруте в заданное время, обеспечив их безопасность. При этом необходимо обеспечить одновременно и другие виды безопасности: экологическую, пожарную, информационную, радиационную и т.д., а также не превысить запланированные нормы затрат ресурсов на выполнение этих операций. Поэтому ситуационный центр компании [5] объединяет в себе несколько функциональных направлений (сегментов):

- безопасность движения;
- транспортную безопасность;
- пожарную безопасность;
- прогнозирование и контроль метеорологических условий.

Выделение отдельных функциональных направлений в составе ситуационного центра обуславливается спецификой решаемых задач. В рамках трех из перечисленных направлений – безопасность движения, транспортная и пожарная безопасность – с привлечением специалистов ситуационного центра формируются управляющие воздействия непосредственно по отношению к субъектам ОАО «РЖД» (структурным подразделениям, службам или дирекциям). Результатом деятельности по перечисленным функциональным направлениям является изменение характеристик подконтрольных процессов и состояния объектов управления.

Сегмент ситуационного центра «Прогнозирование и контроль метеорологических условий» обеспечивает выполнение определенных сервисных функций в виде сбора, обработки и передачи специалистам других функциональных направлений информации о состоянии погодных условий, которая необходима для решения задач в области обеспечения безопасности движения, транспортной и пожарной безопасности. Результат деятельности по данному функциональному направлению достигается только через деятельность взаимосвязанных с ним структур компании, обеспечивающих реализацию функциональных направлений, которые, обладая предоставляемой информацией

о состоянии погодных условий, формируют соответствующие управляющие воздействия на подконтрольные процессы.

В работе ситуационного центра выделяют два основных режима осуществления деятельности:

- штатный режим;
- режим ликвидации последствий чрезвычайной ситуации.

В штатном режиме работы деятельность по основным функциональным направлениям ситуационного центра – безопасность движения, транспортная и пожарная безопасность – направлена на предупреждение возникновения чрезвычайных ситуаций, а также на контроль готовности восстановительных сил и средств.

Сегмент ситуационного центра «Прогнозирование и контроль метеорологических условий» в штатном режиме функционирования обеспечивает передачу специалистам трех основных направлений ситуационного центра информацию для оценки текущего уровня безопасности движения, транспортной и пожарной безопасности и, при необходимости, проведения корректирующих мероприятий по предупреждению возникновения чрезвычайных ситуаций. В штатном режиме функционирования деятельность сегментов ситуационного центра в большей степени обособлена друг от друга, ввиду отсутствия субъекта управления, обеспечивающего координацию деятельности всех функциональных направлений.

Деятельность ситуационного центра в режиме ликвидации последствий чрезвычайной ситуации направлена на минимизацию ее последствий, что достигается только за счет четкой и слаженной работы нескольких направлений ситуационного центра. Основную роль при взаимодействии направлений ситуационного центра в условиях возникновения и ликвидации последствий чрезвычайной ситуации играет оперативный штаб.

Оперативный штаб в рамках ситуационного центра образуется на основании распоряжения президента компании под его личным руководством или под руководством первого вице-президента ОАО «РЖД». Оперативный штаб представляет собой временный субъект управления, создаваемый на период ликвидации последствий чрезвычайной ситуации. В состав оперативного штаба включаются руководители и специалисты хозяйств и функциональных филиалов компании, персонал

которых принимает участие в ликвидации последствий чрезвычайной ситуации. Состав руководителей и специалистов, включаемых в оперативный штаб, варьируется в зависимости от характера и последствий чрезвычайной ситуации.

В штатном режиме оперативная смена ситуационного центра обеспечивает круглосуточный контроль ситуации и сбор первичной информации по объектам мониторинга. Аналитическая группа на основании представленных материалов от оперативной смены проводит анализ имеющихся данных, осуществляет разработку сценариев возможного развития ситуации, ее оценку и подготовку материалов по результатам ситуационного анализа. Начальник ситуационного центра осуществляет принятие решений о реализации корректирующих мероприятий.

Сегменты «Транспортная безопасность», «Пожарная безопасность», «Прогнозирование и контроль метеорологических условий» в штатном режиме взаимодействуют и подчиняются соответствующим департаментам и решают вопросы по кругу своего ведения.

В режиме ликвидации чрезвычайных ситуаций ситуационный центр предназначен для координации действий дежурно-диспетчерских служб, сил и средств ликвидации чрезвычайной ситуации филиалов и дочерних зависимых обществ ОАО «РЖД» и организации взаимодействия с представителями федеральных органов исполнительной власти, органами исполнительной власти субъектов РФ, органами местного самоуправления и силовых структур (МВД, МЧС, ФСБ и другими), привлекаемых для организации и проведения аварийно-спасательных и других неотложных работ.

В режиме ликвидации чрезвычайной ситуации ситуационный центр ОАО «РЖД» является вышестоящим органом для всех дежурно-диспетчерских служб на железнодорожном транспорте по вопросам сбора, обработки и обмена информацией филиалов и дочерних зависимых обществ ОАО «РЖД» по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций и их совместных действий.

Сегменты «Транспортная безопасность», «Пожарная безопасность», «Прогнозирование и контроль метеорологических условий» в режиме ликвидации чрезвычайных ситуаций оперативно взаимодействуют и подчиняются руководителю ситуационного центра.

2. Организационно-штатная структура ситуационного центра

В соответствии с приведенной функциональной структурой для обеспечения выполнения основных функций ситуационного центра организационно-штатная структура должна быть сформирована из двух отделов – оперативного и аналитического (рис. 1).

Основными задачами оперативного отдела являются:

- 1) сбор и первичная обработка исходной информации о состоянии объектов инфраструктуры и подвижного состава для дальнейшего ситуационного анализа;
- 2) оперативное принятие мер, направленных на ликвидацию дестабилизирующих факторов, создающих опасность возникновения кризисных и аварийных ситуаций;
- 3) организация ликвидации последствий аварийных и чрезвычайных ситуаций на сети железных дорог ОАО «РЖД».

В оперативную смену, работающую по круглосуточному графику, входят следующие работники:

- 1) старший диспетчер – руководитель оперативной смены;
- 2) диспетчер по локомотивному хозяйству;

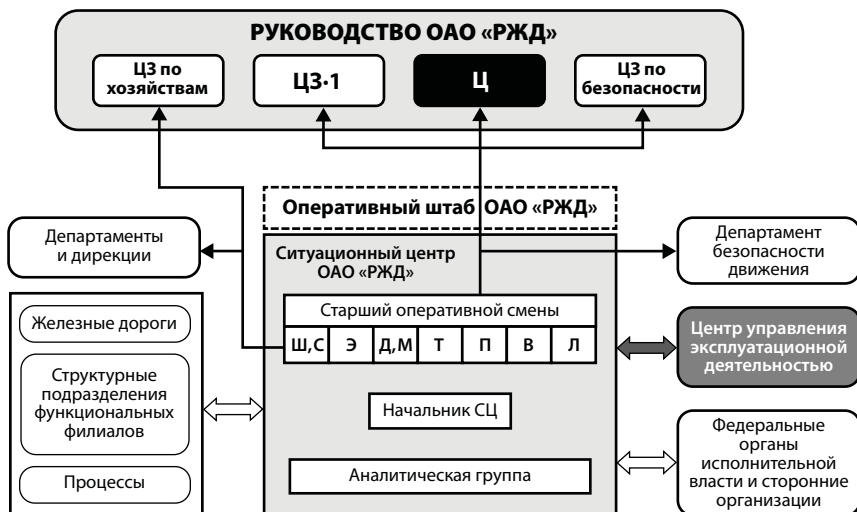


Рис. 1. Организационная структура ситуационного центра ОАО «РЖД»

- 3) диспетчер по вагонному хозяйству;
- 4) диспетчер по хозяйству пути и сооружений;
- 5) диспетчер по хозяйству автоматики и телемеханики;
- 6) диспетчер по хозяйству электрификации и электроснабжения;
- 7) диспетчер по хозяйству пассажирских сообщений и скоростному движению;
- 8) диспетчер по хозяйству перевозок.

Основными задачами аналитического отдела являются:

- 1) прогнозирование рисков возникновения аварийных ситуаций и определение мест наиболее вероятного их проявления на основе комплексного анализа поступающих данных мониторинга состояния технических средств, инфраструктуры, подвижного состава и соблюдения технологий;
- 2) разработка превентивных корректирующих мер и подготовка управляющих решений по снижению рисков и нарушений безопасности движения.

3. Нормативно-техническая база ситуационного центра

В 2009 г. совместно с Департаментом безопасности движения ОАО «НИИАС» была разработана методическая база для расчета показателей, характеризующих опасность возникновения транспортных происшествий и событий. Основой для этого послужила разработанная институтом Методология определения уровня безопасности движения на основе статистического анализа и индексов оценки ситуации. Результат данной работы был представлен в виде матриц: «транспортные происшествия – влияющие факторы», которые были разработаны и согласованы с причастными департаментами. В матрицах были представлены виды транспортных происшествий и событий, наиболее характерные для каждого из хозяйств, а также перечень влияющих на них факторов, с выделением видов происшествий и событий, на которые оказывает влияние тот или иной фактор. Существенным элементом данной методологии является формирование показателя уровня опасности возникновения транспортного происшествия или события с учетом текущего состояния важнейших компонент перевозочного процесса. Такой показатель позволяет сопоставлять опасности возникновения конкретных видов транспортных происшествий, выделяя среди них те, которые требуют принятия неотложных мер.

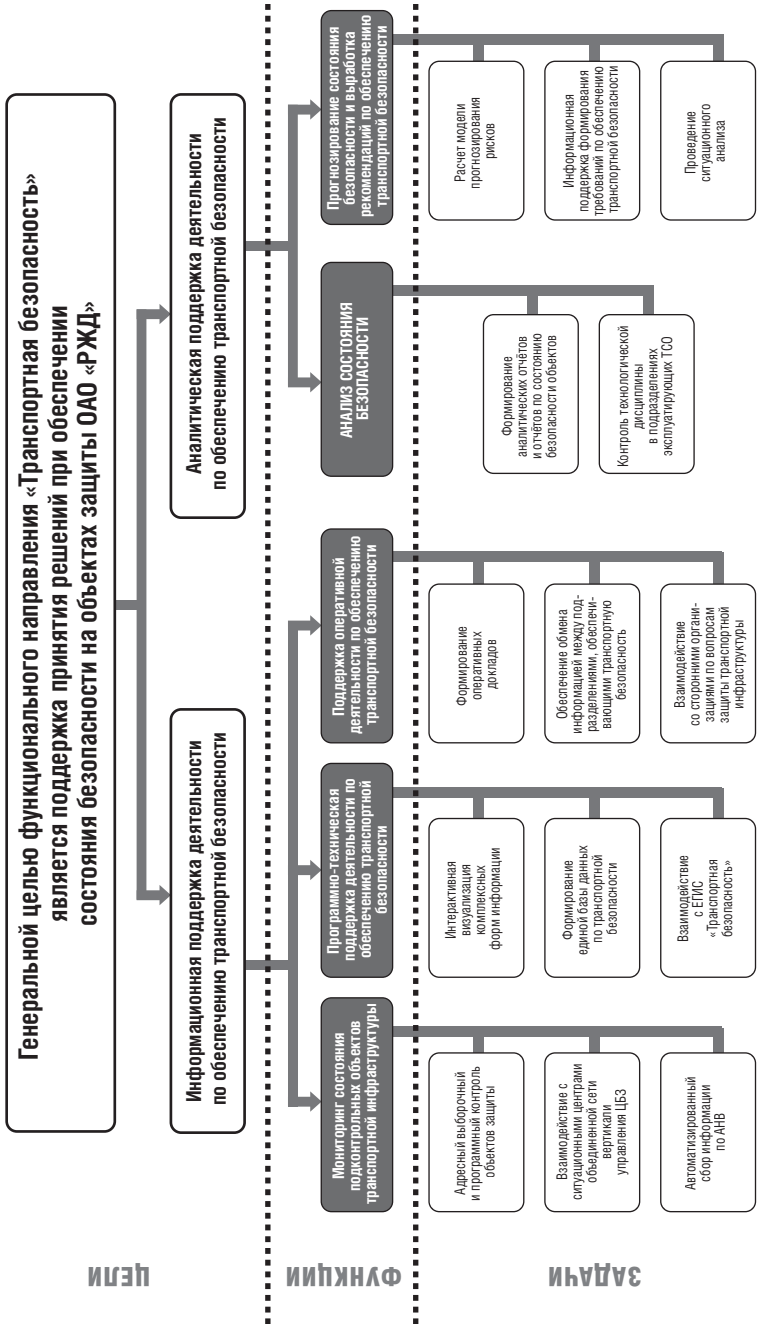


Рис. 2. Цели, функции и задачи функционального направления «Транспортная безопасность»

Более того, дальнейшее развитие и последующее практическое применение данной методологии за счет оценки влияния факторов на итоговый показатель уровня опасности позволяет выделять конкретные направления реализации первоочередных мер по предупреждению их возникновения. При этом, безусловно, должна оцениваться возможность принятия корректирующих мер, в первую очередь, в отношении факторов, которые оказывают наибольшее влияние на возникновение транспортных происшествий. При невозможности реализации мер по снижению их влияния, например, вследствие ограниченности ресурсов, последовательно, по мере уменьшения влияния факторов, рассматривается возможность воздействия на каждый из них с планированием соответствующих мероприятий. Это позволяет осуществлять адресные мероприятия, направленные на конкретные дестабилизирующие факторы и предназначенные для предупреждения наиболее опасных видов транспортных происшествий, что особенно актуально в условиях ограниченных кадровых, материально-технических и финансовых ресурсов.

Также специалистами института проведена работа по анализу существующей системы обеспечения безопасности, определению в ней роли и места создаваемого ситуационного центра с подробной проработкой его технологического и функционального взаимодействия на всех уровнях управления компании. Разработаны проектно-технические требования к программно-аппаратному обеспечению и режимам функционирования ситуационного центра, его насыщению на основе источников объективной информации, разработаны технические требования к работе табло коллективного пользования ситуационного центра, а также технология отображения на нем аналитических данных о состоянии безопасности движения.

4. Задачи функциональных направлений ситуационного центра

Ситуационный центр ОАО «РЖД», помимо организации и управления в условиях возникновения чрезвычайных ситуаций, должен обеспечивать деятельность, направленную на выявление и парирование возникающих рисков в области обеспечения безопасности движения, пожарной и транспортной безопасности. В соответствии с классификацией ситуационных центров такой центр является полнофунк-

циональным, поскольку совмещает в себе функции сбора, анализа информации и ситуационного управления.

Эффективное функционирование такого рода ситуационного центра обеспечивается за счет достижения целей, исполнения всех необходимых функций и качественного решения поставленных задач каждым из направлений, входящих в его состав, а также при организации их взаимодействия при всех режимах функционирования.

Задачи и структура функциональных направлений «Транспортная безопасность» и «Пожарная безопасность» представлены в общем виде на рис. 2–3. Более подробно рассмотрим функции, задачи и структуру основного функционального направления ситуационного центра «Безопасность движения» (рис. 4).

В штатном режиме функционирования сегмента ситуационного центра «Безопасность движения» для реализации функции «Сокращение количества транспортных происшествий и событий» должны исполняться следующие задачи.

Мониторинг текущего уровня безопасности движения должен осуществляться в режиме, максимально приближенном к реальному времени. Процесс сбора необходимой информации должен быть максимальным образом автоматизирован и осуществляться в режиме, защищенном от влияния человека. Выполнение данной задачи обеспечивается через информационное взаимодействие программно-технического комплекса ситуационного центра с действующими отраслевыми автоматизированными системами управления хозяйствами. Для получения отдельных показателей, данные по которым не ведутся в рамках отраслевых систем управления, осуществляется сбор информации через диспетчерский аппарат служб или региональных дирекций. В обязательном порядке должен обеспечиваться сбор информации, относящейся к состоянию факторов, влияющих на возникновение транспортных происшествий и событий, в соответствии с принятой методологией определения уровня безопасности движения на основе статистического анализа и индексов оценки ситуации.

На первом этапе развития программно-технических средств ситуационного центра в рамках сбора и обработки информации должны обеспечиваться только визуализация и представление в «едином окне» данных, полученных из

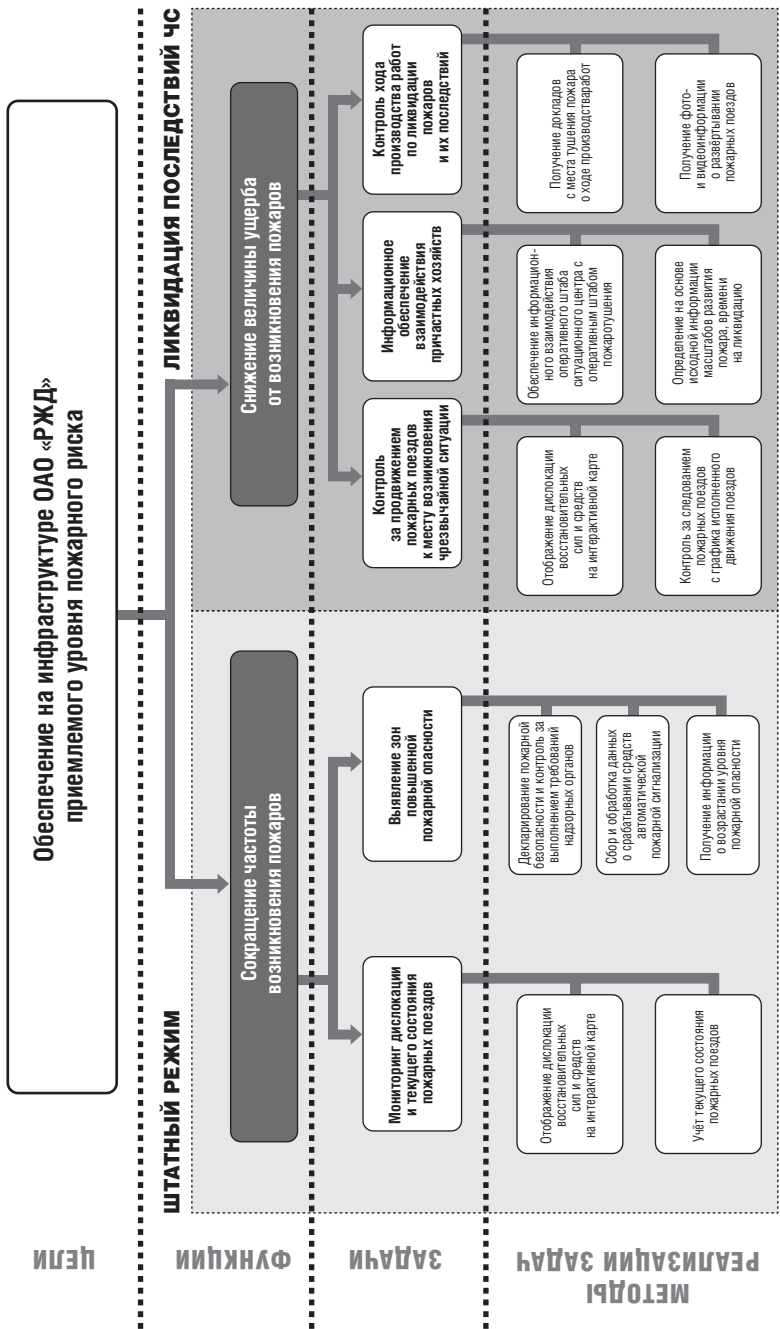


Рис. 3. Цели, функции и задачи сегмента ситуационного центра «Пожарная безопасность»

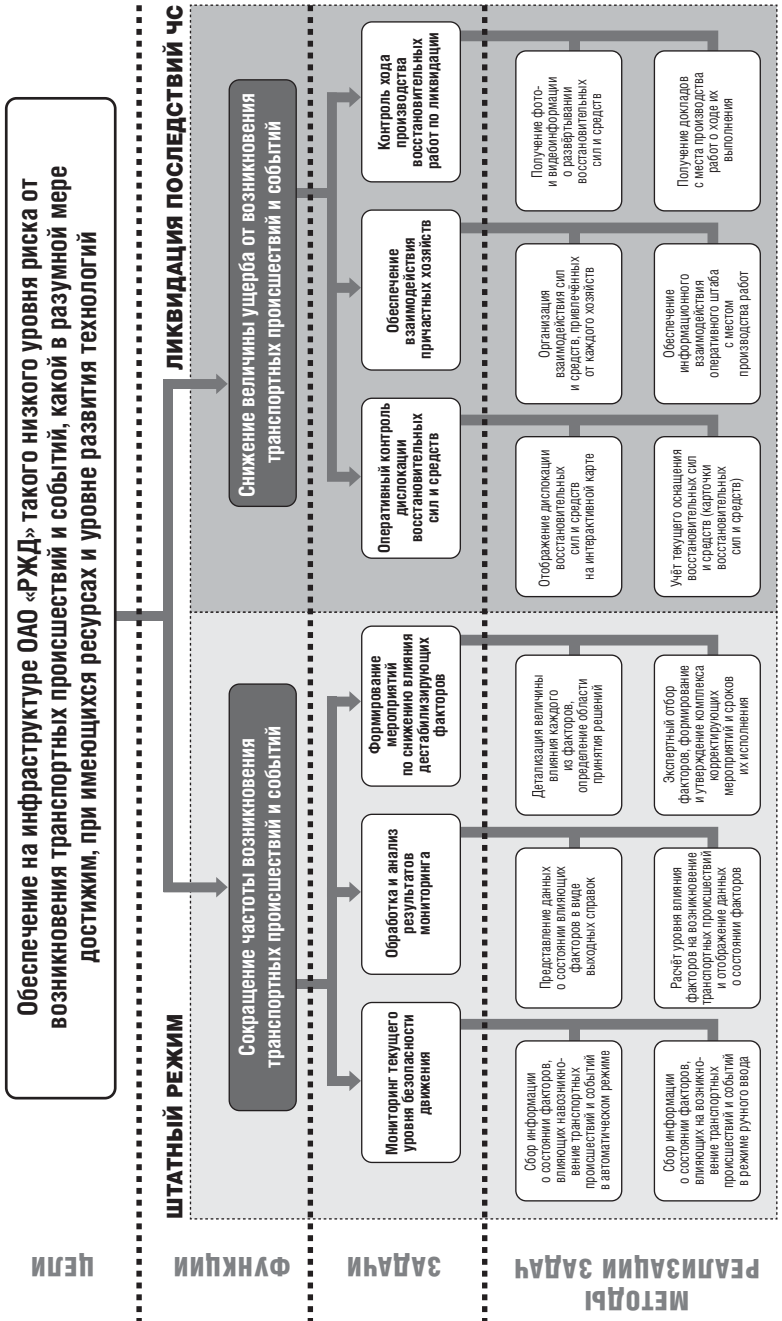


Рис. 4. Цели, функции, задачи и методы их реализации сегмента ситуационного центра «Безопасность движения»

Комплексной автоматизированной системы учета, контроля устранения отказов технических средств и анализа их надежности (КАСАНТ) [6, 7, 9] и АСУ хозяйств в форме выходных справок определенного вида. Данная задача на первом этапе развития программно-аппаратного комплекса ситуационного центра решается путем вывода на рабочие места оперативной смены сведений, полученных из КАСАНТ и АСУ хозяйств, в виде установленных форм выходных справок.

На втором этапе развития программно-технических средств ситуационного центра с использованием специализированного программного обеспечения, в соответствии с утвержденными методиками факторного анализа по хозяйствам, должны обеспечиваться автоматический расчет величины влияния факторов на возникновение транспортных происшествий и событий (индекс уровня безопасности движения) и его сопоставление с установленными допустимыми значениями [8, 10, 11].

Обработка информации должна осуществляться при помощи специализированных модулей в составе программно-аппаратного комплекса ситуационного центра. Основой для алгоритмов расчета влияния факторов в соответствующих программных модулях должны являться матрицы вида «Транспортные происшествия и события – влияющие факторы», разработанные с учетом специфики деятельности каждого из хозяйств. На основе данных матриц в автоматическом режиме должен обеспечиваться расчет величин влияния факторов на возникновение каждого из видов транспортных происшествий и событий по каждому структурному подразделению в отдельности.

Полученные итоговые величины влияния факторов должны обрабатываться и сопоставляться с предельными значениями, установленными для каждого из видов транспортных происшествий и событий. Результаты сравнения в виде сводных данных по выявленным случаям превышения допустимого уровня влияния факторов должны выводиться на рабочие места специалистов оперативной смены (с учетом их принадлежности к конкретному хозяйству). При выявлении превышения влияния факторов установленного уровня должна выводиться детализированная информация о влиянии каждого из них на

возникновение транспортных происшествий и событий. Данная информация используется в дальнейшем при организации планирования мероприятий.

При работе ситуационного центра в режиме ликвидации последствий чрезвычайной ситуации для реализации функции «Сокращение ущерба транспортных происшествий и событий» сегментом «Безопасность движения» должны выполняться следующие задачи:

1. Оперативный контроль дислокации восстановительных сил и средств должен осуществляться в автоматизированном режиме с использованием средств, исключающих влияние человеческого фактора, в том числе и с использованием технологий спутниковой навигации. В условиях возникновения чрезвычайной ситуации одним из элементов оперативного контроля текущего состояния и дислокации восстановительных средств является отображение информации на интерактивной карте. На интерактивную карту должна выводиться информация о текущей дислокации восстановительных средств, данные об их техническом оснащении, передвижениях и готовности к ликвидации последствий чрезвычайной ситуации (рис. 5).

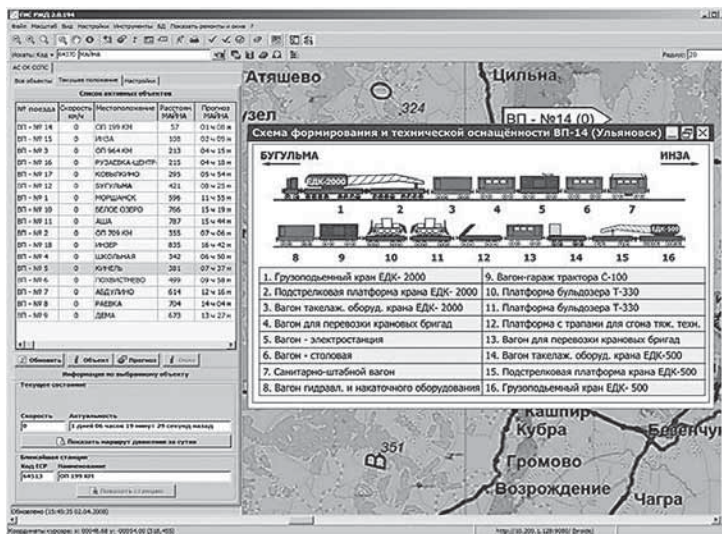


Рис. 5. Пример отображения информации о дислокации и технической оснащённости восстановительных средств

2. С целью обеспечения постоянного наличия в ситуационном центре актуальной информации о готовности восстановительных сил и средств в него должны поступать данные обо всех случаях их привлечения к выполнению хозяйственных работ, а также о случаях участия в ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций, имевших место ранее. Все это позволяет агрегировать обрабатываемую информацию о готовности и дислокации восстановительных сил и средств для ее последующей передачи в оперативный штаб, который координирует деятельность причастных субъектов управления ОАО «РЖД» по обеспечению подвода восстановительных сил и средств к месту возникновения транспортного происшествия или события.
3. Обеспечение взаимодействия причастных хозяйств в условиях возникновения транспортных происшествий и событий. Данная задача реализуется через участие персонала сегмента «Безопасность движения» в работе оперативного штаба. Должно обеспечиваться взаимодействие сил и средств хозяйств, привлеченных к ликвидации последствий чрезвычайной ситуации. Решающее значение при этом имеют вопросы информационного обеспечения, связи и коммуникации между оперативным штабом и руководителями, возглавляющими проведение восстановительных работ на месте возникновения чрезвычайной ситуации.
4. Контроль хода производства восстановительных работ по ликвидации последствий возникновения транспортных происшествий и событий. Данная задача реализуется на основе телекоммуникационной системы ситуационного центра ОАО «РЖД», в которую должны подгружаться информация с места производства восстановительных работ, а также доклады ответственных руководителей непосредственно с места возникновения чрезвычайной ситуации. Передача фото- и видеоматериалов в телекоммуникационную систему ситуационного центра может быть обеспечена, в том числе, и с мобильных комплексов, включаемых в состав восстановительных средств, привлекаемых к процессу ликвидации последствий чрезвычайной ситуации.

5. Заключение

Ситуационный центр ОАО «РЖД» предназначен для мониторинга и прогнозирования возможности возникновения чрезвычайных ситуаций вследствие нарушений безопасности перевозочного процесса, случаев вандализма и терроризма на транспорте, пожаров, форс-мажорных обстоятельств природного характера. Одна из главных задач ситуационного центра (СЦ) – это оперативное блокирование или устранение возникших негативных факторов и минимизация последствий при их ликвидации. Информационные технологии, положенные в основу СЦ, органично связаны с программно-технологическим комплексом КАСАНТ и рядом отраслевых АСУ.

Литература

1. Лукичева Л.И., Егорычев Д.Н. «Управленческие решения: Учебник» – М.: Омега-Л, 2007.
2. Карданская Н.Л. Управленческие решения. Учебник: – М.: Юнити, 2009.
3. Литвак Б.Г. Разработка управленческого решения. Учебник: – М.: Дело, 2006.
4. Розенберг Е.Н., Розенберг И.Н., Замышляев А.М. Ситуационный центр ЦРБ ОАО «РЖД» // Труды девятой научно-практической конференции «Безопасность движения поездов». – Москва, октябрь, 2008 г. – с. IX-4–IX-5.
5. Концепция ситуационного центра мониторинга и управления чрезвычайными ситуациями ОАО «РЖД». – Москва, 2010.
6. Замышляев А.М., Прошин Г.Б. Комплексная автоматизированная система учета, контроля устранения отказов технических средств и анализа их надежности (КАСАНТ) // Труды девятой научно-практической конференции «Безопасность движения поездов». – Москва, октябрь, 2008 г. – с. IX-5–IX-6.
7. Замышляев А.М., Прошин Г.Б., Горелик А.А. Система КАСАНТ: второй этап внедрения // Автоматика, связь, информатика. – 2009. № 7. – С. 9–13.
8. Розенберг Е.Н., Замышляев А.М., Прошин Г.Б. Определение опасности возникновения транспортных происшествий и событий на основе кон-

- троля состояния факторов, влияющих на их возникновение // Надежность. – 2009. №3. – С. 37–50.
9. *Розенберг И.Н., Замышляев А.М., Прошин Г.Б.* Совершенствование системы управления содержанием эксплуатационной инфраструктуры с применением современных информационных технологий // Надежность. – 2009. № 4. – С. 14–22.
 10. *Вакуленко С.П., Замышляев А.М.* Факторы влияния и виды нарушений безопасности движения (часть первая) // Мир транспорта. – 2009. № 4. – С. 136–141.
 11. *Вакуленко С.П., Замышляев А.М.* Факторы влияния и виды нарушений безопасности движения (часть вторая) // Мир транспорта. – 2010. № 1. – С. 126–131.

УДК 656.2.08

Прошин Г.Б.

Создание Комплексной автоматизированной системы учета, расследования и анализа случаев технологических нарушений

Ключевые слова:

график движения поездов, отказы технических средств, технологические нарушения.

С июля 2008 г. на сети железных дорог ОАО «РЖД» функционирует Комплексная автоматизированная система учета, контроля устранения отказов технических средств и анализа их надежности (КАСАНТ), обеспечивающая получение первичной информации о нарушениях нормальной работы объектов инфраструктуры и подвижного состава на основе данных графика исполненного движения поездов системы ГИД «Урал-ВНИИЖТ». В настоящее время функционирует вторая очередь системы КАСАНТ, обеспечивающая получение информации об отказах технических средств не только с графика исполненного движения, но и на основе данных средств диагностики подвижного состава (приборы КТСМ), а также данных отраслевых систем управления (АСУ хозяйств) (рис.1). Увеличение количества отказов технических средств, фиксируемых в рамках текущей версии системы КАСАНТ, по сравнению с функционировавшей ранее, составило более 1,5 раза.

В то же время необходимо отметить, что причинами сбоев в графике движения поездов являются не только отказы технических средств. Проводимый на базе системы КАСАНТ учет нарушений графика движения поездов в части, касающейся только отказов технических средств, не позволяет в полной мере учитывать и определять причины всех нарушений

перевозочного процесса, периодически возникающих на железных дорогах. Результаты анализа диспетчерских отметок о сбоях в графике движения поездов из системы ГИД «Урал-ВНИИЖТ», проведенного по итогам I квартала 2010 г. с использованием опытного программного модуля, разработанного специалистами ОАО «НИИАС», показали, что с отказами технических средств связано около 5–10% от общего числа причин задержек поездов (рис. 2).

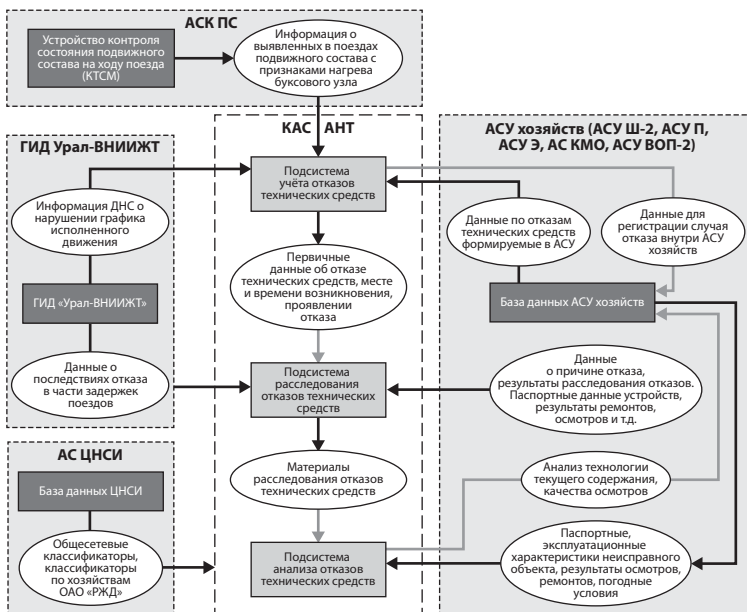


Рис. 1. Структура информационного взаимодействия системы КАСАНТ 2-й очереди

Информация, полученная в автоматизированном режиме, была подтверждена отчетами, подготовленными специалистами отделов анализа графика исполненного движения служб корпоративной информатизации на Северо-Кавказской, Куйбышевской и Восточно-Сибирской железных дорогах. Было проанализировано около 1500 графиков исполненного движения за февраль 2010 г. по 47 диспетчерским участкам, где предусмотрено их ведение в рамках автоматизированной системы ГИД «Урал-ВНИИЖТ».

Доля нарушений графика движения, вызванных отказами технических средств, составляла на различных железных дорогах от 1 до 24% от общего количества задержанных поездов. Аналогичный результат был получен и при анализе соотношения продолжительности задержек поездов (продолжительность задержек поездов, вызванных отказами технических средств, составляла от 2 до 10% от общей продолжительности задержек).

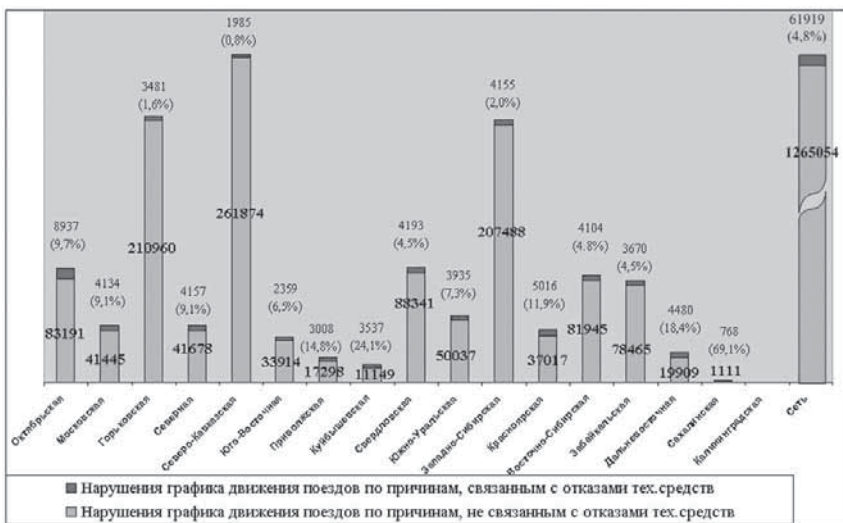


Рис. 2. Анализ причин нарушений графика исполненного движения поездов за I квартал 2010 г.

Полученные данные показали, что помимо отказов технических средств весьма значительное негативное влияние на перевозочный процесс оказывают технологические нарушения, допускаемые оперативным персоналом. Под термином «технологическое нарушение» следует понимать действие или бездействие оперативного персонала в нарушение требований действующих нормативных документов, которое привело к задержке поезда по причинам, не связанным с отказом технического средства.

Очень важно отметить такой факт, что учет непосредственно технологических нарушений, как самостоятельных событий, в действующей системе отчетности не осуществляется. В ОАО «РЖД» функционирует эффектив-

ная система учета задержек поездов, явившихся следствием уже произошедших случаев технологических нарушений или отказов технических средств. Такой подход позволяет только оценивать тяжесть последствий самих сбоев в графике движения, но не обеспечивает реализацию современных принципов управления по выявлению предпосылок к возникновению рисков и выработку корректирующих мер по их предупреждению.

Для повышения эффективности управления перевозочным процессом, решения задач по комплексному развитию важнейших транспортных направлений необходимо создавать систему эффективного учета, качественного расследования и выявления истинных причин всех видов нарушений эксплуатационной работы. Создание такой системы особенно актуально в условиях третьего этапа реформирования ОАО «РЖД» и создания на ее основе вертикально интегрированной компании холдингового типа. В таких условиях должны быть сформированы новые методы организации взаимодействия вновь образующихся функциональных направлений, основанные прежде всего на принципах их экономической ответственности за качество выполнения перевозочного процесса. Используемые ранее показатели, изолированно отражающие только деятельность конкретного хозяйства, становятся малоэффективными и требуют коренного пересмотра с точки зрения критериев оценки эксплуатационной деятельности вновь создаваемых функциональных направлений. Основной оценкой деятельности компании в целом является качество выполнения перевозочного процесса, поэтому создаваемая система через определенные виды показателей должна отражать роль каждого конкретного функционального направления в его выполнении.

На рис. 3 представлены предполагаемые критерии для оценки качества деятельности создаваемой дирекции инфраструктуры при ее взаимодействии с дирекцией управления движением. Очевидно, что одними из важнейших показателей для оценки деятельности дирекции инфраструктуры является надежность обслуживаемых ею технических средств, используемых для организации перевозочного процесса.



Рис. 3. Взаимодействие создаваемых функциональных направлений в рамках холдинга ОАО «РЖД»

В качестве показателей для оценки надежности предполагается использовать такие показатели, как интенсивность отказов, наработка на отказ, коэффициент готовности инфраструктуры. Расчет представленных показателей должен осуществляться в привязке к объемам эксплуатационной работы, выполняемой конкретным функциональным направлением с учетом специфики его деятельности (например, для путевого хозяйства измерителем эксплуатационной работы является пропущенный тоннаж), а не к временным характеристикам. Таким образом, создаваемая система показателей будет характеризовать качество деятельности функционального направления в привязке к выполняемым объемам эксплуатационной работы и учитывать его фактическое влияние на выполнение перевозочного процесса.

Помимо нарушений, напрямую связанных с работой технических средств, для каждого из создаваемых функциональных направлений необходимо уметь оценивать качество работы его оперативного персонала при организации перевозочного процесса. Важность решения данной задачи видна, исходя из статистики причин нарушений графика исполнен-

ного движения, приведенной на рис. 2. В этом направлении необходимо разработать технологию, обеспечивающую сбор, расследование причин технологических нарушений и их последующий анализ для планирования и реализации корректирующих мероприятий.

Учитывая количество ежемесячно фиксируемых нарушений перевозочного процесса, создаваемая технология должна базироваться на автоматизированной системе, обеспечивающей в автоматическом режиме фиксацию самих нарушений, понуждая причастные службы (дирекции), их структурные подразделения качественно вести расследование и установление причин нарушений. В рамках данной системы на основе установленных причин технологических нарушений должно осуществляться и распределение ответственности между функциональными направлениями – участниками перевозочного процесса, а для руководства ОАО «РЖД» должна формироваться единая комплексная картина по всем нарушениям графика движения поездов. Для этого необходимо, чтобы в системе имелась возможность получения статистики по всем сбоям в графике движения, вызванных как технологическими нарушениями, так и отказами технических средств. Это позволяет на этапе анализа причин и последствий нарушений перевозочного процесса оценивать текущее положение дел в соответствующих хозяйствах, определять для каждого из них причины сбоев графика движения поездов, имеющие наиболее тяжелые последствия, и намечать по ним разработку необходимых корректирующих мер.

Безусловно, разработка такой технологии и формирование на ее основе автоматизированной системы невозможны без создания соответствующей нормативной базы, регламентирующей технологию учета, порядок проведения расследования, отнесения ответственности и дальнейшее выполнение анализа причин технологических нарушений. При этом, поскольку график исполненного движения поездов предполагается использовать как один из основных источников информации, необходимо также пересмотреть классификатор причин простановки отметок о нарушениях графика движения поездов для системы ГИД «Урал-ВНИИЖТ» с позиции обеспечения возможности автоматического получения информации о случаях технологических нарушений.

Таким образом, были определены (рис. 4) основные направления работы по созданию Комплексной автоматизированной системы учета, расследования и анализа случаев технологических нарушений (КАСАТ):

- разработка Положения о порядке учета, расследования и анализа случаев технологических нарушений;
- переработка классификатора причин задержек поездов для системы ГИД «Урал-ВНИИЖТ»;
- разработка классификатора причин технологических нарушений;
- разработка программного обеспечения для системы учета, расследования и анализа случаев технологических нарушений.

В разработанном Положении о порядке учета, расследования и анализа случаев технологических нарушений с использованием системы КАСАТ (далее – Положение) было дано понятие «технологическое нарушение» применительно к специфике деятельности хозяйств, была приведена их классификация по категориям в зависимости от последствий. В Положении четко регламентирована технология учета: от фиксации факта технологического нарушения, формирования информации в системе КАСАТ, ее передачи причастным специалистам, до внесения в систему материалов расследования и проведения анализа причин технологических нарушений.



Рис. 4. Структура выполнения работ по реализации проекта КАСАТ

В рамках Положения описан порядок оперативного и окончательного отнесения ответственности за технологические нарушения, описаны документы, формируемые в системе КАСАТ персоналом причастных хозяйств при оформлении результатов расследования технологических нарушений.

Особая роль в Положении отведена специалистам отделов анализа графика исполненного движения поездов в службах корпоративной информатизации на железных дорогах. Данные специалисты, основываясь на материалах расследования, внесенных в систему причастными службами (дирекциями) или структурными подразделениями соответствующих хозяйств, производят классификацию зафиксированных нарушений графика исполненного движения по следующим видам:

- техническое (когда нарушение процесса возникло по причине неправильного пользования техническими средствами при их нормальной работе);
- технологическое (следствие нарушения персоналом требований технологии производства работ при ремонте, обслуживании технических средств, не вызвавшее нарушение их нормальной работы);
- особая технологическая необходимость (случаи нарушения графика движения, обусловленные принятием дополнительных мер по обеспечению безопасности движения или для минимизации последствий ранее возникших сбоев в графике движения);
- внешнее воздействие (влияние причин форс-мажорного характера: стихийные действия, акты несанкционированного вмешательства и т.д.).

В Положении отражены важные технологические моменты, когда при расследовании случаев технологического нарушения устанавливается, что его истинной причиной являлся отказ технического средства и, наоборот, когда причиной задержки поезда являлось технологическое нарушение, а не нарушение нормальной работы технического средства. В таких случаях предусмотрена передача информации между системами КАСАТ и КАСАНТ, позволяющая обеспечить корректный учет, классификацию и расследование случаев нарушения графика движения поездов установленным

порядком. Необходимость реализации такого взаимодействия возникает довольно часто, например, когда при расследовании причин невыполнения поездом перегонного времени хода выясняется, что его задержка была вызвана неисправностью локомотива и необходимостью сбора аварийной схемы силами локомотивной бригады.

В рамках задачи по переработке классификатора причин задержек поездов в действующем классификаторе системы ГИД «Урал-ВНИИЖТ» были пересмотрены причины диспетчерских отметок о задержках поездов с учетом структурных преобразований в ОАО «РЖД». Прежде всего изменения коснулись выделения новых функциональных направлений и разграничения зон их ответственности. Содержание причин классификатора для каждого из функциональных направлений было приведено в соответствие с зонами их ответственности. Так, например, из классификатора причин по ответственности Федеральной пассажирской компании были изъяты причины, касающиеся превышения норм времени на обработку состава поезда, приема поездов пассажирской технической станцией.

Ряд формулировок причин классификатора был приведен в соответствие с требованиями действующих нормативных документов федерального уровня и уровня ОАО «РЖД». Это позволило исключить двоякое толкование наименований отдельных видов неисправностей технических средств, причин сбоев, связанных с возникновением чрезвычайных ситуаций и с актами незаконного вмешательства в деятельность железнодорожного транспорта. Отдельно в классификаторе были выделены причины, используемые поездным диспетчером для внесения в график исполненного движения информации служебного характера. Например, причины производства работ в «окна», работа снегоуборочной техники и т.д.

Разрабатываемое на основе данных нормативных документов программное обеспечение системы КАСАТ должно реализовываться в несколько этапов. На первом этапе в рамках третьей очереди системы КАСАНТ должна быть разработана Комплексная автоматизированная подсистема учета, расследования и анализа технологических нарушений (КАСАТ), вза-

имодельствующая с системой учета, расследования и анализа случаев отказов в работе технических средств. Реализация данного этапа позволит обрабатывать в автоматическом режиме все нарушения графика исполненного движения поездов (рис. 5), вызванные как отказами в работе технических средств, так и технологическими нарушениями. Формируемые данные о нарушениях перевозочного процесса, их продолжительности, последствиях, причинах и ответственных за возникновение позволят решать целый ряд задач:

- определение фактической пропускной и провозной способности участков и станций;
- формирование исходной информации для статистической отчетности по задержкам поездов;
- определять для конкретного участка железных дорог причины, оказывающие наиболее сильное негативное влияние на его эксплуатационную работу;
- оценивать влияние состояния технологической дисциплины на возникновение случаев нарушения безопасности движения.

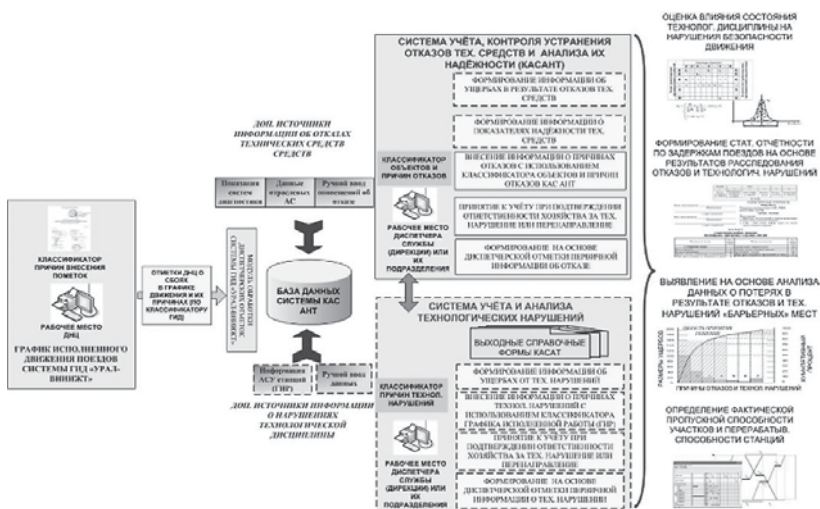


Рис. 5. Функциональная структура системы КАСАНТ третьей очереди

Необходимо отметить, что сбои в движении поездов, фиксируемые поездным диспетчером на участке, зачастую являются следствием технологических нарушений на станции. В этой связи для получения объективной картины событий и снижения загрузки поездного диспетчера по внесению пометок на график исполненного движения следующий этап развития системы КАСАТ предполагает использование в качестве дополнительного источника первичной информации электронный график исполненной работы станции (ГИР) из автоматизированной системы АСУ станции. При переработке классификатора графика исполненного движения поездов была отдельно выделена группа причин, относящихся к эксплуатационной работе станций. Эта группа причин может быть использована одновременно для внесения информации на график исполненной работы станции. В перспективе предполагается возможность получения системой КАСАТ информации о выполнении технологического процесса в пределах станции напрямую из графика исполненной работы станции.

С целью обеспечения достоверности передаваемой информации предусматривается, что электронный график исполненной работы станции, при нарушениях соответствующих нормативов на выполнение технологических операций должен автоматически выдавать информационное сообщение о необходимости внесения пометки. Реализация такой функциональности требует наличия формализованного описания последовательности и продолжительности всех технологических операций на станциях в виде электронной базы данных. Основой данного описания является типовой технологический процесс работы станции, на основе которого с учетом местных условий разрабатывается технологический процесс работы конкретной железнодорожной станции.

В настоящее время технологические процессы работы станций ведутся на бумажном носителе, в неформализованном виде. В связи с поставленной задачей по автоматизации ведения графика исполненной работы станции назрела необходимость разработки автоматизированной системы ведения единой базы данных технологических процессов станций, по аналогии с Автоматизированной системой ведения базы данных технико-распорядительных актов станций (АС ТРА). При наличии базы данных технологических процессов работы стан-

ций программный модуль ведения графика исполненной работы ГИР может автоматически, используя стандартные интерфейсы взаимодействия, получать из нее все необходимые актуальные сведения о последовательности и продолжительности выполнения технологических операций (рис. 6). При отклонениях в продолжительности или последовательности выполнения операций модуль ведения графика исполненной работы будет автоматически запрашивать у маневрового или станционного диспетчера данные о предварительной причине отклонения и причастной службе (дирекции) или их структурном подразделении.

Сформированная таким образом первичная информация о нарушениях технологического процесса на станции должна поступать в систему КАСАТ для ее расследования и установления причин, наряду с данными, формируемыми на основе графика исполненного движения поездов. Таким образом, формируется достаточно полная информация о влиянии на перевозочный процесс отказов в работе технических средств и технологических нарушений.

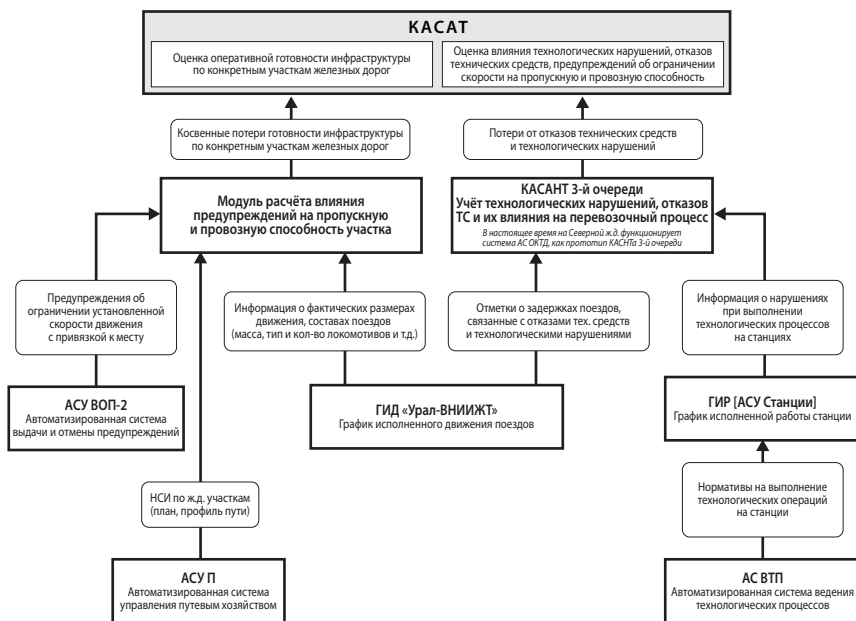


Рис. 6. Предполагаемое функциональное развитие системы КАСАТ.

Другое направление развития системы КАСАТ представляет собой автоматизацию учета влияния предупреждений на пропускную и провозную способность железнодорожных участков. Данное направление также базируется на информации о фактических размерах движения поездов из системы ГИД «Урал-ВНИИЖТ» и характеристик выданных ограничений установленной скорости движения поездов (значений установленной скорости движения, длительности действия предупреждения), в привязке к конкретным характеристикам плана и профиля пути и т.д. Ключевым элементом данного направления является программный модуль автоматизированного расчета влияния предупреждений на пропускную и провозную способность участка, который функционирует на основе данных, автоматически получаемых из системы АСУВОП-2 (Автоматизированная система выдачи и отмены предупреждений), АСУ П (Автоматизированная система управления хозяйством пути) и графика исполненного движения поездов. Благодаря работе данного программного модуля появляется возможность учитывать косвенные потери от ограничений установленных скоростей движения, выделять из перечня предупреждений наиболее важные (по степени их влияния на снижение пропускной и провозной способности), а также передавать полученные данные для планирования работ по текущему содержанию и ремонту объектов инфраструктуры персоналу соответствующих хозяйств.

Результатом работы системы КАСАТ должна являться оценка фактической готовности железнодорожного участка (направления), как в отношении инфраструктуры, так и в отношении технологической дисциплины оперативного персонала к выполнению заданного объема перевозок. Полученная итоговая информация должна иметь возможность ее соответствующей детализации по причинам, влияющим на нарушения перевозочного процесса, и по уровню их влияния, что позволит реализовывать на этой основе более сложные алгоритмы для поддержки принятия решений о необходимости проведения мероприятий по усилению инфраструктуры или повышению уровня подготовки оперативного персонала конкретного железнодорожного направления.

Замышляев А.М., Савицкий А.Г., Цуцков Д.В.

Комплексная автоматизированная технология управления работой железнодорожных станций

Ключевые слова:

технологический процесс работы железнодорожных станций, график движения поездов, автоматизированная система.

Железнодорожные станции являются одними из основных структурных подразделений ОАО «РЖД», непосредственно определяющих состояние безопасности и экономической эффективности работы компании в целом. На текущий момент организация работы станций железных дорог России существенным образом отличается от ряда зарубежных аналогов.

В Швейцарии работа железнодорожных станций полностью организуется автоматизированной системой разработки Siemens. Непосредственно на станциях каких-либо работников, управляющих движением, нет. Диспетчеры нескольких центров управления железных дорог Швейцарии осуществляют лишь функции наблюдения за работой станций и участков в «авторежиме». В случае загорания «красной лампочки» диспетчер вызывает единственного в смене старшего диспетчера, который локализует и координирует развязку автоматизированной системой возникшей нештатной ситуации. Это может происходить несколько раз в сутки.

Все станционные маршруты рассчитываются и готовятся системой автоматически. Диспетчеры могут в системе посмотреть состав и назначение поезда, локомотив и бригаду, но фактически это делает только старший диспетчер при возникновении отклонений от твердого графика движения поездов.

Прием работников на должности диспетчеров производится без требований о железнодорожном образовании и опыте работы на транспорте. Все оперативные работники обучены непосредственно на своих рабочих местах.

На нескольких участках локомотивы обращаются без машинистов.

Железнодорожный транспорт России должен двигаться в этом же направлении.

В настоящее время основными недостатками организации работы железнодорожных станций ОАО «РЖД» являются:

- формирование человеком практически всех управляющих решений;
- отсутствие систем достоверного прогнозирования поездной и маневровой работы станций;
- отсутствие формализованной технологии работы станций;
- разрозненность существующих автоматизированных систем.

В качестве первого этапа целесообразно выполнить формализацию технологии работы станций с выходом на автоматизированное построение нормативных среднесуточных планов-графиков работы станций. В условиях, когда только человек знает, как работает станция, никакие управляющие автоматизированные технологии невозможны.

В настоящее время ОАО «НИИАС» ведется работа по поэтапному внедрению Комплексной автоматизированной системы ведения технологических процессов работы железнодорожных станций (АС ВТП). Назначением АС ВТП является автоматизация процессов ведения (формирования, контроля и предоставления для использования причастным работникам и автоматизированным системам) технологических процессов работы станций ОАО «РЖД» (ТП), технологических карт работы промежуточных станций ОАО «РЖД» (ТК) и единых технологических процессов работы железнодорожных путей необщего пользования и станций примыкания ОАО «РЖД» (ЕТП).

АС ВТП решает задачи:

- оптимизации и автоматизации процессов ведения текстовых, табличных и графических частей ТП, ТК и ЕТП в соответствии с требованиями типовых нормативных документов;
- создания единой взаимосвязанной информационной базы данных ТП, ТК, ЕТП и ТРА с конфиденциальным доступом по сети Intranet и дифференциацией прав доступа пользователей;

- автоматизированной передачи данных ТП, ТК и ЕТП в другие автоматизированные системы ОАО «РЖД», связанные с работой станций (АСОУП, АСУ СТ, АСУ МР на единой дорожной базе данных, АСОВ, АС ЭТРАН и др.).

На конец 2011 г. планируется тиражирование АС ВТП на все сортировочные, участковые и пассажирские станции железных дорог ОАО «РЖД».

Вторым этапом должно быть использование оперативных данных:

- подходов поездов (АСОУП);
- плана формирования (АСОВ);
- дислокации вагонов и локомотивов на путях станции (АСУ СТ и МАЛС);
- расписания пассажирских поездов (АСУ «ЭКСПРЕСС-3»);
- заявки на маневровую работу (АСУ СТ);
- «окна» и предупреждения (АС АПВО, АСУВОП).

На основе текущих данных о состоянии всех элементов перевозочного процесса и формализованной технологии работы должен строиться прогнозный план-график работы станций с выходом на автоматизированный расчет оптимального текущего плана работы станций с детализацией до предстоящих поездных и маневровых маршрутов.

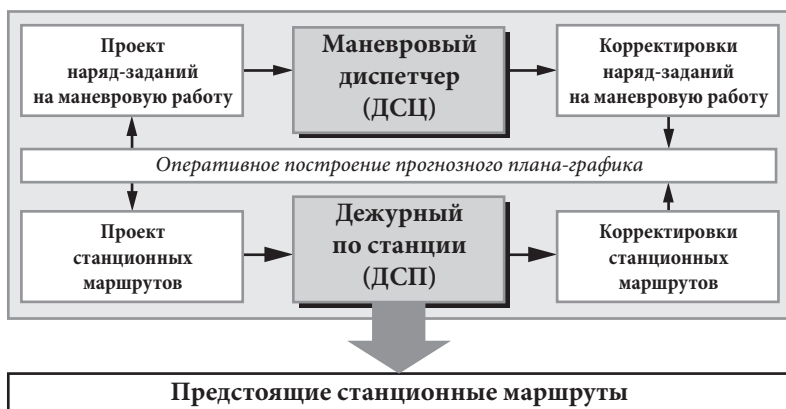


Рис. 1. Схема работы диспетчерского персонала станций

Автоматически сформированная на основе плана-графика последовательность маневровых операций в виде проекта наряд-заданий АСУ СТ должна предоставляться на согласование маневровому диспетчеру (рис. 1).

На основе корректировок маневрового диспетчера и произошедших изменений текущей ситуации план-график должен автоматически перестраиваться.

В соответствии с согласованными маневровым диспетчером наряд-заданиями дежурному по станции должен предоставляться проект станционных маршрутов. По корректировкам дежурного по станции должны автоматически формироваться задания на приготовление маршрутов в системах централизации стрелок и сигналов станции.

Следующим этапом должно быть развитие систем, позволяющих автоматически реализовывать рассчитанные поездные и маневровые маршруты. В данном направлении ОАО «НИИАС» ведет работы по поэтапному внедрению систем КЛУБ и МАЛС.

Система МАЛС на текущий момент реализует функции обеспечения непроезда запрещающих сигналов и контроля скоростей движения в маневровой работе.

Ключевыми стадиями перспективного развития технологии работы железнодорожных станций ОАО «РЖД» являются:

- формализация технологии работы станций;
- автопланирование станционных маршрутов;
- автоматизация ведения локомотивов.

Составляющими эффективности технологии будут:

- повышение уровня безопасности движения на станциях;
- оптимизация работы станций;
- контроль технологической дисциплины;
- сокращение трудозатрат станционных работников.

Талалаев Д.В., Пенькова Н.Г., Чернов С.С.

Автоматизированное проектирование ответственного программного обеспечения

Ключевые слова:

логика Хоара, системы управления с критичными требованиями к безопасности, SCADE-модели, иерархические конечные автоматы, автоматизированное проектирование программного обеспечения.

1. ВВЕДЕНИЕ

1.1. Проектирование ответственного программного обеспечения

Проектирование ответственного программного обеспечения (ПО) – сложный процесс, порождающий большое число трудноразрешимых проблем. Эти проблемы в основном являются следствием сложности формализации первичных требований заказчика. В этой связи нельзя говорить о какой-либо единой методике, едином подходе к получению соответствующего исходным спецификациям качественного ПО, пригодного для полноценной формальной верификации, и доказательству безопасности его функционирования. Сложившееся положение в отношении данного разряда проблем выражено в серии европейских и российских стандартов, в которых полноценно разработаны некоторые аспекты общей проблемы. Рассмотрим составляющие процесса разработки и характерные для них методы обеспечения безопасности.

Кратко процесс создания ответственного ПО может быть представлен схемой на рис. 1.

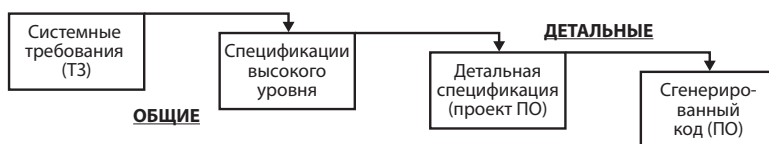


Рис. 1. Создание ответственного ПО

1.2. Этапы разработки

Первый этап (рис. 1), предусматривающий переход от спецификации Системных требований, т.е., по существу, текстового изложения требований заказчика, к спецификации требований к ПО высокого уровня, можно по опыту считать наиболее трудно формализуемым. На данном этапе возникают следующие проблемы:

- контроль полноты спецификаций;
- контроль внутренней непротиворечивости спецификаций;
- контроль взаимной логической увязки таких документов, как спецификация системных требований и спецификация требований к ПО верхнего уровня.

Решение указанных проблем связано с использованием специального инструментария, позволяющего производить семантический анализ спецификаций, отслеживать информационные связи между отдельными требованиями документов, их непротиворечивость, полноту раскрытия требований спецификаций более высокого уровня в спецификациях более низких уровней. Также немаловажным является максимально полный учет во всей системе разработанных документов, необходимых с точки зрения внешней среды функционирования ПО классов ситуаций, включая граничные случаи функционирования ПО (пользовательский ввод, сообщения, получаемые от внешних устройств, и т.п.).

Следующий за ним этап перехода от спецификации требований к ПО высокого уровня к детальной спецификации, которую можно считать проектом ПО, так же трудно формализуем. Здесь возникают все характерные для предыдущего этапа проблемы, плюс дополнительно появляются сложности с построением архитектуры ПО, выполнением принципа модульности, ограничениями на использование оперативной памяти разрабатываемого устройства и т.п. Так же, как и на первом этапе, на качество получаемого на выходе проекта влияет человеческий фактор. В соответствии со стандартом МЭК 61508-7 ([1]) (п. В.2.4), разработку на данном этапе должны поддерживать так называемые компьютерные средства построения спецификаций.

На заключительном этапе перехода от детальной спецификации (проекта ПО) к коду ПО, процесс представляется наиболее прогнозируемым и может выполняться вообще без участия человека. Существуют многочисленные методы формальной верификации, применимые на данном этапе, к числу наиболее известных из которых можно отнести: формальные языки, а также логику Хоара. Ввиду крайней трудоемкости процесса верификации весьма актуальной является задача применения автоматизированных средств.

В настоящее время в ОАО «НИИАС» ведется разработка комплексной среды построения безопасного ПО на базе следующих компонентов:

- автоматизированная среда разработки ПО (SCADE Suite);
- интегрированная среда количественного оценивания вероятностных показателей качества программно-аппаратных комплексов, основанная на графовых моделях (среда «Универсал»).

Цель данных работ состоит в обобщении опыта создания ответственного ПО и получении продукта с гарантированными вероятностными свойствами.

Далее в статье речь пойдет о применении программного комплекса SCAD¹ в качестве компонента комплексной среды построения ответственного ПО и о том, в какой мере данный комплекс решает проблему создания ответственного ПО. SCAD¹ предоставляет определенные средства обзора (подробнее об их функционировании см. ниже), которые позволяют отслеживать трассируемость спецификаций более низкого уровня по отношению к более высокоуровневым. Однако эти средства дают возможность лишь навигировать между спецификациями разных уровней, спецификациями и Проектом ПО, представленным в виде иерархически упорядочен-

¹ Комплект инструментальных средств SCAD Suite (поставщик – французская фирма Esterel Technologies), предназначенный для создания систем управления с критичными требованиями к безопасности, таких как устройства связи, сигнализации, системы обработки критических данных, системы железнодорожного управления и защиты.

ной SCADЕ-модели. Комплексом предоставляются инструменты, позволяющие выявлять излишние или непреднамеренные элементы Проекта ПО и, наоборот, отслеживать недостающие звенья Проекта, которые были предусмотрены в требованиях к ПО высокого уровня. Но эти инструменты не могут гарантировать полноту и непротиворечивость полученного Проекта ПО, тем более не позволяют оптимизировать архитектуру ПО.

Что касается заключительного этапа, то здесь SCADЕ практически полностью удовлетворяет потребностям разработчика и содержит в своем составе сертифицированный автоматический кодогенератор для получения на основе SCADЕ-модели (проекта ПО) кода языка С стандарта ANSI. После внесения любого изменения в модель код будет сгенерирован выполнением в среде SCADЕ всего лишь одного действия, занимающего минимум времени. Таким образом, при должном формировании SCADЕ-модели на стадии проектирования процесс кодирования не вносит каких-либо дополнительных ошибок, зависящих от человеческого фактора.

1.3. Требования к процессу разработки

Требования к процессу разработки можно разделить на две категории:

- превентивные меры, определяющие главным образом собственно процесс разработки;
- контрольные меры, определяющие требования к качеству результатов на разных стадиях процесса разработки.

В числе превентивных мер в разработке любых программных систем, в особенности ответственных, необходимо выделить требование о сопроvoждении всего процесса разработки, показанного на рис. 1, соответствующими этапам разработки процедурами верификации и тестирования результатов. Другими словами, это требование сводится к использованию V-модели разработки ПО, введенной стандартом CENELEC prEN 50128 ([2]). Модель в общем виде представлена на рис. 2.

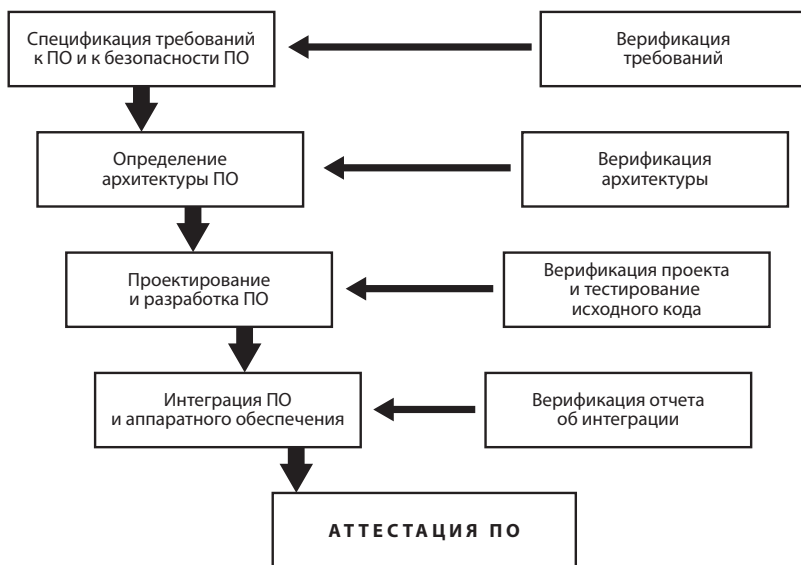


Рис. 2. V-образная модель разработки ответственного ПО

Как следует из рис. 2, для каждого этапа разработки ответственного ПО в роли контрольных мер обеспечения достаточного уровня качества ПО определены процедуры верификации, соответствующие своему этапу.

Наиболее интересно рассмотреть особенности применения инструментальной среды SCADÉ в таких процедурах (рис. 2), как верификация архитектуры и верификация проекта и исходного кода. Так как архитектура ПО в терминологии SCADÉ представляется верхними уровнями SCADÉ-модели, проект ПО – SCADÉ-моделью в целом, а код генерируется на основе модели автоматически, то указанные процедуры верификации фактически сводятся к верификации SCADÉ-модели ПО. Верификация SCADÉ-модели на соответствие спецификации требований к ПО верхнего уровня обычно включает в себя разработку тестового плана, включающего заранее смоделированные последовательности вводов/выводов с учетом интерфейса тестируемой части ПО (проекта в целом или модуля). Для описания последовательностей тестовых вводов SCADÉ предоставляет язык, с помощью которого тестовый сценарий может быть сохранен в файл и затем воспроиз-

веден в автоматическом режиме. Следует отметить, что задача автоматизированного создания детального тестового плана, гарантирующего полноту тестирования на основе требований верхнего уровня, не решена ни в одной известной нам среде автоматизированного проектирования ПО, в том числе SCADe. В SCADe отсутствует возможность на основе статического анализа модели выделить классы эквивалентности, этот процесс полностью возлагается на тестировщика. В то же время SCADe позволяет осуществлять навигацию между требованиями к ПО верхнего уровня и тестовым планом, что помогает не упустить требования при разработке тест-плана.

Важной проблемой в фазе тестирования ПО является доказательство достаточности покрытия модели тестовыми сценариями в соответствии с заданным критерием полноты тестирования. Для решения данной задачи SCADe предоставляет специальный инструмент – анализатор тестового покрытия модели МТС. МТС позволяет не только подсчитать общую статистику использованных вариантов вызова узлов модели в целом, но и выдать процент покрытия по каждому конкретному узлу. Этот инструмент существенно помогает решать проблему полноты разрабатываемых тестовых сценариев. Однако мы считаем актуальным развитие данной области, основанное на анализе семантически ограниченных графов, использованном при разработке среды SCADe.

Таким образом, на всех стадиях жизненного цикла разработки ответственного ПО SCADe предоставляет весомый набор полезных инструментов, но все же остаются проблемы, в решении которых инструментарий SCADe не сможет гарантировать разработчику/верификатору ПО корректность результатов.

В последующих разделах статьи будут рассмотрены особенности моделирования ПО в среде SCADe и инструменты, возможности которых кратко были описаны в настоящем разделе. В заключение на примере одной из разработок, осуществляемых в настоящее время в ОАО «НИИАС», показано реальное применение его инструментария.

2. КРАТКОЕ ОПИСАНИЯ КОМПЛЕКСА SCADE

2.1. Состав комплекса SCADE

Перечислим основные инструменты, входящие в состав комплекса SCADE:

- шлюз управления требованиями (SCADE Requirements Management Gateway);
- среда построения и отладки SCADE-моделей;
- кодогенератор SCADE Code Generator для производства кода языка C стандарта ANSI;
- симулятор моделей (SCADE Simulator);
- анализатор тестового покрытия моделей (SCADE MTC).

Назначение и возможности этих утилит последовательно раскрываются далее по ходу изложения.

2.2. Краткое описание и примеры SCADE-моделей

Узлы. Основные стандартные блоки SCADE-модели называются узлами. Узел – это функция, определяемая пользователем, состоящая из узлов нижнего уровня, соответствующих операторам (примерами операторов являются логические, арифметические операторы и операторы управления последовательностью выполнения). Узел может представляться графически (рис. 3) либо в текстовом виде (табл. 1).

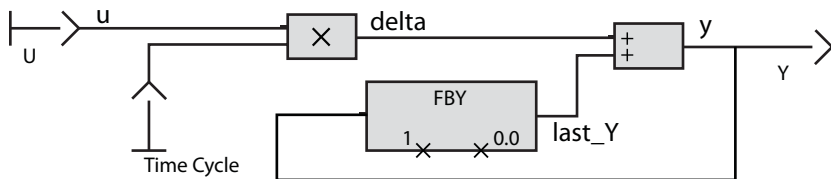


Рис. 3. Графическое изображение узлов интегратора.

Узел является функциональным модулем, выполненным из следующих компонентов (табл. 1).

Таблица 1

Компоненты функциональных модулей SCADE: узлы

Компонент	Текстовое обозначение узла интегратора	Графическое изображение
Формальный интерфейс	node IntegrFwd (U: real; hidden TimeCycle: real) returns (Y: real);	Стрелки
Объявленные локальные переменные	var delta: real; last_Y: real;	Именованные провода
Равенства	delta = u * TimeCycle; y = delta + last Y; last_Y = fby (y, 1, 0.0);	Сеть вызовов оператора

Узел является модулем:

- существуют четкие различия между его интерфейсом и его телом;
- исключается побочное влияние одного узла на другой;
- свойства узла не зависят от контекста его использования;
- узел может использоваться безопасно в нескольких местах в одной и той же модели либо в разных моделях.

2.3. Принципы создания алгоритмов непрерывного управления

Под непрерывным управлением понимаются систематически повторяющиеся вычисления, такие как: выборка датчиков при регулярных временных интервалах, процесс вычисления обработки сигналов на их значениях, вычисление алгоритмов управления и выдача результатов. Данные являются непрерывным объектом для непрерывного управления.

В программно-аппаратном комплексе непрерывное управление определяется графически при помощи блок-схем, как показано на рис. 4.

Блоки вычисляют математические функции, фильтры и задержки, в то время как стрелки обозначают потоки данных между блоками. Блоки, которые не имеют функциональной зависимости, вычисляются параллельно. Друг с другом блоки соединяются только через потоки. Потоки могут переносить числовые, булевы, дискретные либо структурные значения, используемые либо вырабатываемые вычислительными блоками или блоками, отвечающими за переключение потоков.

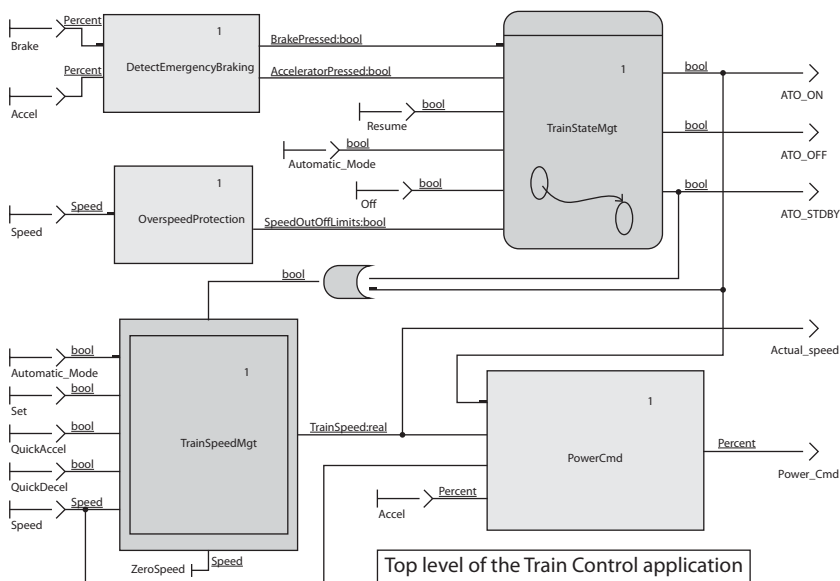


Рис. 4. Блок-схема, представляющая систему управления скоростью поезда

Здесь следует отметить, что блоки модели полностью иерархичны: на уровне описания блоки могут сами состояться из меньших блоков, взаимодействуя по локальным потокам.

2.4. Машины состояний для описания дискретного управления

Под дискретным управлением подразумевается изменение свойств согласно внешним событиям, происходящим либо в дискретных датчиках, либо во вводе пользователя, либо в момент наступления внутреннего программного события, например пороговое обнаружение значений. Дискретное управление используется, когда свойства качественно изменяются как реакция на события. Это присуще модальному человеко-машинному интерфейсу, управлению сигналом тревоги либо работе протокола связи. На практике конечные автоматы не являются приемлемыми даже для приложений среднего размера, так как их размер очень сильно возрастает при возрастании сложности системы. По этой причине была введена концеп-

ция иерархических конечных автоматов (рис. 5). Иерархические конечные автоматы, применяемые в программно-аппаратном комплексе, называются безопасными конечными автоматами (SSM).

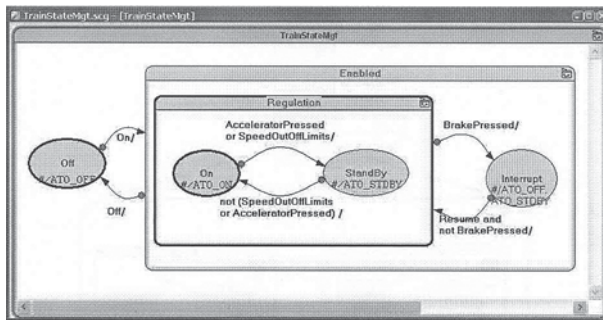


Рис. 5. Иерархические конечные автоматы

SSM также являются иерархическими. Автоматы могут быть как простыми, так и макроавтоматами, которые сами рекурсивно содержат полный SSM. Когда макроавтомат активен, он содержит SSMы. Когда макроавтомат завершает работу после выполнения перехода за его границы, все в нем содержащиеся активные SSMы резервируются, какие бы автоматы в него ни входили. Конечные автоматы связываются при помощи обмена сигналами.

2.5. Основные принципы процесса разработки ПО, основанного на модели

Подытожим основные принципы разработки, базирующейся на модели, поддерживаемые SCADE (рис. 6):

- модель представляет собой требования к ПО: это основа всего проекта, модель построена на базе формальной нотации;
- документация автоматически и напрямую генерируется на основании данной модели, является корректной и своевременной в отношении к данной конструкции;
- модель может выполняться симуляцией;

- методики формального доказательства могут непосредственно применяться к модели с целью обнаружения краевых ошибок либо для подтверждения свойств безопасности;
- код автоматически и напрямую генерируется на основе модели с подходящим автоматическим кодогенератором (KCG): код является корректным и своевременным по отношению к текущей конфигурации. Среда разработки строится на основе следующих «золотых правил»:
- использовать уникальные, точные спецификации;
- выполнять каждую операцию единожды, не редактировать описания от одного этапа к другому; например, между архитектурой ПО и системным проектом ПО либо между модульным проектом и кодом;
- выполнять изменения правильно с первого раза: среда распознает ошибки на ранних стадиях и /или выдает сообщения «корректно в соответствии с конструкцией».

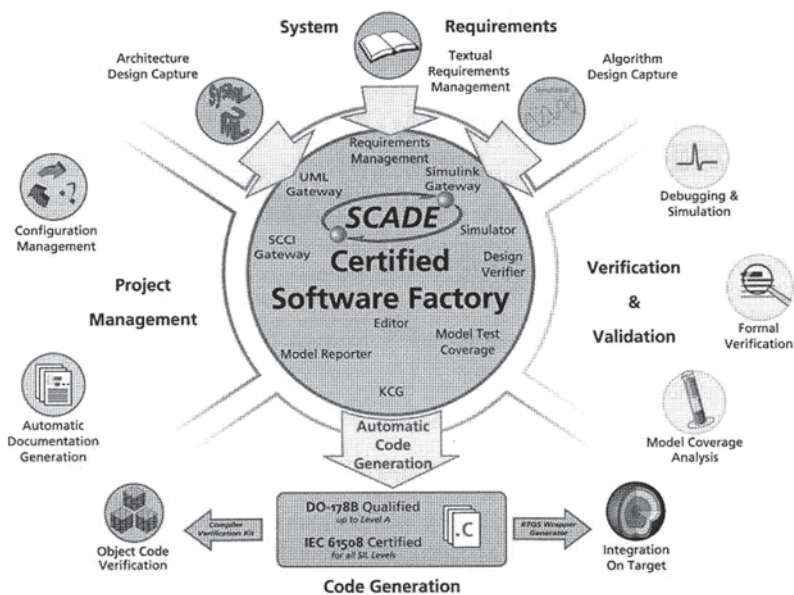


Рис. 6. Разработка ПО, основанная на модели

3. ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЛЕКСА SCADE В ОАО «НИИАС»

К настоящему времени в ОАО «НИИАС» при работе в среде SCADE был накоплен определенный опыт, был содан проект ячейки МП-АЛС, предназначенной для приема и декодирования сигналов АЛСН/АЛС-ЕН из рельсовой цепи. Ниже будут изложены основные шаги применения комплекса SCADE в этой разработке.

3.1. Создание модели

На первом этапе в среде SCADE была создана модель ПО данной ячейки в части приема и декодирования сигнала АЛСН, блоки первого уровня которой показаны на рис. 7.

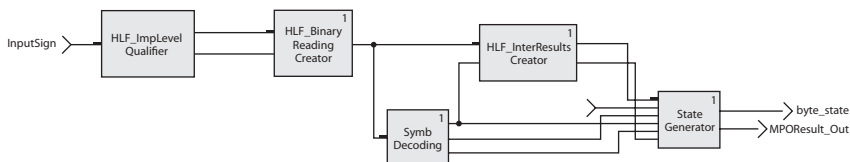


Рис. 7. Верхний уровень модели ПО ячейки МП-АЛС

На рис. 7 прямоугольниками показаны блоки (операторы, узлы) SCADE-модели, стрелками показаны входные и выходные потоки данных модели, линиями показаны потоки данных между выходами одних операторов и входами других. Каждому входному и выходному потоку данных, а также каждому входу и выходу операторов ставится в соответствие определенный тип данных. При выполнении модели каждый оператор, завершая свою работу, передает на каждый свой выход соответствующие выходные данные, которые автоматически поступают на вход следующего оператора в соответствии с заданным потоком данных. Оператор начинает исполняться только в тот момент, когда на все его входы будут поданы установленные наборы данных (требуемый набор данных определяется типом входа).

Кратко приведем особенности работы ПО данной ячейки. На вход ячейки подается кодовый сигнал АЛСН (вход InputSign), считываемый с выходов приемных катушек локомотива. Блок HLF_ImpLevelQualifier определяет уровень амплитуд нормальных импульсов в поступившем на вход фрагменте сигнала АЛСН, накопленном за период времени, равный продолжительности кодового цикла. Блок HLF_BinaryReadingCreator на основании вычисленных блоком HLF_ImpLevelQualifier значений определяет плавающий порог различения импульсов и интервалов и формирует отсчеты двоичной огибающей (т.е. последовательности импульсов и интервалов) принятого сигнала АЛСН. Блок SymbDecoding на основании полученного на вход фрагмента двоичной огибающей выделяет и декодирует содержащийся в нем кодовый цикл АЛСН методом подсчета числа символов (импульсов и интервалов). Блок HLF_InterResultsCreator по аналогии с блоком SymbDecoding выделяет и дешифрует кодовый цикл в полученном фрагменте двоичной огибающей, но не поэлементным, а кластерным методом на основании подсчета расстояний с заданным набором шаблонов. Наконец, блок StateGenerator получает на вход и сравнивает результаты дешифрации кодовых комбинаций, полученные поэлементным и кластерным методами, с результатом дешифрации той же кодовой комбинации, полученным от другого канала ячейки МП-АЛС (вход MPO_Result), принимает решение о записи полученного результата в буфер основных результатов дешифрации. Затем принимается итоговое решение о текущем состоянии локомотивного светофора на основе анализа буфера последних четырех основных результатов дешифрации (выход byte_state).

3.2. Симуляция и отладка

На втором этапе разработки были проведены отладка и симуляция SCADE-модели МП-АЛС. Данный режим позволяет провести симуляцию каждого выделенного узла модели в отдельности, запуская на выполнение определенный тестовый сценарий, содержащий все входные данные для

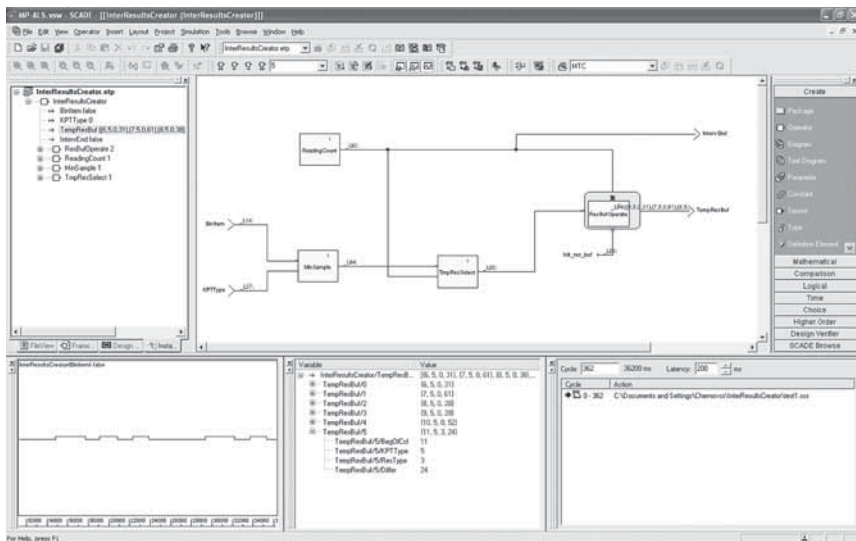


Рис. 8. Окно симулятора комплекса SCADA

выделенного модуля. На рис. 8 показано окно симуляции для одного из узлов модели ПО МП-АЛС, а на рис. 9 – листинг, содержащий все результаты симуляции в пошаговом режиме.

В основном поле окна раскрыт один оператор 1-го уровня модели. Над дугами, соединяющими выходы и входы операторов модели, подписаны типы потоков данных, а также текущие на данном шаге симуляции значения выходных параметров. Снизу в самом левом окне показана динамика изменения входных данных (данное окно предназначено для отображения графиков динамики изменения любой доступной переменной модели в процессе симуляции). В среднем окне снизу показаны текущие значения переменных в текстовом виде (в данном случае раскрыт массив текущих значений). Справа снизу показана информация, относящаяся к номеру текущего шага симуляции, продолжительности модельного шага в реальных единицах времени и об автоматизированном или ручном исполнении данной серии шагов.

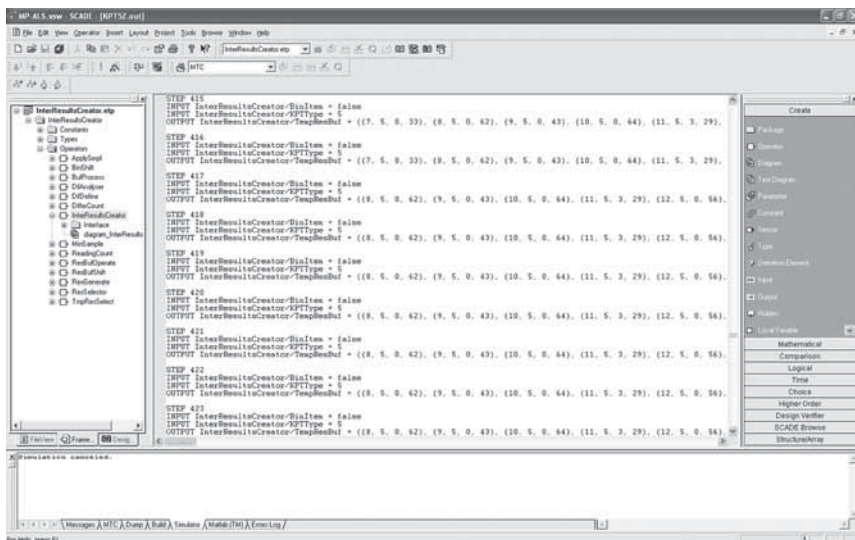


Рис. 9. Результаты симуляции модели ПО в пошаговом режиме

3.3. Анализ тестового покрытия

На третьем этапе был проведен анализ тестового покрытия модели тестовым сценарием, разработанным на базе требований к ПО высокого уровня, с использованием инструмента SCAD MTS. Целью данного измерения является определение того, насколько всесторонне была смоделирована модель. Покрывающий критерий основывается на данных наблюдения свойств активации операторов.

Выделяется три этапа использования MTS:

- получение покрытия модели: запускаются варианты тестов в симуляторе и во время их исполнения измеряются покрытия каждого оператора;
- анализ покрытия модели: идентифицируются операторы модели, которые не были полностью покрыты;
- предложения по результатам анализа покрытия модели: добавляются варианты испытаний, либо предлагаются разъяснения, или необходимые настройки для каждого оператора, который не был полностью покрыт. Настройки могут описываться в требованиях высокого уровня либо в модели ПО.

Окно инструмента SCAD MTS показано на рис. 10.

процесса разработки. Тем не менее, задача автоматизированного проектирования ПО с заданными вероятностными показателями качества является крайне актуальной и подход, развиваемый в настоящее время в ОАО «НИИАС», может считаться перспективным.

Отметим также, что применение среды автоматизированной разработки SCADe, включающей сертифицированный автоматический кодогенератор, позволяет выполнять действующие требования стандартов в области ответственного ПО и упрощает некоторые последующие стадии анализа качества. Нельзя также не отметить общие преимущества данной среды, повышающие качество разработки.

Вместе с тем на настоящий момент не полностью решена проблема учета влияния человеческого фактора (т.е. семантических ошибок коллектива разработчиков) на качество разработки. В этой связи важным является развитие представленного инструментария в части исследования эвристических методов ассистирования при проектировании, а также коллективных работ по доказательству эффективности предлагаемых методов. В целом, эффективность использования комплекса SCADe в процессе разработки ответственных программных продуктов повышается при условии интеграции его со средами, позволяющими осуществлять численную оценку показателей надежности программно-аппаратных комплексов, а также альтернативными средствами построения систем автоматизации, что в итоге позволит создавать ПО с количественно заданным уровнем интенсивности опасных отказов.

УДК 621.391

Вериго А.М., Алмазян К.К., Кнышев И.П.

Надежность каналов поездной радиосвязи

Ключевые слова:*поездная радиосвязь, надежность, резервирование, высоконадежные радиостанции.*

На железнодорожном транспорте управление движением поездов осуществляется поездным диспетчером (ДНЦ) с использованием системы поездной радиосвязи (ПРС). Кроме традиционного гектометрового диапазона с направляющими волноводными системами, ПРС реализуется в метровом и дециметровом диапазонах с использованием стационарных антенн. Система ПРС представляет собой линейную структуру, содержащую стационарные радиостанции (РС), установленные, как правило, в помещении дежурного по станции (ДСП) и связанные проводным каналом с распределительной станцией ДНЦ, а также возимые радиостанции (РВ), установленные в кабинах локомотивов или других подвижных единиц. В системе управления движением с использованием ПРС помимо связи ДНЦ – машинист локомотива (ТЧМ) обеспечивается также связь ДСП – ТЧМ.

К числу важнейших характеристик канала связи относится его надежность, которая оценивается рядом параметров: интенсивностью отказов λ , временем наработки на отказ T_0 , интенсивностью восстановления μ и др. Определим параметры надежности каналов ПРС, в которых используются стационарные антенны с определенными зонами покрытия.

При определении надежности будем исходить из следующих предположений.

1. Аппаратура работает на этапе нормальной эксплуатации, когда интенсивность отказов радиостанций не изменяется во времени – $\lambda(t) = \lambda_0 = \text{const}$.

2. В системе осуществляется ремонт радиостанций, причем отказ и восстановление отдельных элементов системы (радиостанций) – независимые случайные события.
3. Время восстановления отказавшей радиостанции $t_{\text{вос}}$ намного меньше времени наработки на отказ T_0 и интенсивность восстановления $\mu = 1/t_{\text{вос}}$ – величина постоянная.
4. Радиостанции характеризуются: интенсивностью отказов $\lambda_{\text{ОРС}}$ – у стационарных, $\lambda_{\text{ОРВ}}$ – у локомотивных; временем наработки на отказ $T_{\text{ОРС}} = 1/\lambda_{\text{ОРС}}$ у стационарных, $T_{\text{ОРВ}} = 1/\lambda_{\text{ОРВ}}$ у локомотивных; коэффициентом готовности $K_{\text{готРС}} = T_{\text{ОРС}}/(T_{\text{ОРС}} + t_{\text{вос}})$ – у стационарных, $K_{\text{готРВ}} = T_{\text{ОРВ}}/(T_{\text{ОРВ}} + t_{\text{вос}})$ – у локомотивных.

Надежность канала связи ДНЦ – ТЧМ

Надежность канала связи ДНЦ – ТЧМ определяется совокупной надежностью проводного и радиоканалов. Использование высоконадежной цифровой техники, волоконно-оптических кабелей связи, аппаратурного резервирования, кольцевых схем связи обеспечивает высокую надежность проводных каналов связи ($K_{\text{гот}} = 0,999 \dots 0,9999$). Это означает, что в системе ПРС с радиостанциями, имеющими время наработки на отказ 3–5 тыс. ч, и временем восстановления отказавшей радиостанции $t_{\text{вос}} = 2\text{--}5$ ч надежность связи практически полностью определяется надежностью радиоканала. Переоснащение ПРС новыми, высоконадежными радиостанциями (типа РВС-1) должно изменить это соотношение.

Будем рассматривать условный диспетчерский участок (рис. 1), содержащий N стационарных радиостанций. Эти радиостанции связаны проводным каналом с распорядительной станцией ДНЦ. Радиосвязь ДНЦ – ТЧМ должна обеспечиваться при нахождении локомотива на любом перегоне и в любой точке перегона. На рис. 1 показано изменение уровней сигналов на перегонах до минимально допустимого $u_{\text{мин}}$, причем на некоторых перегонах (второй, i -й) связь между одной из РС, ограничивающих перегон, и РВ обеспечивается только на части перегона (неполное перекрытие

зон связи). При полном перекрытии перегона (например, первый на рис. 1) связь ДНЦ – ТЧМ обеспечивается даже при отказе одной из стационарных радиостанций, ограничивающих перегон. Тем самым в канале радиосвязи ДНЦ – ТЧМ имеет место взаимное резервирование стационарных радиостанций. При частичном перекрытии перегона такое резервирование имеет место только на части перегона (интервал r_{2i} на i -м перегоне). Ситуация с неполным перекрытием может возникнуть на длинных перегонах, при наличии закрытых станций, на которых установлены стационарные радиостанции с вынесенным пультом управления ДСП, или с отменой дежурств ДСП.

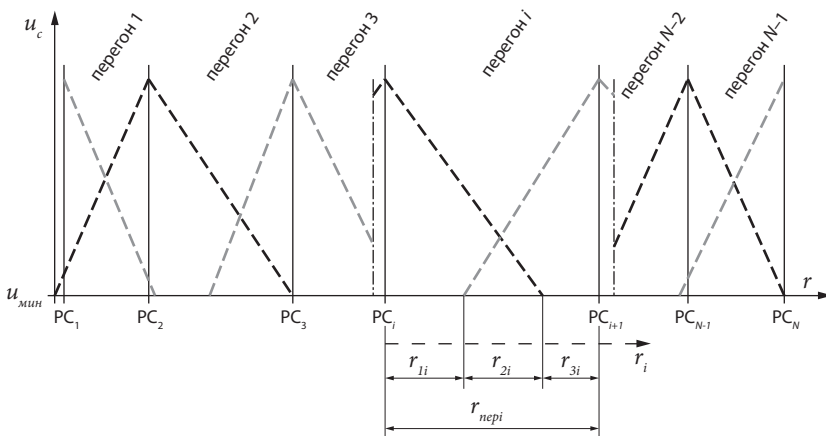


Рис. 1

В общем случае стационарные радиостанции диспетчерского участка могут иметь различные значения интенсивностей отказов λ_{0j} , интенсивностей восстановления μ_j и коэффициентов готовности $K_{\text{готPC}j}$, $j \in \{1, 2, \dots, N\}$.

Как следует из рис. 1, на i -м перегоне на участке r_{1i} интенсивность отказов канала радиосвязи за счет стационарной радиостанции определяется только PC_i и равна $\lambda_{\text{отPC}i}$, на участке r_{3i} – только PC_{i+1} и равна $\lambda_{\text{отPC}(i+1)}$, а на участке r_{2i} , благодаря эффекту резервирования, интенсивность отказов равна

$$\lambda_{2i} = \mu_{2i} (1 - K_{\text{отPC}i})(1 - K_{\text{отPC}(i+1)}),$$

где интенсивность восстановления $\mu_{2i} = \mu_i + \mu_{i+1}$. Аналогично на участке r_{1i} коэффициент готовности равен $K_{\text{готPCi}}$ на участке $r_{3i} - K_{\text{готPC}(i+1)}$ и на участке r_{2i}

$$K_{\text{гот}2i} = [1 - (1 - K_{\text{готPCi}})(1 - K_{\text{готPC}(i+1)})].$$

При определении параметров надежности на перегоне необходимо учитывать разный вклад от участков с перекрытием и без него. Для этого будем использовать весовые коэффициенты, пропорциональные длинам участков: $p_{1i} = r_{1i}/r_{\text{пер}i}$, $p_{2i} = r_{2i}/r_{\text{пер}i}$ и $p_{3i} = r_{3i}/r_{\text{пер}i}$, причем $p_{1i} + p_{2i} + p_{3i} = 1$. Тогда интенсивность отказов канала радиосвязи за счет стационарных радиостанций и коэффициент готовности на i -м перегоне будут равны:

$$\lambda_i = p_{1i}\lambda_{\text{оPCi}} + p_{2i}\lambda_{2i} + p_{3i}\lambda_{\text{оPC}(i+1)}, \quad (1)$$

$$K_{\text{гот}i} = 1 - p_{1i}(1 - K_{\text{готPCi}}) - p_{2i}(1 - K_{\text{готPC}(i+1)}) - p_{3i}(1 - K_{\text{готPCi}})(1 - K_{\text{готPC}(i+1)}). \quad (2)$$

Если на j -м перегоне обеспечено полное перекрытие, то $p_{2j} = 1$, $p_{1j} = p_{3j} = 0$, и

$$\lambda_j = \mu_{2j}(1 - K_{\text{готPCj}})(1 - K_{\text{готPC}(j+1)}), \quad (3)$$

$$K_{\text{гот}j} = 1 - (1 - K_{\text{готPCi}})(1 - K_{\text{готPC}(i+1)}). \quad (4)$$

Радиосвязь ДНЦ – ТЧМ должна быть обеспечена в любой точке диспетчерского участка, поэтому надежностная схема ПРС имеет вид, показанный на рис. 2.

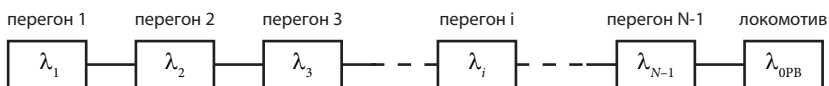


Рис. 2

В соответствии с этой схемой интенсивность отказов и коэффициент готовности радиоканала ДНЦ будут равны:

$$\lambda_{\text{ДНЦ}} = \sum_{i=1}^{N-1} \lambda_i + \lambda_{\text{оPB}}, \quad (5)$$

$$K_{\text{готДНЦ}} = 1 - \left[\sum_{i=1}^{N-1} (1 - K_{\text{гот}i}) \right] - (1 - K_{\text{готPB}}), \quad (6)$$

а время наработки на отказ радиоканала $T_{\text{оДНЦ}} = 1/\lambda_{\text{ДНЦ}}$.

В проводной канал ПРС, как правило, включают радиостанции одного типа, поэтому $\lambda_{\text{орси}} = \lambda_{\text{орс}}$, $\mu_i = \mu_0$ и $K_{\text{горси}} = K_{\text{горс}}$ при любом $i \in \{1, 2, \dots, N\}$. Тогда из (1) и (2) получаем:

$$\begin{aligned} \lambda_i &= (p_{1i} + p_{3i})\lambda_{\text{орс}} + p_{2i}\lambda_{2i}, \\ K_{\text{горси}} &= 1 - (p_{1i} + p_{3i})(1 - K_{\text{горс}}) - p_{2i}(1 - K_{\text{горс}})^2, \\ \text{где } \lambda_{2i} &= 2\mu_0(1 - K_{\text{горс}})^2. \end{aligned}$$

Если на j -м перегоне обеспечено полное перекрытие, то

$$\begin{aligned} \lambda_j &= 2\mu_0(1 - K_{\text{горс}})^2, \\ K_{\text{горс}} &= 1 - (1 - K_{\text{горс}})^2. \end{aligned}$$

Если на диспетчерском участке на n перегонах обеспечено полное перекрытие, а на $(N - n - 1)$ перегонах – частичное, то выражения (5) и (6) преобразуются к виду:

$$\lambda_{\text{ДНЦ}} = n2\mu_0(1 - K_{\text{горс}})^2 + \sum_{m=1}^{N-n-1} \lambda_m + \lambda_{\text{орс}}, \quad (7)$$

$$K_{\text{горс}} = 1 - (1 - K_{\text{горс}}) - n(1 - K_{\text{горс}})^2 - \sum_{m=1}^{N-n-1} (1 - K_{\text{горс}}). \quad (8)$$

В соответствии с Правилами технической эксплуатации железных дорог (п. 6.42) радиосвязь ДСП – ГЧМ должна быть обеспечена на всем перегоне, примыкающем к станции. Это приводит к полному перекрытию зон связи на всех перегонах диспетчерского участка. В этом случае обеспечивается, при использовании тех же радиостанций, наибольшая надежность связи и тогда выражения (7) и (8) преобразуются к виду:

$$\lambda_{\text{ДНЦ}} = (N - 1)2\mu_0(1 - K_{\text{горс}})^2 + \lambda_{\text{орс}}, \quad (9)$$

$$K_{\text{горс}} = 1 - (1 - K_{\text{горс}}) - (N - 1)(1 - K_{\text{горс}})^2. \quad (10)$$

В качестве примера рассчитаем надежность канала радиосвязи ДНЦ, содержащего $N=30$ стационарных радиостанций типа РС-46М с наработкой на отказ $T_{\text{орс}}=7000$ ч ($\lambda_{\text{орс}}=1,42857 \cdot 10^{-4}$ 1/ч) и возимые радиостанции РВ-1М с наработкой на отказ $T_{\text{орс}}=8000$ ч ($\lambda_{\text{орс}}=1,25 \cdot 10^{-4}$ 1/ч). Расчеты произведем при нескольких значениях времени восстановления $t_{\text{вос}}$, одинакового для

всех радиостанций. Исходные данные и результаты расчетов по формулам (9) и (10) приведены в табл. 1. Там же приведены значения времени наработки на отказ канала радиосвязи ДНЦ $T_{\text{однц}} = 1/\lambda_{\text{днц}}$.

Как следует из результатов расчетов, благодаря взаимному резервированию стационарных радиостанций надежность канала радиосвязи практически полностью определяется надежностью локомотивной радиостанции.

Таблица 1

	$t_{\text{вос}}, \text{ч}$	0,5	2	5	10
	$\mu_0, 1/\text{ч}$	2	0,5	0,2	0,1
$T_{\text{орс}}=7000 \text{ ч}$	$K_{\text{горс}}$	0,9999285	0,999714	0,999286	0,998573
$T_{\text{орв}}=8000 \text{ ч}$	$K_{\text{горв}}$	0,9999375	0,999750	0,999375	0,998750
	$\lambda_j, 1/\text{ч}$	$2,04489 \cdot 10^{-8}$	$8,1796 \cdot 10^{-8}$	$2,0392 \cdot 10^{-7}$	$4,072 \cdot 10^{-7}$
	$K_{\text{горj}}$	$1-5,112 \cdot 10^{-9}$	$1-8,179 \cdot 10^{-8}$	$1-5,098 \cdot 10^{-7}$	$1-2,036 \cdot 10^{-6}$
	$\lambda_{\text{днц}}, 1/\text{ч}$	$1,2559 \cdot 10^{-4}$	$1,2737 \cdot 10^{-4}$	$1,309 \cdot 10^{-4}$	$1,368 \cdot 10^{-4}$
	$T_{\text{однц}}, \text{ч}$	7962	7851	7639	7310
	$K_{\text{горднц}}$	0,99993735	0,9997476	0,9993602	0,998691

При использовании на локомотивах высоконадежных радиостанций РВС-1, имеющих время наработки на отказ $T_{\text{орвс}} = 45\,000 \text{ ч}$ ($\lambda_{\text{орвс}} = 2,2(2) \cdot 10^{-5} \text{ 1/ч}$), надежность канала радиосвязи существенно повышается. В табл. 2 приведены параметры такого канала, рассчитанные по формулам (9) и (10), когда в качестве стационарных радиостанций по-прежнему используются РС-46М.

В качестве второго примера рассмотрим случай, когда на таком же диспетчерском участке имеется длинный перегон с неполным перекрытием и $n = 28$ перегонов с полным перекрытием. Для упрощения выражений будем считать, что каждая из стационарных радиостанций, ограничивающих перегон с неполным перекрытием, обеспечивает связь только до середины перегона. Тогда весовые коэффициенты будут равны – $p_1=p_3=0,5$ и $p_2=0$, а выражения (7) и (8) примут вид:

$$\lambda_{\text{днц}} = 56\mu_0(1 - K_{\text{горс}})^2 + \lambda_{\text{орс}} + \lambda_{\text{орв}}, \quad (11)$$

$$K_{\text{готДНЦ}} = 1 - (1 - K_{\text{готРВ}}) - 28(1 - K_{\text{готРС}})^2 - (1 - K_{\text{готРС}}). \quad (12)$$

Таблица 2

	$t_{\text{вос}}, \text{ч}$	0,5	2	5	10
$T_{\text{ОРБС}}=45000 \text{ ч}$	$K_{\text{готРВС}}$	0,9999889	0,9999556	0,999889	0,999778
	$\lambda_{\text{ДНЦ}}, 1/\text{ч}$	$2,2812 \cdot 10^{-5}$	$2,4594 \cdot 10^{-5}$	$2,8135 \cdot 10^{-5}$	$3,403 \cdot 10^{-5}$
	$T_{\text{однц}}, \text{ч}$	43836	40660	35543	29396
	$K_{\text{готДНЦ}}$	0,99998875	0,9999323	0,999742	0,999189

Результаты расчетов по формулам (9) и (10), с использованием исходных данных табл.1, приведены в табл. 3.

Сопоставление результатов из табл. 1 и 3 показывает, что наличие даже одного перегона с неполным перекрытием приводит к существенному снижению надежностных показателей канала радиосвязи ДНЦ – ТЧМ.

Таблица 3

$t_{\text{вос}}, \text{ч}$	0,5	2	5	10
$\lambda_{\text{ДНЦ}}, 1/\text{ч}$	$2,2528 \cdot 10^{-4}$	$2,2612 \cdot 10^{-4}$	$2,278 \cdot 10^{-4}$	$2,305 \cdot 10^{-4}$
$T_{\text{однц}}, \text{ч}$	4439	4422	4389	4338
$K_{\text{готДНЦ}}$	0,9998874	0,99954888	0,998868	0,997723

Надежность канала связи ДСП – ТЧМ

Канал связи ДСП – ТЧМ находится в работоспособном состоянии, если исправны обе радиостанции – РС и РВ.

Надежностная схема канала имеет вид, показанный на рис. 3, а.

В соответствии со схемой интенсивность отказов $\lambda_{\text{ДСП}}$, время наработки на отказ $T_{\text{одСП}}$ и коэффициент готовности $K_{\text{готДСП}}$ канала связи ДСП – ТЧМ будут равны:

$$\lambda_{\text{ДСП}} = \lambda_{\text{ОРС}} + \lambda_{\text{ОРВ}}, T_{\text{одСП}} = 1/\lambda_{\text{ДСП}}, K_{\text{готДСП}} = 1 - (1 - K_{\text{готРС}}) - (1 - K_{\text{готРВ}}).$$

Используя исходных данные радиостанций РС-46М и РВ-1М, получим:

$$\lambda_{\text{ДСП}} = 2,67857 \cdot 10^{-4} 1/\text{ч}, T_{\text{одСП}} = 3733 \text{ ч}.$$



Рис. 3

Результаты расчетов коэффициента готовности радиоканала ДСП – ТЧМ по исходным данным, взятым из табл. 1, приведены в табл. 4.

Сопоставив результаты из табл. 1 и 4, можно сделать вывод, что надежность канала радиосвязи ДСП – ТЧМ существенно ниже надежности канала ДНЦ – ТЧМ.

Использование высоконадежной локомотивной радиостанции РВС-1 улучшает надежностные параметры радиоканала, которые становятся равны:

$$\lambda_{ДСП} = 1,4722 \cdot 10^{-4} \text{ 1/ч}, T_{0ДСП} = 6792 \text{ ч.}$$

Значения коэффициента готовности канала с РВС-1 приведены в табл. 4. Как видно из результатов расчетов, улучшение параметров не столь существенно, как в канале ДНЦ – ТЧМ.

Эффективным способом повышения надежности радиоканала ДСП – ТЧМ является резервирование стационарной радиостанции РС у ДСП. Надежностная схема канала в этом случае имеет вид, показанный на рис. 3, б. В случае «горячего» резервирования надежностные параметры радиоканала определяются выражениями:

$$\lambda_{ДСПр} = 2\mu_0(1 - K_{гор1})(1 - K_{гор2}) + \lambda_{0PB}, T_{0ДСПр} = 1/\lambda_{ДСПр},$$

$$K_{горДСПр} = 1 - (1 - K_{гор1})(1 - K_{гор2}) - (1 - K_{горPB}).$$

Резервная радиостанция может не включаться в проводной канал ДНЦ и тогда не будет влиять на надежностные параметры его радиоканала. Если в качестве основной и резервной радиостанций используются РС-46М, а в качестве локомотивной – РВ-1М, то получим радиоканал с параметрами, приведенными в табл. 5. При этом $K_{гор1} = K_{гор2} = K_{горPC} = T_{0PC}/(T_{0PC} + t_{вос})$. Введение резервирования РС повысило надежность канала радиосвязи ДСП

Таблица 4

	$t_{\text{вос}}^3$ час.	0,5	2	5	10
$T_{\text{ОРС}}=7000$ ч	$K_{\text{горРС}}$	0,9999285	0,999714	0,999286	0,998573
$T_{\text{ОРБ}}=8000$ ч	$K_{\text{горРБ}}$	0,9999375	0,999750	0,999375	0,998750
	$K_{\text{горДСП}}$	0,999866	0,999464	0,998661	0,99733
$T_{\text{ОРБС}}=45000$ ч	$K_{\text{горРБС}}$	0,9999889	0,9999556	0,999889	0,999778
	$K_{\text{горДСП}}$	0,9999174	0,999669	0,999175	0,99835

Таблица 5

	$t_{\text{вос}}^3$ ч	0,5	2	5	10
	$\mu_{\text{р}}^3$ 1/ч	2	0,5	0,2	0,1
$T_{\text{ОРС}}=7000$ ч	$K_{\text{горРС}}$	0,9999285	0,999714	0,999286	0,998573
$T_{\text{ОРБ}}=8000$ ч	$K_{\text{горРБ}}$	0,9999375	0,999750	0,999375	0,998750
	$\lambda_{\text{ДСПр}}^3$ 1/ч	$1,2502 \cdot 10^{-4}$	$1,2508 \cdot 10^{-4}$	$1,252 \cdot 10^{-4}$	$1,2541 \cdot 10^{-4}$
	$T_{\text{одДСПр}}^3$ ч	7 999	7 995	7 987	7 974
	$K_{\text{горДСПр}}$	0,99993749	0,9997499	0,9993745	0,998748

Таблица 6

	$t_{\text{вос}}^3$ ч	0,5	2	5	10
$T_{\text{ОРБС}}=45000$ ч	$K_{\text{горРБС}}$	0,9999889	0,9999556	0,999889	0,999778
	$\lambda_{\text{ДСПр}}^3$ 1/ч	$2,2243 \cdot 10^{-5}$	$2,23039 \cdot 10^{-5}$	$2,2423 \cdot 10^{-5}$	$2,2632 \cdot 10^{-5}$
	$T_{\text{одДСПр}}^3$ ч	44 958	44 825	44 597	44 185
	$K_{\text{горДСПр}}$	0,99998888	0,9999554	0,999888	0,9997737

так, что она практически полностью определяется надежностью локомотивной радиостанции.

Использование в качестве локомотивной радиостанции РВС-1 в этом случае существенно повышает надежность канала связи. Параметры такого канала приведены в табл. 6.

Заключение

Получены выражения ((5), (6) и последующие), позволяющие рассчитать вероятностные параметры радиоканалов ПРС в условиях полного и частичного перекрытия зон связи на перегонах.

Благодаря созданию эффекта резервирования стационарных радиостанций при полном перекрытии зон связи на перегонах, надежность связи радиоканала ДНЦ – ТЧМ практически полностью определяется надежностью локомотивной радиостанции и значительно выше надежности радиоканала ДСП – ТЧМ.

Наличие даже одного перегона с неполным перекрытием приводит к существенному снижению надежностных параметров канала ДНЦ – ТЧМ.

При поэтапном введении новых высоконадежных радиостанций (типа РВС-1) ими необходимо оборудовать, в первую очередь, магистральные (поездные) локомотивы и электропоезда. Это обеспечит существенное увеличение надежности радиоканала ДНЦ – ТЧМ при существующих стационарных радиостанциях.

Переход на высоконадежные радиостанции и наличие эффекта резервирования в структуре радиоканала ПРС приводит к существенному увеличению надежности радиоканала (см. табл. 2), которая становится сравнимой или выше надежности проводного канала. В этих условиях дальнейшее повышение надежности поездной радиосвязи может быть получено переходом на цифровые принципы построения системы управления радиостанциями и ПРС в целом.

Эффективное увеличение надежности радиоканала ДСП – ТЧМ возможно путем резервирования стационарной радиостанции. При этом резервная РС может использоваться без подключения к проводному каналу ДНЦ. Такое включение резервной РС не изменяет надежностных параметров радиоканала ДНЦ – ТЧМ. На станциях, ограничивающих перегон с неполным перекрытием, резервные стационарные радиостанции целесообразно включать в проводной канал для повышения надежности канала связи ДНЦ – ТЧМ.

УДК 621.391

Андрушко О.С.

Радиопроводный канал передачи информационно-управляющих сигналов

Ключевые слова:

*радиопроводный канал, информационно-управляющий сигнал,
система модернизированной поездной радиосвязи.*

Информационный обмен по радиоканалу между стационарными и бортовыми устройствами многофункциональных систем регулирования движения поездов согласно российской концепции повышения безопасности движения предусматривается организовать с помощью радиостанций передачи данных диапазона 160 МГц, сотовых систем GSM-R (GSM) в диапазоне 900 МГц и систем широкополосного беспроводного доступа в диапазоне частот 2–11 ГГц. В то время как в странах Европы развивается система автоматического управления движением поездов только с использованием цифровой системы поездной радиосвязи Европейского железнодорожного стандарта GSM-R.

Для российских железных дорог второй и ниже категорий целесообразно рассмотреть возможность организации радиопроводного канала передачи информационно-управляющих сигналов в системе модернизированной поездной радиосвязи. Модернизация заключается в переходе в радиопроводном канале поездной радиосвязи от аналогового способа обмена сигналами к цифровому. Что касается проводного канала поездной радиосвязи, то в настоящее время на ряде дорог ведется работа по переключению цифрового проводного канала с сетей с коммутацией каналов на сети с коммутацией пакетов. Что касается радиоканала поездной радиосвязи, то к настоящему времени разработан новый стандарт цифровой конвенциональной профессиональной радиосвязи – DMR (Digital Mobil Radio). Он

разработан Европейским институтом телекоммуникационных стандартов (ETSI) как единый общеевропейский открытый стандарт цифровой радиосвязи. В стандарте DMR в рамках существующих лицензированных каналов диапазона частот от 151,725 до 156,000 МГц на каждой несущей предполагается организовать два временных канала. Один временной канал можно использовать для передачи речевого трафика, а другой – для передачи данных, сигнальных сообщений или управляющих команд.

Основные параметры цифровой радиосвязи стандарта DMR, в сравнении с параметрами других цифровых стандартов, а также с параметрами действующего на сети дорог аналогового ведомственного стандарта приведены в табл. 1. Из таблицы следует, что в железнодорожном диапазоне частот в цифровом режиме могут работать две системы подвижной радиосвязи DMR и APCO-25. Однако система подвижной радиосвязи APCO-25 предназначена для служебной оперативной связи, в основном, в силовых структурах. В ней делается упор на повышенную криптографическую защиту передаваемой информации, что не требуется для функционирования поездной радиосвязи. Таким образом, из открытых систем подвижной радиосвязи для использования в системе модернизированной поездной радиосвязи может быть использован стандарт DMR.

Технология цифровой радиосвязи, применяемая в стандарте DMR, поясняется на рис. 1. Голосовой сигнал диспетчера дискретизируется в аналого-цифровом преобразователе и сжимается в речевом вокодере. При цикловой синхронизации речевой сигнал преобразуют в пакеты, содержащие заголовок и полезную нагрузку. Один таймслот предназначен для передачи речевых сигналов поездного диспетчера, а другой – для передачи данных.

При использовании протокола с временным разделением каналов радиостанция осуществляет передачу лишь в своем временном слоте (т.е. передает пакет информации и находится в режиме ожидания, а затем передает следующий пакет информации). На рис. 2 приводятся временные параметры таймслотов, применяемых в стандарте DMR. Длительность одного таймслота, организующего логический канал, составляет 30 мс. Из них 22,5 мс отведены под полезную нагрузку, составляющую 216 бит, а 5 мс – под 48 синхронизирующих или сигнальных бит.

Таблица 1

Система подвижной радиосвязи	DMR	APCO-25	GSM-R	TETRA	CDMA	Действующая на сети дорог поездная радиосвязь
Вид сигналов	Цифровой					Аналоговый
Тип стандарта	Открытый международный	Условно открытый	Европейск. железнодорожный	Открытый между-народный	Открытый между-народный	Российский ведомственный
Тип системы	Конвенциональная	Транкинговая, конвенциональная	Сотовая	Транкинговая	Многостанционный доступ	Линейно-протяжённый
Диапазон рабочих частот, МГц	136 – 174 403 – 470 450 – 512	138 – 174 406 – 512 746 – 869	876 – 880 921 – 925	457.4 – 458.45 467.7 – 468.45	450 – 470 2000 – 2020	2.150 – 160
Разнос между каналами, кГц	25, 12.5	12.5, 6.25	45.0	25.0	—	25
Количество таймслотов на одной частоте	2	9	8	4	Кодовое расширение	1
Тип модуляции в радиоканале	Частотная с временным разделением каналов	4-уровневая частотная и фазовая	Частотная с временным разделением каналов	Частотная с временным разделением каналов	Шумоподобные сигналы	Частотно-фазовая
Пропускная способность речевого канала, кбит/с	2.0	9.6	13.0	7.2	9.6	300 – 3400 Гц
Пропускная способность канала передачи данных, кбит/с	2.0	9.6	9.6	28.8	153.0	1.2
Необходимость согласования частотного ресурса	нет	нет	да	да	да	нет
Возможность совместной работы аналоговых и цифровых радиостанций	да	да	нет	нет	нет	нет
Технология мониторинга	SNMP	SNMP	SNMP	SNMP	SNMP	Российская ведомственная
Ориентировочная стоимость оборудования, тыс.руб/км	400	5000	6000	5500	5500	300

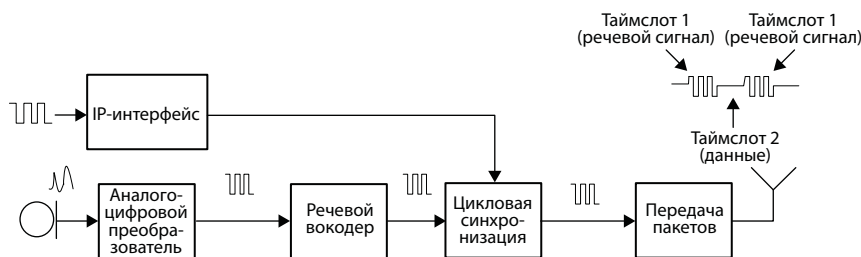


Рис. 1. Технология цифровой радиосвязи, применяемая в стандарте DMR

Защитный межинтервальный разнос между таймслотами равен 2,5 мс. Два таймслота составляют цикл. Канальная скорость передачи данных при использовании одного таймслота – около 2400 бит/с. При использовании для передачи данных обоих таймслотов скорость передачи данных возрастает до 4800 бит/с. С целью интеграции в систему передачи данных подключение радиостанции к внешним устройствам производится через порт USB. Для передачи данных может использоваться сетевой протокол UDP/IP v4. При передаче пакетных данных скорость передачи будет снижаться за счет заголовков IP-пакетов.

На рис. 3, заимствованном из статьи «DMR для решений конвенциональной связи» в журнале «Технологии и средства связи» № 6 за 2007 г., показаны преимущества цифровой технологии перед аналоговой в качестве речевого сигнала и в большем покрытии участка. Качество аналогового сигнала ухудшается линейно в пределах зоны покрытия, в то время как качество цифрового сигнала в той же зоне покрытия и на ее краях за счет защиты от ошибок имеет более постоянные характеристики.

В системе модернизированной поездной радиосвязи один из временных каналов (таймслотов) можно использовать для передачи информационно-управляющих сигналов систем регулирования движения поездов с помощью коротких сообщений, передаваемых в виде пакетов. Служба коротких сообщений – это своеобразный пейджинг с подтверждением получения сообщения. В канале для передачи информационно-управляющих сигналов можно передавать сигналы позиционирования поездов, оповещения ремонтных бригад о приближении поезда, оповещения о номере пути прибытия на станцию и ряд других.

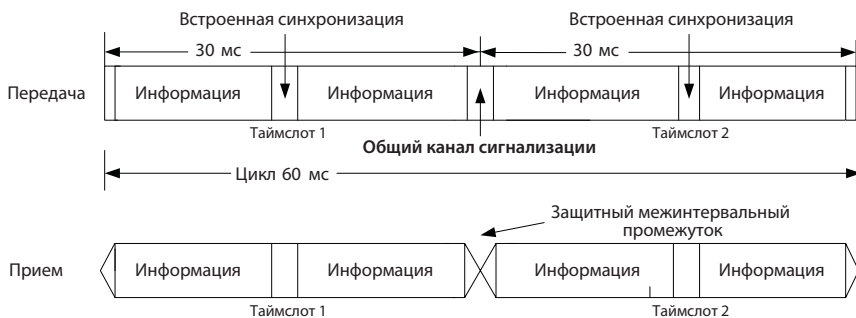


Рис. 2. Временные параметры таймслотов, применяемых в стандарте DMR

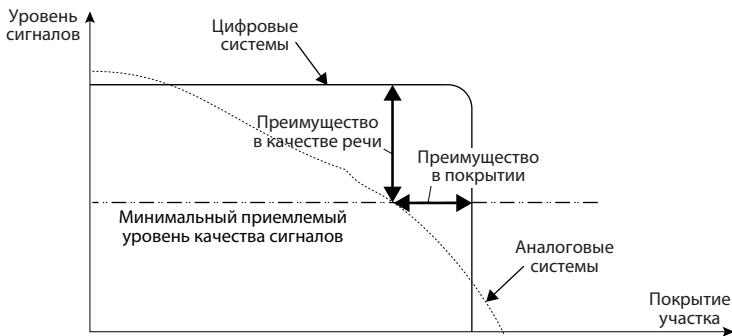


Рис. 3. Диаграмма сравнения качества речевого сигнала и радиопокрытия участка для аналоговой и цифровой DMR-технологий

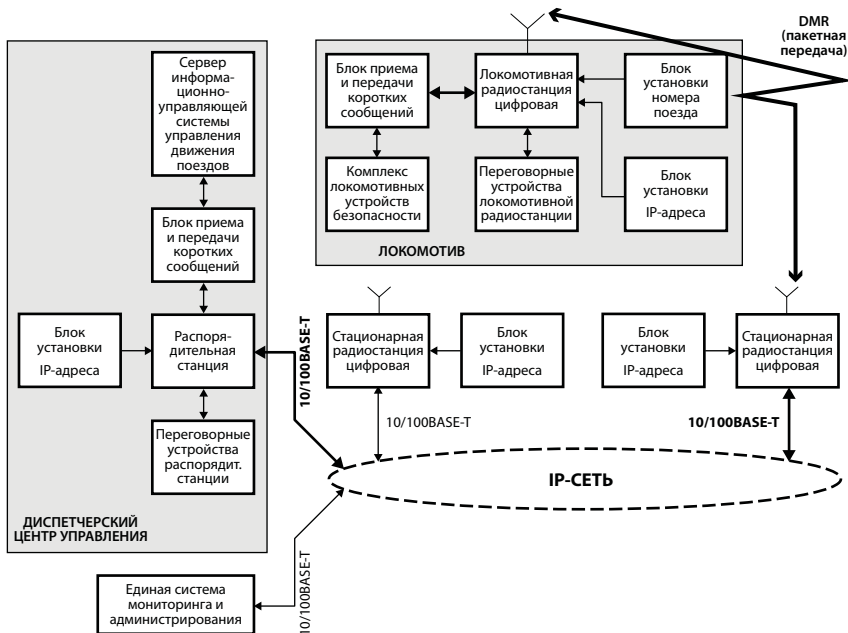


Рис. 4. Структурная схема цифрового радиопроводного канала передачи информационно-управляющих сигналов в системе поездной радиосвязи

Структурная схема цифрового радиопроводного канала передачи информационно-управляющих сигналов в системе поездной радиосвязи приведена на рис. 4. На поездном локомотиве локомотивная радиостанция со своими пере-

говорными устройствами дополнительно оснащается блоком приема и передачи коротких сообщений, блоком установки номера поезда и блоком установки IP-адреса данной локомотивной радиостанции. Стационарная радиостанция также оснащается блоком установки присвоенным ей IP-адресом. В диспетчерском центре распорядительная станция со своим переговорным устройством оснащается блоком приема и передачи коротких сообщений и блоком установки IP-адреса данной распорядительной станции. Информационный выход распорядительной станции через блок приема и передачи коротких сообщений соединен с входом сервера информационно-управляющей системы управления движением поездов. Утолщенными линиями на рис. 1 выделен путь прохождения данных между локомотивным радиооборудованием и сервером информационно-управляющей системы управления движением поездов.

Основные характеристики канала передачи данных на основе модернизированной поездной радиосвязи в диапазоне 160 МГц следующие:

- скорость передачи данных в канале – 2,4; 4,8 кбит/с;
- достоверность передачи информации (ошибка на бит) – не хуже 10⁻² на перегоне, 10⁻³ на станциях;
- время установления соединения – не более 0,5 с;
- ориентировочный средний объем передаваемых данных – 60 байт;
- период передачи данных от каждого локомотива и на каждый локомотив – 1 с.

Вывод: достоверный цифровой радиопроводный канал передачи информационно-управляющих сигналов для систем регулирования движения поездов может быть организован в системе модернизированной поездной радиосвязи на базе стандарта DMR и при использовании пакетной передачи данных как в линейном канале связи, так и в радиоканале.

*Системы
транспортной
безопасности*

УДК 652.052

Рязанов С.Н.

Критерии оценки мероприятий по обеспечению транспортной безопасности объектов железнодорожной транспортной инфраструктуры

Ключевые слова:

транспортная безопасность, террористические акты, объекты транспортной инфраструктуры.

Обеспечение транспортной безопасности является одной из приоритетных задач государства и общества. Ряд трагических событий, вызванных террористическими актами на железной дороге, в московском метрополитене, аэропортах, на остановках общественного транспорта, показал масштаб угроз и остроту проблемы обеспечения безопасности граждан в транспортной отрасли. В соответствии с Федеральным законом «О транспортной безопасности» от 9 февраля 2007 г. № 16-ФЗ значительная доля ответственности за обеспечение транспортной безопасности лежит на владельце (собственнике) объектов транспортной инфраструктуры и транспортных средств.

На рис. 1 укрупненно показана последовательность реализации основных мероприятий по обеспечению транспортной безопасности в соответствии с ФЗ №16 «О транспортной безопасности» применительно к железнодорожному транспорту общего пользования.

Таким образом, основные проблемы обеспечения транспортной безопасности со стороны ОАО «РЖД» связаны с разработкой и реализацией планов обеспечения транспортной безопасности на основе результатов категорирования и оценки уязвимости объектов транспортной инфраструктуры и транспортных средств. Ключевыми задачами в этом направлении являются создание эффективной организационно-технической системы обеспечения требуемого уровня защищенности объектов транс-

портной инфраструктуры (ОТИ) и транспортных средств (ТС) от актов незаконного вмешательства (АНВ), снижение рисков совершения АНВ и минимизация возможного ущерба.

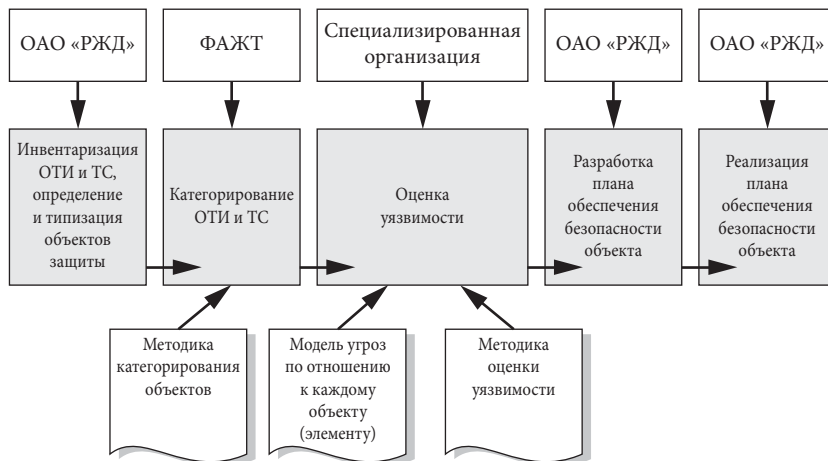


Рис. 1. Последовательность реализации основных мероприятий в соответствии с ФЗ №16 «О транспортной безопасности»

К особенностям железных дорог, как объекта защиты относятся:

- наличие большого количества разнородных объектов с существенно отличающимися принципами функционирования и требованиями к обеспечению транспортной безопасности: подвижной состав, вокзалы, пассажирские платформы, тяговые подстанции, посты централизации и автоблокировки, дома связи, ИВЦ, ДЦУП, склады, вагонные и локомотивные депо, административные здания, грузовые двory, контейнерные площадки и, наконец, собственно железнодорожные пути и искусственные сооружения (мосты, тоннели, путепроводы и т.д.);
- высокая интенсивность и скорость движения поездов на ряде участков, ограниченность времени для принятия решений в случае возникновения экстренной ситуации;
- прохождение дорог по территориям ряда субъектов РФ с большой плотностью населения, а также наличие множества населенных пун-

ктов и дачных массивов, расположенных в непосредственной близости от полосы отвода;

- значительное количество как легитимно присутствующих (персонал), так и нелегитимно присутствующих людей на железнодорожных путях (местные жители, туристы, грибники), отсутствие правовых ограничений на нахождение в полосе отвода, соответственно – невозможность защиты от проникновения;
- высокий уровень помех для технических средств физической защиты (ТСФЗ) – акустические, вибрационные, электромагнитные, снежные и пылевые вихри и др.;
- необходимость обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС) с системами железнодорожной автоматики и связи.

На сегодняшний день хорошо отработаны решения и технологии для обеспечения безопасности локальных объектов. Как правило, это комбинация системы контроля и управления доступом, системы охраны периметра, системы видеонаблюдения, системы освещения и оповещения. Такие решения и системы широко используются для обеспечения безопасности депо, домов связи, ИВЦ и ДЦУ, грузовых дворов, административных зданий и т.д.

Наиболее сложной задачей является защита собственно железнодорожных магистралей и находящихся на ней искусственных сооружений и оборудования.

С учетом указанных выше особенностей железнодорожных магистралей как объекта защиты ТСФЗ должны обеспечить:

- в первую очередь – обнаружение и контроль действий нарушителей (так как ограничение доступа людей невозможно за исключением отдельных типов объектов);
- повышенные эксплуатационные и климатические требования;
- минимально возможную «человекоемкость»;
- простоту установки и ЭМС с железнодорожными системами;
- возможность проведения работ по монтажу без создания помех нормальному функционированию железнодорожного транспорта;
- обеспечение большого жизненного цикла (не менее 10 лет);

- использование открытых и масштабируемых решений и сохранение инвестиций (информационная и техническая совместимость с существующими средствами безопасности; возможность расширения функциональности системы безопасности без радикальной перестройки ее базовых программно-технических средств при подключении новых программно-технических модулей);
- соответствие действующей нормативно-правовой базе.

Существует большое количество технологий и технических средств, которые могут быть использованы для решения указанной выше задачи: системы охранного телевидения, тепловизионная и радиолокационная техника, системы контроля и управления доступом, периметральные средства обнаружения, системы контроля железнодорожного полотна, инженерные заграждения, средства досмотра и обнаружения взрывчатых веществ и др. Стоимость создания и эксплуатации системы обеспечения транспортной безопасности ОТИ и ТС может быть очень высокой, и принятие решения об архитектуре, организационных принципах функционирования и составе используемых ТСФЗ должно основываться на обоснованных критериях и показателях оценки мероприятий по обеспечению транспортной безопасности ОТИ и ТС. Очевидно, что данные показатели должны быть связаны (агрегированы) с показателями оценки рисков совершения АНВ.

В общем случае, под риском понимается мера опасности, характеризующая возможность совершения акта незаконного вмешательства (АНВ) на объекте железнодорожной транспортной инфраструктуры (ОТИ) (железнодорожном транспортном средстве) и тяжесть ее последствий:

$$\underbrace{Риск}_R = \underbrace{(Вероятность совершения АНВ)}_P \times \underbrace{(Ущерб в случае реализации АНВ)}_U$$

или в символьном обозначении

$$R = PU. \quad (1)$$

Задача оценки потенциального ущерба U решается в процессе категорирования и производится компетентным органом – ФАЖТ (см. рис. 1.).

Категорирование ОТИ и ТС основывается на экспертной (балльной) оценке потенциального ущерба каждого вида при совершении АНВ. Итоговое значение ущерба (риска) определяется как сумма балльных оценок по всем видам ущерба.

В качестве показателей ущерба используются:

- людские потери и ущерб здоровью людей;
- срок нарушения транспортной функции (время восстановления движения поездов);
- ущерб имуществу (затраты на восстановление/замену ОТИ и ТС);
- показатели особенностей и значимости перевозок, к которым привлекаются ТС (использование в составе высокоскоростных поездов, при перевозках опасных грузов, радиоактивных, инфекционных или ядовитых веществ, при выполнении железнодорожных перевозок в рамках исполнения международных обязательств Российской Федерации и т.д.);
- экологический ущерб.

Таким образом, в общем случае оценка риска АНВ определяется суммированием рисков для каждого вида ущерба:

$$R = \sum_{i=1}^5 R_i,$$

где R_i – оценка ущерба i -го вида от совершения АНВ по отношению к объекту защиты.

Потенциальный ущерб должен оцениваться по отношению к конкретному защищаемому объекту для каждой угрозы в соответствии с принятой моделью угроз.

В настоящее время единственным правовым документом, определяющим модель (перечень) угроз для железнодорожного транспорта, является совместный Приказ Минтранса РФ № 52, ФСБ РФ № 112, МВД РФ № 134 от 5 марта 2010 г. «Об утверждении Перечня потенциальных угроз совершения актов незаконного вмешательства в деятельность объектов транспортной инфраструктуры и транспортных средств». Приказом определены следующие угрозы:

1. Угроза захвата;
2. Угроза взрыва;

3. Угроза размещения или попытки размещения на ОТИ и/или ТС взрывных устройств (взрывчатых веществ);
4. Угроза поражения опасными веществами;
5. Угроза захвата критического элемента ОТИ и/или ТС;
6. Угроза взрыва критического элемента ОТИ и/или ТС;
7. Угроза размещения или попытки размещения на критическом элементе ОТИ и/или ТС взрывных устройств (взрывчатых веществ);
8. Угроза блокирования;
9. Угроза хищения.

На наш взгляд, при рассмотрении вопросов построения системы обеспечения транспортной безопасности объектов железнодорожной инфраструктуры (ЖДИ) необходимо также учитывать специфические для ЖДТ угрозы, которые можно трактовать как конкретизацию (расширение) угрозы типа «блокирование»:

- наложение посторонних предметов на путь;
- разрушение (нарушение целостности) элементов ЖДИ (пути, контактной сети, устройств СЦБ);
- сброс опасных предметов с путепроводов;
- забрасывание поезда опасными предметами;
- несанкционированный выезд автотранспортных средств на железнодорожный переезд.

Формирование перечня угроз, модели нарушителя, сценариев реализации каждого типа угроз применительно к каждому типовому ОТИ и ТС – задача процедуры оценки уязвимости, которая производится аккредитованной в компетентном органе специализированной организацией. В процессе оценки уязвимости производится:

- изучение основных показателей, характеризующих ОТИ, его технических и технологических характеристик и порядка функционирования, отнесение объекта к одной из групп типовых ОТИ;
- определение критических элементов ОТИ;
- определение способов реализации потенциальных угроз совершения актов незаконного вмешательства в деятельность ОТИ с использовани-

ем модели нарушителя применительно к объекту транспортной инфраструктуры, оценка уязвимости которого осуществляется;

- выработка рекомендаций с целью их реализации в планах по обеспечению транспортной безопасности.

При балльной оценке потенциального ущерба фактически оценивается величина риска, т.е. не только собственно масштаб ущерба, но и вероятность реализации конкретной угрозы по отношению к конкретному ОТИ или ТС.

$$R_i = \sum_{j=1}^n R_{ji} = \sum_{j=1}^n P_j U_{ji},$$

где P_j – вероятность реализации j -й угрозы; U_{ji} – ущерб i -го вида от реализации j -й угрозы.

Оценка величины потенциального ущерба в случае совершения АНВ является крайне сложной и трудоемкой задачей. Поскольку именно величина потенциального ущерба является определяющей при установлении категории железнодорожных ОТИ (ТС), в соответствии с ФЗ № 16 данная процедура относится к компетенции ФАЖТ.

Внедрение собственником ОТИ и ТС мероприятий по транспортной безопасности не влияет непосредственно на величину потенциального ущерба, но, в соответствии с выражением (1), уменьшает величину риска совершения АНВ пропорционально вероятности совершения АНВ. Таким образом, основным критерием оценки эффективности мероприятий по обеспечению транспортной безопасности ОТИ и ТС можно принять степень уменьшения величины вероятности совершения АНВ.

После реализации системы защиты данная вероятность определяется выражением:

$$P = P_{\text{угр}} (1 - P_{\text{предотвр}}) = P_{\text{угр}} (1 - P_{\text{обн}} \cdot P_{\text{ликв}}), \quad (2)$$

где $P_{\text{угр}}$ – экспертная оценка вероятности попытки совершения АНВ; $P_{\text{обн}}$ – вероятность обнаружения попытки совершения (подготовки) АНВ; $P_{\text{ликв}}$ – вероятность пресечения (ликвидации) попытки совершения (подготовки) АНВ.

На величину $P_{\text{обн}}$ решающее влияние оказывают наличие, достаточность, работоспособность и эффективность ТСО, профессиональная под-

готовленность и ответственность всего персонала железной дороги (в первую очередь – персонала охранных подразделений), информированность и гражданская активность местного населения.

$P_{ликв}$ зависит от укомплектованности дежурных сил и средств, подготовки и оснащенности сил реагирования, отлаженности механизма взаимодействия с силовыми структурами, эффективности системы предупреждения поездов об опасности.

Следует отметить, что, несмотря на схожесть задачи оценки рисков техногенного происхождения и рисков совершения АНВ, они существенно отличаются в основном сложностью объективной оценки вероятности совершения АНВ.

Например, для АНВ типа «теракт» (взрыв, захват, поражение опасными веществами) $P_{угр}$ оценить практически невозможно (эта величина по своей природе неопределенная, неслучайная, статистически ее оценить невозможно ввиду малой выборки). Можно считать, что она является неизвестной константой. В этом случае эффективность мероприятий по обеспечению транспортной безопасности в соответствии с выражением (2) следует оценивать не в абсолютных величинах, а в степени снижения вероятности совершения АНВ и, соответственно, процентном выражении снижения потенциально го риска. Такие оценки могут быть получены расчетно-экспериментальным путем при проведении приемочных испытаний на пилотных участках внедрения типовых решений по обеспечению транспортной безопасности ОТИ.

Для нарушителей типа расхитителей, вандалов, хулиганов $P_{угр}$ возможно оценить с использованием статистики на основе анализа данных правоохранительных органов, службы безопасности ОАО «РЖД». Она должна учитываться при моделировании сценариев и управлении рисками.

Оценка эффективности мероприятий по обеспечению транспортной безопасности должна производиться для каждого объекта транспортной инфраструктуры, а иногда – для каждого критического элемента ОТИ по отношению к каждому виду угрозы (в соответствии с моделью угроз) применительно к каждому типу нарушителя (в соответствии с моделью нарушителя).

*Методы и системы
обработки изображений*

УДК 004.93'12

Гречухин И.А., Каркищенко А.Н.

О методе построения характерных точек на основе вариации яркостного профиля¹

Ключевые слова:

характерные точки, метод главных компонент, расстояние Махаланобиса, модель активных контуров, статистическая модель.

Введение

Последние десятилетия активно развиваются методы компьютерного (или технического) зрения, что обусловлено широкими возможностями их применения – от коммерческих приложений до систем безопасности. В частности, разрабатываются компьютерные системы распознавания людей. Возлагаемые на такие системы задачи состоят в обеспечении эффективного и надежного наблюдения за доступом в контролируемые зоны, предупреждении о появлении разыскиваемых или нежелательных персон, опознании личности. Иными словами, целью разработки систем технического зрения является «самостоятельное» распознавание (без участия оператора) людей в наименее ограничительных условиях и за эффективно приемлемое время. Предполагается, что лица, появившиеся в кадре, сравниваются с изображениями людей из существующей базы данных, и на устройство отображения выводятся изображения, наиболее похожие на человека в кадре. Это позволяет автоматически формировать список людей, появившихся в поле зрения камеры. При появлении в поле зрения камеры, например, разыскиваемых лиц, это позволит автоматически и заблаговременно оповестить соответствующие службы об опасности и принять меры по устранению опасности. Перечень возможных применений подоб-

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проекты № 10-07-00478, № 10-07-00135, № 08-07-00129.

ных систем чрезвычайно широк. К этому следует добавить очевидные преимущества систем автоматического распознавания: скрытность (распознавание происходит на расстоянии, незаметно для человека), надежность, удобство (нет ограничений на свободу перемещений), универсальность (применимо, как на специальных, так и на гражданских объектах).

Несмотря на то, что в настоящее время известно уже много методов распознавания лиц, это направление исследований по-прежнему остается очень сложным и в то же время привлекательным для специалистов из многих областей – психологии, распознавания образов, нейронных сетей, компьютерного зрения, компьютерной графики и других. Как правило, разрабатываемые программно-технические системы распознавания лиц построены на комбинации различных принципов, что делает задачу классификации методов распознавания непростой. Между тем, условно можно выделить следующие категории методов.

Методы целостного соответствия. Эти методы в качестве входных данных для алгоритма распознавания используют яркости точек изображения всего лица. Одним из самых распространенных в данной категории является метод собственных лиц [1, 2], основанный на методе главных компонент.

Методы структурного соответствия. Обычно в этих методах сначала выделяются характерные объекты лица, такие как нос, глаза, рот и др., после чего для распознавания используются характеристики их геометрического расположения и локальные статистики.

Гибридные методы. Так же как и человеческое восприятие, использующее как локальные особенности, так и все лицо для распознавания, методы данной категории представляют собой комбинации различных методик.

Внутри каждой из этих категорий возможна более детальная классификация. Например, существует много методов распознавания лиц, основанных на методе главных компонент: метод *собственных лиц* (Eigenfaces) [3], основанный на методе классификации «ближайший сосед»; линейный дискриминантный анализ (Fisherfaces) [4–7]; байесовские методы, использую-

щие расстояние Махаланобиса [8]. В работе [9] показано, что метод анализа независимых компонент является более представительным, чем метод главных компонент, а значит, может быть более качественным для задачи распознавания. Наряду с этими классическими методами, существуют также подходы, основанные на применении нейронных сетей [10, 11], которые потенциально могут давать более общее решение при наличии достаточно большой обучающей базы.

Многие из разрабатываемых ранее методов относятся к категории структурного соответствия. Эти методы в качестве характерных признаков используют антропометрические показатели – ширину головы, расстояние между глазами, расстояние от глаз до рта и другие [12], или расстояния и углы между уголками глаз, границами рта, ноздрями и кончиком носа [13]. Впоследствии разрабатывались также методы, основанные на комбинации различных расстояний [14]. К данной категории относятся и так называемые скрытые марковские модели, в которых для анализа используются фиксированные прямоугольные области лица (лоб, глаз, нос, рот, подбородок) [15–17].

К гибридным методам можно отнести модульный метод собственных лиц [18], гибридный метод локальных особенностей, основанный на методе главных компонент и локальном анализе особенностей [19], методы, основанные на анализе формы лица [20], а также трехмерные модели лица [21]. В [18] предлагается подход, основанный на совмещении стандартного метода собственных лиц и спектральных разложений отдельных частей лица – глаз, рта, носа. Несмотря на то, что эксперименты демонстрируют лишь незначительное улучшение по сравнению со стандартным методом собственных лиц, эти методы считаются перспективными и предполагают развитие дальнейших исследований. По-видимому, одной из наиболее интересных задач на сегодняшний день является поиск оптимального сочетания методов целостного соответствия и методов анализа локальных особенностей.

Рассматриваемый в данной работе метод основан на подходе, предложенном в [22, 23], и относится к категории структурного соответствия. В

его основе лежит модель активных контуров (Active Shape Model), основанная на применении расстояния Махаланобиса [24] для поиска расстояния между профилями точки и использовании метода главных компонент для сохранения приемлемой формы контура, содержащего важные для распознавания особенности лица. Базовыми элементами в данном методе являются *характерные точки* (landmarks), которые представляют собой четко различимые ориентиры на рассматриваемых изображениях. Примером характерной точки на изображении лица может быть зрачок левого глаза, кончик носа или правый уголок рта, однако в методе нет ограничений на определение точек. В общем случае под характерной точкой можно понимать любую точку на изображении рассматриваемого объекта. В данной работе характерные точки имеют однозначную привязку к чертам лица, поэтому обнаружение расположения точек на изображении равносильно определению геометрии черт лица.

Отметим, что методы определения общего положения лица на изображении в рамках этой работы не рассматриваются. Предполагается, что расположение лица на изображении заранее определено и на момент применения этого метода уже известно.

В данной работе вначале дается формальная постановка задачи построения оптимального контура лица, затем описывается так называемый этап обучения и формирования обобщенной статистической модели по обучающей выборке лиц. Далее описывается процедура построения контура лица на основе статистической модели обучающей выборки, приводятся некоторые данные, касающиеся реализации метода и примеры вычислений с помощью описанного в работе метода.

Формирование статистической модели характерных точек

Пусть $\mathcal{F} = \{F_i | i=1, \dots, N\}$ – совокупность черно-белых оцифрованных фотографий лиц, которую в дальнейшем будем называть *выборкой*. Обозначим через $P = \{p_k | k=1, \dots, n\}$ совокупность характерных точек, описывающих лицо. Каждая такая точка имеет качественное описание (зрачок, нос, бровь и

т.п.). Задача состоит в том, чтобы автоматически наиболее точно найти координаты указанных точек на фотографии заданного лица с тем, чтобы в последующем решать задачу сопоставления точек и их взаимного расположения. Теоретически определенные точно координаты таких точек позволяют решать задачу распознавания лиц.

Идея описываемого подхода состоит в том, чтобы на основе ручного (полуавтоматического) анализа большого числа фотографий (выборки объема N) с помощью некоторых процедур установить более или менее объективные признаки позиционирования характерных точек, с помощью которых можно автоматически и быстро находить характерные точки на любом предъявляемом к распознаванию лице.

Таким образом, возникает необходимость реализации двух этапов:

- построение обобщенной статистической модели характерных точек по имеющейся выборке лиц \mathfrak{F} ;
- разработка процедуры автоматического порождения аналогичных точек на произвольном лице, не входящем в выборку \mathfrak{F} .

Опишем в данном разделе первый этап, состоящий в построении обобщенной статистической модели характерных точек. Пусть имеется фиксированный перечень $\Omega = \{\omega_1, \dots, \omega_n\}$ характерных точек лица, каждая из которых имеет однозначное понятийное и, возможно, геометрическое описание. Например:

- | | |
|--|--------------------------------------|
| ω_1 – «левый край левой брови»; | ω_7 – «центр левого зрачка»; |
| ω_2 – «центр левой брови»; | ω_8 – «центр правого зрачка»; |
| ω_3 – «правый край левой брови»; | ω_9 – «кончик носа»; |
| ω_4 – «правый край правой брови»; | ω_{10} – «правый уголок рта»; |
| ω_5 – «центр правой брови»; | ω_{11} – «левый уголок рта»; |
| ω_6 – «левый край правой брови»; | ω_{12} – «центр подбородка». |

Понятно, что координаты каждой такой точки на конкретной фотографии будут зависеть как от (1) индивидуальных черт лица, так и от (2) поло-

жения лица на фотографии (смещение относительно центра изображения, ракурс съемки и др.). Факторы первой группы несут полезную для распознавания информацию, а второй – наоборот, усложняют эту задачу, внося погрешности, искажения, шумы и пр.

Для уменьшения искажений, вносимых второй группой факторов, целесообразно подвергать изображения лиц предварительной обработке, состоящей в максимально точном позиционировании собственно лица. Существующие методы и алгоритмы решения этой задачи обычно ориентированы на построение прямоугольной рамки, охватывающей наиболее информативную часть лица. Следует отметить, что указанные алгоритмы, как правило, позволяют осуществлять и поиск лица на фотографии, решая так называемую задачу *детекции лица*. Поиск является ключевым моментом в задаче определения характерных точек лица. Если детекция будет проведена не очень качественно, то трудно рассчитывать на точное определение точек. Далее, как отмечалось выше, будем считать, что детекция лица уже осуществлена, и каждое лицо ограничено прямоугольной рамкой одного и того же размера².

Предположим, что каждая фотография F_i , $F_i \in \mathfrak{F}$, обработана вручную, и на ней проставлены координаты характерных точек из Ω , т.е. найден вектор $p^{(i)} = (p_1^{(i)} p_2^{(i)} \dots p_n^{(i)})$, где $p_k^{(i)} = p^{(i)}(\omega_k) = (x_k^{(i)} y_k^{(i)})$, $k=1, \dots, n$. В дальнейшем вектор $p^{(i)}$ будем называть *контуром* лица F_i . Следует принять во внимание, что изображения реальных лиц на фотографиях могут отличаться размером и местоположением на поле изображения, а также иметь наклон в ту или иную сторону. Поэтому все контуры, построенные по выборке \mathfrak{F} , подвергаются аффинным преобразованиям (сдвиг, масштабирование и поворот) с тем, чтобы максимально выровнять их друг с другом.

С каждой точкой $p_k^{(i)}$, принадлежащей контуру $p^{(i)}$, свяжем некоторый вектор признаков

² Для решения этой задачи можно применить метод поиска лиц на изображении, который разработан в [27]. Этот метод реализован также в открытой библиотеке алгоритмов компьютерного зрения OpenCV.

$$q_k^{(i)} = q^{(i)}(\omega_k) = \left(q_{k1}^{(i)} q_{k2}^{(i)} \dots q_{km}^{(i)} \right)^T,$$

характеризующий окрестность точки $p_k^{(i)}$. В качестве таких признаков могут использоваться, например, усредненная яркость в окрестности точки, параметры, описывающие разброс яркостей, наличие точек резкого перепада освещения, распределение яркости вдоль некоторого направления и пр. Поскольку точки $p_k^{(1)}, p_k^{(2)}, \dots, p_k^{(N)}$ соответствуют одному и тому же геометрическому описанию ω_k , то можно предполагать, что в некотором «идеальном» случае векторы признаков $q_k^{(1)}, q_k^{(2)}, \dots, q_k^{(N)}$ должны быть «похожими».

В дальнейшем, чтобы избежать затруднений, связанных с вычислением статистических характеристик множества контуров, введем более удобное их представление. Для этого заметим, что множество контуров p_i образует линейное пространство \mathbb{P}^n с естественными операциями сложения точек на плоскости и умножения на число. Установим взаимно однозначное соответствие:

$$p^{(i)} = \left(p_1^{(i)} p_2^{(i)} \dots p_n^{(i)} \right) \leftrightarrow \left(x_1 x_2 \dots x_n y_1 y_2 \dots y_n \right)^T = X_i.$$

Очевидно, что данное соответствие является изоморфизмом пространств \mathbb{P}^n и \mathbb{R}^{2n} . Таким образом, дальнейшее описание рассматриваемого метода можно проводить в более привычном арифметическом пространстве \mathbb{R}^{2n} . Не вводя дополнительных терминов, будем вектор X_i по аналогии с вектором $p^{(i)}$ называть контуром.

В качестве общих статистических характеристик класса изображений \mathfrak{F} используются вычисленные по набору контуров $X_i, i=1, \dots, N$, статистические оценки математического ожидания

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i$$

и ковариационной матрицы

$$S = \|s_{ij}\| = \left\| \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})_i (X_i - \bar{X})_j^T \right\|.$$

Заметим, что оценку \bar{X} математического ожидания можно интерпретировать как контур, соответствующий некоторому «среднему» лицу, а ковариационную матрицу – как матричный параметр, характеризующий разброс контуров относительно «среднего» лица.

Кроме того, класс изображений лиц характеризуется усредненными значениями векторов признаков точек

$$\bar{q}_k = \bar{q}(\omega_k) = (\bar{q}_{k1} \bar{q}_{k2} \dots \bar{q}_{km}) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N q_k^{(i)} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (q_{k1}^{(i)} q_{k2}^{(i)} \dots q_{km}^{(i)})^T, k=1, \dots, n, (1)$$

и несмещенными статистическими оценками матриц ковариации признаков для каждой точки:

$$S_k = \left\| \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (q_{ki}^{(i)} - \bar{q}_{ki})(q_{kj}^{(i)} - \bar{q}_{kj})^T \right\|. (2)$$

Таким образом, вычисление контура X (что эквивалентно вычислению характерных точек $p=(p_1 p_2 \dots p_n)$) на предъявляемом для анализа лице F представляет собой многокритериальную задачу, состоящую в вариации координат $(x_1 x_2 \dots x_n y_1 y_2 \dots y_n)$ точек p_1, p_2, \dots, p_n относительно среднего \bar{X} так, чтобы найденные положения точек наилучшим образом соответствовали статистическим характеристикам векторов признаков q_1, q_2, \dots, q_n , и при этом получающийся контур соответствовал естественному расположению характерных точек на контуре.

Используя терминологию теории распознавания образов, описанный выше первичный этап построения статистических характеристик выборки \mathfrak{F} , т.е. построения некоторой обобщенной статистической модели, можно назвать *этапом обучения*, а саму выборку изображений лиц \mathfrak{F} – *обучающей выборкой*.

Построение контура лица

Опишем второй этап – процедуру построения контура, содержащего характерные точки на предъявляемом изображении лица, которое не присутствовало в обучающей выборке.

Оптимизация профиля. После детекции лица на анализируемом изображении контур «среднего» лица, вычисленный по обучающей выборке, подвергается изменению с помощью аффинных преобразований так, чтобы «наилучшим» образом соответствовать найденному лицу. Полученный таким образом контур используется в качестве начального приближения для последующей оптимизационной процедуры, указанной выше.

Суть первоначального этапа оптимизации состоит в варьировании положения точек в некоторой локальной окрестности с тем, чтобы добиться наилучшего соответствия с соответствующими им векторами признаков. В данной работе в качестве вектора признаков точки используется так называемый *профиль* точки. Профиль строится следующим образом. Предположим, что через точки контура p_1, p_2, \dots, p_n проведена некоторая непрерывная и гладкая кривая так, что точки p_1, p_2, \dots, p_n являются достаточно хорошим дискретным представлением этой кривой. Проведем через точку p_k контура отрезок фиксированной длины с центром в данной точке и ориентированный по нормали к непрерывной кривой, проходящей через точки контура (рис. 1). Тогда под профилем будем понимать распределение яркости изображения (интенсивности) на этом отрезке. Понятно, что понятие профиля параметризовано как способом представления непрерывной кривой, проходящей через точки p_1, p_2, \dots, p_n , так и длиной отрезка, на котором он рассматривается.

Учитывая дискретность представления оцифрованного изображения, длину отрезка, на котором вычисляется профиль, целесообразно измерять в количестве пикселей. В аналогичных методах (например, [25]) длина профиля составляет 11–13 пикселей. При этом профиль описывается в виде вектора признаков³.

Статистические характеристики (1) и (2) векторов признаков рассматриваются как статистическая модель, лежащая в основе оптимизации положения точек.

³ В каждой точке вычисляется градиент яркости как разница значений в текущей и предыдущей точках. Вектор признаков получается из вектора градиентов путем его деления на усредненное значение его компонент.

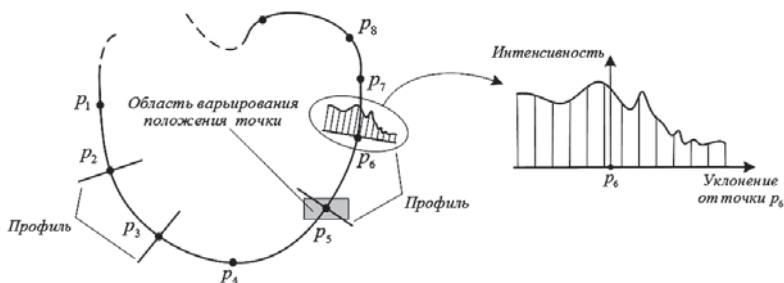


Рис. 1. Профили точек контура

Профильная оптимизация, т.е. варьирование положения точек, производится до тех пор, пока изменения, вносимые этой процедурой, существенно влияют на изменение формы контура. Оптимальным положением точки p_k является такое, при котором профиль точки наименее отличается от усредненного профиля q_k , вычисленного на этапе обучения. Для определения степени сходства двух профилей целесообразно применять расстояние Махаланобиса, которое в отличие от евклидова расстояния позволяет учитывать корреляцию между переменными и инвариантно к масштабу. Если \bar{q}_k и S_k – соответственно усредненный профиль и ковариационная матрица для рассматриваемой точки контура, а q_k – рассматриваемый профиль точки p_k , то расстояние d Махаланобиса определяется формулой

$$d^2 = (q_k - \bar{q}_k)^T S_k^{-1} (q_k - \bar{q}_k).$$

Прореживание. В ковариационных матрицах профилей взаимозависимость между пикселями уменьшается по мере увеличения расстояния между ними. Поэтому для упрощения вычислений можно игнорировать ковариацию между удаленными точками и просто считать ее равной нулю. Такая процедура называется прореживанием матрицы. Если при вычислении расстояния Махаланобиса использовать не плотную матрицу, а разреженную, это позволит уменьшить количество необходимых вычислений, а, следовательно, ускорить работу реализующего данный метод алгоритма⁴.

⁴ При этом необходимо осуществить процедуру коррекции матрицы с тем, чтобы сохранить ее положительную определенность.

Наряду с описанным «классическим» методом оптимизации, существует также усовершенствованный вариант, предложенный в [26], суть которого состоит в следующем. Во время обучения метода одновременно с вычислением среднего профиля для каждой точки вычисляются также собственные векторы и собственные значения ковариационных матриц. Собственные векторы, соответствующие наибольшим по модулю собственным значениям, составляют матрицу P_k , $k=1, \dots, n$. При этом число столбцов в матрице P_k существенно меньше m . На этапе применения метода каждый рассматриваемый профиль q_k ортогонально проецируется на подпространство из собственных векторов: $q'_k = P_k^T(q_k - \bar{q}_k)$. После этого восстановленный по главным компонентам профиль вычисляется по формуле: $\tilde{q}_k = \bar{q}_k + P_k q'_k$. Адаптированный таким образом рассматриваемый профиль сравнивается со средним профилем с помощью расстояния Махаланобиса.

Такой подход позволяет обойти существенные недостатки «классической» модели. В частности, «классическая» модель накладывает естественные ограничения на размер обучающей выборки. Это вызвано в первую очередь тем, что при вычислении среднего профиля на большом объеме выборки будет получаться «размытый» и «не отчетливый» вектор.

Сглаживание контура. После того, как в результате вариации положения характерных точек найдены оптимальные в смысле расстояния Махаланобиса координаты каждой точки, найденный контур в целом может быть плохо согласован с совокупностью контуров, полученных по обучающей выборке \mathfrak{F} . Это проявляется в том, что положение точек найденного по анализируемому лицу контура выглядит хаотично и плохо характеризует лицо (рис. 2). Математически это является следствием того, что контур X после локальной оптимизации положения характерных точек будет задаваться в пространстве \mathbb{R}^{2n} точкой, отстоящей достаточно далеко от эллипсоида рассеяния, порождаемого контурами обучающей выборки. Поэтому необходимо провести общую оптимизацию положения точек в целом.



Рис. 2. Профильная оптимизация без сглаживания контура (слева) и с применением сглаживания (справа)

Это достигается применением метода главных компонент. Применительно к рассматриваемой задаче суть его состоит в следующем. На этапе обучения (построения обобщенной статистической модели) вычисляются собственные значения $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ ковариационной матрицы контуров и матрица Φ соответствующих им собственных векторов. Поскольку ковариационная матрица симметрична и, в общем случае, положительно определена, то все собственные значения будут действительными и положительными, а соответствующие им собственные векторы ортонормированны. Вместо найденного контура X рассматривается контур \tilde{X} , который вычисляется по контуру среднего лица \bar{X} и матрице Φ собственных векторов, следующим образом:

$$\tilde{X} = \bar{X} + \Phi \tilde{b}$$

Здесь \tilde{b} – «корректирующий» вектор, который получается из вектора коэффициентов проекции $b = \Phi^T(X - \bar{X})$ следующим образом:

- 1) обнуляются несущественные элементы вектора b , т.е. остается только несколько первых элементов, соответствующих наибольшим по модулю собственным значениям λ_i ковариационной матрицы. Количество

n_{eigs} оставшихся неизменными элементов вектора является параметром метода и определяется на основе анализа спектра ковариационной матрицы. Это позволяет избавиться от малозначимых вариаций в положении точек контура X ;

- 2) поскольку преобразованный таким образом контур X может также лежать за пределами эллипсоида рассеяния, то целесообразно изменить соответствующие ненулевые координаты вектора b так, чтобы гарантировать получение контура, лежащего внутри эллипсоида. С этой целью значения оставшихся ненулевых элементов следует заменить ближайшим значением из промежутка $[-b_{\max} \sqrt{\lambda_i}; +b_{\max} \sqrt{\lambda_i}]$, где λ_i – i -е собственное значение ковариационной матрицы контуров. Ширина данного интервала зависит от параметра b_{\max} и соответствующего собственного значения, поскольку оно определяет размеры эллипсоида в направлении соответствующего собственного вектора.

Параметры n_{eigs} и b_{\max} определяются на этапе обучения метода. Описанная выше процедура гарантирует получение контуров, имеющих форму схожую с контурами из обучающей выборки.

Особенности реализации метода и примеры вычислений

Количество итераций поиска и качество поиска. На этапе профильной оптимизации контура происходит итерационный поиск наилучшего положения характерной точки. При этом на каждой итерации для рассматриваемой точки определяется смещение, на которое ее необходимо сдвинуть, чтобы получить оптимум. Процесс считается завершенным, если выполняется одно из следующих условий:

- достигнуто максимальное количество итераций;
- найдено достаточное количество «хороших» (почти не меняющих свое положение от итерации к итерации) точек.

В данной работе максимальное количество итераций ограничено четырьмя, а достаточное количество хороших точек должно составлять не менее 80% от общего количества точек контура.

Параметры формы контура. На этапе сглаживания контура X после профильной оптимизации методом главных компонент используются два параметра – n_{eigs} и b_{max} . Как указывалось выше, параметр n_{eigs} определяет количество собственных векторов, используемых в модели контура, а параметр b_{max} ограничивает максимально допустимое значение для элементов вектора b в формуле проецирования на подпространство.

Как известно, в методе главных компонент оставляются только те собственные векторы, которые соответствуют наибольшей дисперсии. В реальных задачах зачастую небольшое количество собственных векторов вносит более 90% дисперсии, а вариации в направлении остальных векторов имеют несущественные значения. Контур лица при $n=68$ характерных точек соответствует в пространстве $\mathbb{R}^{2 \cdot 68}$ в точности 136 собственных векторов. Как показали проведенные эксперименты, модули собственных значений уменьшаются относительно равномерно, поэтому нет возможности однозначно установить оптимальное значение n_{eigs} . В данной работе на основе экспериментальных исследований принято $n_{eigs}=20$, что приводило к приемлемым по качеству результатам определения характерных точек.

Несмотря на несколько слабую теоретическую обоснованность выбора ненулевых значений вектора \tilde{b} из отрезка $[-b_{max}\sqrt{\lambda_i}; +b_{max}\sqrt{\lambda_i}]$, экспериментально установлено, что оптимальные значения параметра b_{max} удовлетворяют неравенству $1,8 \leq b_{max} \leq 3$. На рис. 3 показаны результаты работы алгоритма, реализующего описанный выше метод. На рис. 4 приведены примеры иногда встречающейся не очень качественной работы алгоритма.

Заключение и некоторые выводы

Простой способ улучшить качество метода состоит в том, чтобы увеличить количество точек контура. Правильное расположение точки контура при профильной адаптации приводит к улучшению определения всей формы контура. С другой стороны, эта избыточность дорого обходится в вычислительном плане. Время поиска правильной формы контура линейно увеличивается с ростом количества точек.



Время расчета 9,1 с



Время расчета 9,1 с



Время расчета 9,2 с



Время расчета 2,8 с



Время расчета 3,6 с



Время расчета 2,7 с

Рис. 3. Примеры работы алгоритма выделения характерных точек для случая 84 точек (вверху) и 68 точек (внизу)



Рис. 4. Примеры некачественной работы алгоритма

В данной работе использовался «классический» контур с количеством точек, равным 68 [22, 25]. Но в работе [26] показано, что «классический» контур содержит недостаточное количество точек для качественного моделирования границ таких важных частей лица, как глаза, брови и нос. Хорошо известно, что именно эти части являются наиболее значимыми для возможной последующей обработки (анализ антропометрических признаков, распознавание, расчет ориентации головы и др.). В [26] показано

также, что 79 точек вполне достаточно как для оптимального определения черт лица, так и для моделирования различной мимики. Существуют также другие наборы характерных точек, которые с разной степенью детализации описывают определенные области лица.

Значительные перспективы исследования рассматриваемой в данной работе задачи построения оптимального контура лица связаны с иными способами определения вектора признаков точек. В частности, можно рассматривать *двумерные профили*, что, безусловно, приведет к более качественным результатам [26]. При этом, разумеется, вместе с улучшением качества поиска возрастут и вычислительные затраты, а следовательно, и время работы метода. Целесообразно рассмотреть возможность комбинирования методов поиска оптимального положения точек – для некоторых точек использовать одномерный профиль, а для других, более информативных точек – двумерный.

Литература

1. Kirby M., Sirovich L. Application of the Karhunen-Loeve procedure for characterization of human faces // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 1990. Vol. 12.
2. Sirovich L., Kirby M. Low-dimensional procedure for characterization of human face // Journal of the Optical Society of America. 1987. Vol. 4. P. 519–524.
3. Turk M., Pentland A. Eigenfaces for recognition // Journal of Cognitive Neuroscience. 1991. Vol. 3. P. 72–86.
4. Belhumeur P.N., Hespanha J.P., Kriegman D.J. Eigenfaces vs. Fisherfaces: Recognition using class specific linear projection // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 1997/ Vol. 19. P. 711–720.
5. Liu C., Wechsler H. A shape- and texture-based enhanced fisher classifier for face recognition // IEEE Transactions Image Processing. 2001. Vol. 10. P. 598–608.
6. Swets D.L., Weng J. Using discriminant eigenfeatures for image retrieval. // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 1996b. Vol. 18. P. 831–836.

7. *Zhao W., Chellappa R., Krishnaswamy A.* Discriminant analysis of principal components for face recognition. 1998.
8. *Moghaddam B., Pentland A.* Probabilistic visual learning for object representation // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 1997. Vol. 19. P. 696–710.
9. *Bartlett M.S., Lades H.M., Sejnowski T.* Independent component representation for face recognition. 1998. P. 528–539.
10. *Lin S.H., Kung S.Y., Lin L.J.* Face recognition/detection by probabilistic decision-based neural network // Transactions on Neural Network. 1997. Vol. 8. P. 114–132.
11. *Liu C., Wechsler H.* Evolutionary pursuit and its application to face recognition // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 2000a. Vol. 22. P. 570–582.
12. *Kelly M.D.* Visual identification of people by computer. Stanford, 1970. Technical report AI-130. Stanford AI Project.
13. *Kanade T.* Computer Recognition of Human Faces // Interdisciplinary Systems Research. 1977, Vol. 47.
14. *Cox I.J., Ghosn J., Yianilos P.N.* Feature-based face recognition using mixture-distance. Computer Vision and Pattern Recognition. 1996. P. 209–216.
15. *Nefian A.V., Hayes M.H.* III. Hidden Markov models for face recognition // Acoustics, Speech and Signal Processing. 1998. Vol. 5. P. 2721–2724.
16. *Samaria F.* Face recognition using Hidden Markov Models. PhD dissertation. Cambridge, U.K.: University of Cambridge, 1994.
17. *Samaria F., Young S.* HMM-based architecture for face identification // Image and Vision Computing. 1994. Vol. 12. № 8. P. 537–543.
18. *Pentland A., Moghaddam B., Starner T.* View-based and modular eigenspaces for face recognition // Computer Vision and Pattern Recognition. 1994. P. 84–91.
19. *Penev P., Atick J.* Local feature analysis: A general statistical theory for object representation // Computation in Neural Systems. 1996. № 7, P. 477–500.
20. *Lanitis A., Taylor C.J., Cootes T.F.* Automatic face identification system using flexible appearance models // Image and Vision Computing. 1995. Vol. 13. № 5. P. 393–401.

21. *Weyrauch B., Heisele B., Huang J., Blanz V.* Component-Based Face Recognition with 3D Morphable Models. Computer Vision and Pattern Recognition Workshop. 2004. P. 85.
22. *Cootes T.F., Taylor C.J.* Technical Report: Statistical Models of Appearance for Computer Vision. The University of Manchester School of Medicine. 2004.
23. *Cootes T.F., Taylor C.J., Cooper D.H., Graham J.* Active shape models — their training and application // Computer Vision and Image Understanding. 1995. Vol. 61. № 1, P. 38–59.
24. *Орлов А.И.* Махаланобиса расстояние // Математическая энциклопедия. Т. 8. –М. : Советская энциклопедия, 1982.
25. *Milborrow S.* Locating facial features with active shape models. Master's thesis. s.l. : Faculty of Engineering, University of Cape Town, 2007.
26. *Seshadri K., Savvides M.* Robust modified Active Shape Model for automatic facial landmark annotation of frontal faces // Biometrics: Theory, Applications, and Systems. 2009. P. 1–8.
27. *Viola P., Jones M.* Rapid object detection using a boosted cascade of simple features // Computer Vision and Pattern Recognition. 2001. Vol. 1. P. 511–518.

УДК 528.854.2

Каркищенко А.Н., Мнухин В.Б. (ТТИ ЮФУ)

Метод непрерывного преобразования симметрии в задачах классификации изображений периодических структур¹

Ключевые слова:

симметрия, кристаллографическая группа, группа бордюров, группа орнамента, анализ изображений, непрерывное преобразование симметрии.

Введение

Исследование свойств внутренней симметрии в информационных средах является одной из интенсивно развивающихся областей теоретической информатики. При этом одним из наиболее активно развиваемых направлений является изучение свойств симметрии изображений. Определение симметрии является полезным средством при анализе и распознавании изображений различных объектов, поскольку большинство из них имеют некоторую степень симметрии [1, 2]. Такие практические направления развития информационных технологий как робототехника, искусственное зрение, методы автоматического контроля и др., активно стимулируют исследования в этой области. Данные о симметрии объекта позволяют:

- производить сжатие и компактное хранение видеoinформации, что очень важно, учитывая большие объемы требующейся для этого памяти;
- осуществлять как обычный, так и ассоциативный поиск видеоданных, необходимость в котором возникает при создании интеллектуальных систем;
- делать анализ графической информации, направленный на повышение качества и, в частности, достоверности работы систем распознавания образов и др.

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проекты № 10-07-00478, № 10-07-00135, № 08-07-00129.

Рассматривая изучение свойств симметрии изображений, следует учитывать, что в классической математике понятие симметрии – двузначное: объект либо симметричен, либо нет. При этом в реальности говорить можно только о той или иной *мере симметричности* объекта, определяемой относительно конкретных осей отражательной симметрии или центров вращательной симметрии. Таким образом, традиционные задачи анализа симметрии изображений сводятся к определению параметров симметрии (отражений и/или вращений) с той или иной степенью достоверности. При этом, как правило, проблема нахождения *группы симметрий* объекта на изображении не ставится, что обусловлено большой сложностью этой задачи, особенно для изображений трехмерных объектов.

Вместе с тем группы симметрий двумерных объектов с периодической структурой являются их сильными дескрипторами, позволяющими эффективно классифицировать подобные объекты по их изображениям. Действительно, хорошо известно (см. [3, 6, 7]), что, несмотря на наличие бесконечного числа периодических структур на плоскости, с каждой из них однозначно ассоциируется одна из 24 *кристаллографических групп*.

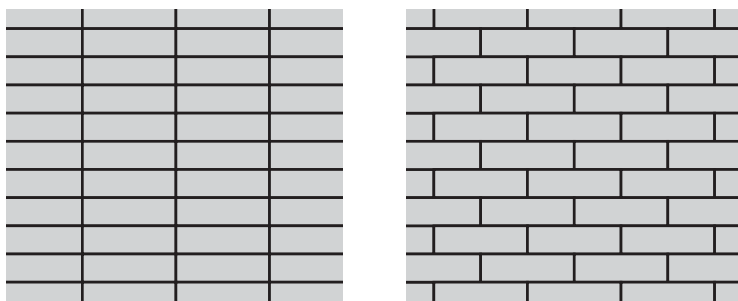


Рис. 1. Периодические структуры с различными типами симметрии

В качестве иллюстрации рассмотрим схемы кирпичных кладок, которые могут являться примерами двумерных периодических структур (рис. 1). С математической точки зрения существенное различие объектов на изображе-

ниях сводится к их группам симметрий: в первом случае объект имеет так называемую кристаллографическую группу *стт*, а во втором – группу *ртт*.

Заметим, что группы симметрий периодической структуры не зависят от размера, поворота, яркости и плотности ее изображения. Тем самым они являются инвариантами структуры, а их нахождение позволяет существенно упростить распознавание подобной структуры по ее изображению. Отметим, что подобные проблемы распознавания естественно возникают в рентгеноструктурном анализе, электронной микроскопии, нанотехнологиях, при обработке аэрофотоснимков, текстурном анализе образов, анализе походки человека и животных, и т.п. Наличие на изображении одного или нескольких фрагментов периодических структур позволяет рассматривать соответствующие им группы симметрий как дескрипторы данного изображения, позволяющие проводить его эффективный поиск в базах данных. В частности, подобный подход может использоваться при автоматическом аннотировании изображений в Интернете.

Несмотря на естественность использования кристаллографических групп как инвариантов изображений периодических структур, число работ, посвященных этому направлению, невелико. В частности, в работах [13, 14] предлагается алгоритм нахождения группы симметрий периодической структуры. Он предполагает, что вначале на основе одного из известных методов анализа симметрии изображения находятся (с некоторой вероятностью) образующие группы, соотношения между которыми затем используются для определения искомой кристаллографической группы. Ряд работ посвящен такому источнику неопределенности при распознавании симметрии как перспектива. Действительно, если симметричный объект наблюдается в удаленной перспективе, в плоскости изображения объект претерпевает аффинные преобразования. Например, окружность может превратиться в эллипс, что изменит ее симметрию с ортогональной группы $O(2)$ до группы Клейна. Анализ подобных ситуаций приводит к понятию *искаженной симметрии* (см. [4, 5, 11]). В частности, в работе [18] рассматриваются аффинно-искаженные группы орнаментов и предлагается

классифицировать аффинно-трансформированные изображения периодических структур (например, изображения фризов с учетом перспективы) по их наиболее вероятной группе симметрий с учетом соответствующего аффинного преобразования.

Ряд работ посвящен разнообразным применениям групп симметрии. В работе [19] одномерные кристаллографические группы (так называемые *группы бордюров*) предлагается использовать для распознавания вращательной симметрии изображения. Для этого изображение (или его фрагмент) подвергаются преобразованию, отображающему внутренность круга в бесконечную полосу. Затем свойства симметрии изображения в этой полосе анализируются с помощью известной классификации групп бордюров. Подход позволяет эффективно распознавать и классифицировать циклические и диэдральные группы симметрий. Подобный подход оказывается также полезным в задачах текстурного анализа [23] и при компьютерном анализе походки человека или животных [20, 21].

Следует отметить, что выделение периодической структуры внутри большего изображения является отдельной важной задачей. Подобные задачи (вне связи с классификацией кристаллографических групп) рассматривались в ряде работ. Для их решения предлагается использовать автокорреляционные функции, преобразование Фурье, а также меры периодичности, определяемые на основе так называемых матриц смежностей элементов (см. [22]).

Данная работа посвящена рассмотрению метода решения проблемы нахождения группы симметрий двумерной периодической структуры по ее изображению, основанного на использовании *непрерывного преобразования симметрии*, введенного в [8–10].

1. Кристаллографические группы

Симметрия является одним из фундаментальных свойств окружающего мира. Поэтому изучение инвариантных свойств математических и физических объектов и процессов является важной задачей для различных об-

ластей современного естествознания. Математическое описание подобных инвариантных свойств основано на понятии группы симметрий.

Рассмотрим (см. [6, 7]) группы, возникающие при изучении периодических структур на плоскости и введем определения. Пусть G – некоторая конечная группа движений плоскости.

Определение 1. Группа движений G называется *дискретной*, если для любой точки A плоскости найдется некоторая окрестность точки A , не содержащая других точек из орбиты точки A .

Например, группа, порожденная одним параллельным переносом, дискретна, в то время, как группа переносов, содержащая два коллинеарных вектора с несоизмеримыми длинами, не является дискретной. Действительно, в последнем случае орбита любой точки всюду плотно заполняет прямую, проходящую через эту точку в направлении векторов переноса, так что в любой сколь угодно малой окрестности данной точки найдутся и другие точки ее орбиты.

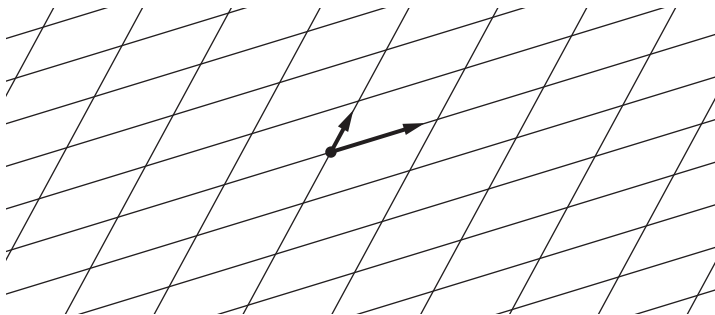
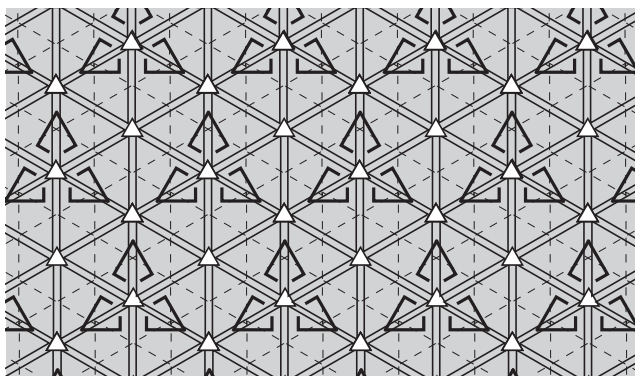
В дальнейшем будем считать группу G дискретной. Пусть F – связная замкнутая область плоскости, на которой действует группа G .

Определение 2. Область F является *фундаментальной* для G , если любая точка плоскости принадлежит орбите некоторой точки (возможно, граничной) области F , но никакие две внутренние точки области не лежат в одной орбите группы G .

Таким образом, образы области F под действием преобразований группы G различны и заполняют всю плоскость без пропусков и наложений. Другими словами, образы фундаментальной области образуют «замоещение» плоскости.

Определение 3. Дискретная группа G называется *двумерной кристаллографической группой*, если она имеет ограниченную фундаментальную область.

Например, простейшая двумерная кристаллографическая группа, обозначаемая $p1$, порождается сдвигами вдоль двух неколлинеарных осей. Ее фундаментальной областью является параллелограмм. Соответствующее разбиение плоскости показано на рис. 2.

Рис. 2. Фундаментальные области группы $p1$ Рис. 3. Орнамент с группой симметрии $p3m1$

Помимо сдвигов, кристаллографические группы могут порождаться отражениями, вращениями и скользящими отражениями (т.е. композициями отражений и сдвигов). Скажем, группа $p3m1$ порождается отражениями относительно трех сторон правильного треугольника, являющегося фундаментальной областью этой группы (рис. 3).

Нетрудно показать, что всякая двумерная кристаллографическая группа G содержит абелеву подгруппу H , состоящую из всех сдвигов в G . Более того, известно (см. [3]), что H порождается ровно двумя неколлинеарными сдвигами и имеет тип $p1$. Поэтому фундаментальная область Φ подгруппы H является параллелограммом, называемым *элементарной ячейкой* груп-

пы G . Внутри Φ фундаментальная область F группы G повторяется $|G/H|$ раз; более того, отношение площади элементарной ячейки Φ к площади области F также равно $|G/H|$. (Иногда говорят, допуская вольность речи, что размер фундаментальной области «обратно пропорционален величине группы».)

Поместив внутри фундаментальной области произвольную асимметричную фигуру, получим под действием двумерной кристаллографической группы G бесконечную периодическую структуру, обычно называемую *орнаментом* (на рис. 3 такой фигурой является \perp). Поэтому двумерные кристаллографические группы иногда называют *группами орнаментов*. Аналогично, рассмотрение плоских структур, бесконечно повторяющихся вдоль одного направления, приводит к одномерным кристаллографическим группам, называемым также *группами бордюров*. Заметим, что понятие кристаллографической группы продолжается также на размерности, большие двух, и на пространства, отличные от евклидовых.

Кристаллографические группы были открыты более 100 лет назад и с тех пор интенсивно изучались. В частности, в конце 19 в. независимо Федоровым, Шенфлисом и Барлоу было доказано, что существует только 7 одномерных и 17 двумерных кристаллографических групп. Таким образом, бесконечное множество периодических структур на плоскости естественно распадается на 24 класса, соответствующих группам бордюров и группам орнаментов.

2. Непрерывное преобразование симметрии

Все существующие в настоящее время алгоритмы классификации периодических структур опираются на классический подход: вначале на основе известных методов анализа симметрии изображения последовательно находят образующие группы, после чего группа определяется на основе анализа соотношений между образующими. Недостатком подобного подхода является его малая робастность. Как уже отмечалось во введении, говорить о симметрии реального изображения можно, как правило, только приближенно. Соответственно, образующая группы определяется с не-

которой вероятностью, а решением задачи классификации изображения можно считать только некоторое распределение вероятностей на множестве кристаллографических групп. Робастное решение соответствует унимодальному распределению с малой дисперсией. Однако последовательное нахождение образующих независимо друг от друга сглаживает распределение, делая решение менее надежным.

Целью настоящей работы является рассмотрение подхода к решению задачи классификации периодических структур, который был бы свободен от указанного недостатка. Подход основан на дальнейшем развитии метода непрерывного преобразования симметрии, предложенного в работах [8–10]. Суть подхода состоит во введении на множестве возможных фундаментальных областей изображения интегральной меры согласованности данной области с некоторой кристаллографической группой. Для построения такой меры на множестве точек изображения вначале вводится векторная функция признаков, на основе которой определяется монотонная и нормированная мера симметричности точек изображения. Затем мера симметричности на точках с помощью непрерывного интегрального преобразования продолжается на всю область. В результате такого преобразования область изображения отображается в фазовое пространство образующих группы (трансляций, отражений, вращений). После этого решение задачи классификации сводится к исследованию экстремальных свойств полученного отображения.

Для пояснения предлагаемого подхода введем строгие определения. Под изображением I в некоторой области D действительной плоскости \mathbb{R}^2 будем понимать неотрицательную ограниченную функцию $I(\vec{x})$, $\vec{x}=(x, y) \in D$. Для простоты будем считать, что I определено во всей плоскости \mathbb{R}^2 . Тогда ограничение функции I на D является фрагментом изображения структуры.

Функцией признаков Ω называется векторная функция, ставящая в соответствие точкам $\vec{x} \in D$ изображения вектор признаков $\Omega(\vec{x})=(\omega_1(\vec{x}), \omega_2(\vec{x}), \dots, \omega_n(\vec{x}))$, где $\omega_i(\vec{x})$ – некоторые инвариантные характеристики изображения в точке \vec{x} или некоторой окрестности этой точки.

Мерой сходимости точек изображения I называется функция $\mu : D \times D \rightarrow [0,1]$, удовлетворяющая следующим условиям:

1) *монотонное убывание по расстоянию*: для любых точек $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3, \bar{x}_4$ области D выполняется условие

$$\|\Omega(\bar{x}_1) - \Omega(\bar{x}_2)\| > \|\Omega(\bar{x}_3) - \Omega(\bar{x}_4)\| \Rightarrow \mu(\bar{x}_1, \bar{x}_2) < \mu(\bar{x}_3, \bar{x}_4);$$

2) *нормированность*: если $\|\Omega(\bar{x}_1) - \Omega(\bar{x}_2)\| = 0$, то $\mu(\bar{x}_1, \bar{x}_2) = 1$;

3) *доопределение на $\mathbb{R}^2 \times \mathbb{R}^2$* : если $(\bar{x}_1, \bar{x}_2) \notin D \times D$, то $\mu(\bar{x}_1, \bar{x}_2) = 0$.

Конкретный выбор меры сходимости связан со спецификой поставленной задачи. Скажем, в качестве меры сходимости можно выбрать следующую функцию:

$$\mu(\bar{x}_1, \bar{x}_2) = \frac{1}{1 + \|\Omega(\bar{x}_1) - \Omega(\bar{x}_2)\|^2}.$$

Пусть теперь g – некоторая симметрия (сдвиг, отражение, вращение) плоскости. Под *непрерывным преобразованием симметрии* изображения I по области D будем понимать преобразование вида

$$S(D, g) = \frac{1}{m(D)} \iint_D \mu(\bar{x}, g\bar{x}) d\bar{x},$$

где $m(D)$ – мера области D , под которой для простоты будем понимать ее площадь. Из неотрицательности и нормированности меры сходимости μ следует, что $0 \leq S(D, g) \leq 1$. Величина $S(D, g)$ показывает степень «согласованности» области D заданного изображения I с симметрией g . Теперь нетрудно ввести и меру согласованности области D с конечной группой G . В качестве такой меры можно принять, например, одну из следующих величин:

$$S^{(1)}(D, G) = \frac{1}{n} \sum_{g \in G} S(D, g), \quad S^{(2)}(D, G) = \left(\prod_{g \in G} S(D, g) \right)^{1/n},$$

$$S^{(3)}(D, G) = 1 - \left(\prod_{g \in G} (1 - S(D, g)) \right)^{1/n}, \quad S^{(4)}(D, G) = \max_{g \in G} S(D, g),$$

$$S^{(5)}(D, G) = \min_{g \in G} S(D, g).$$

Очевидно, что $0 \leq S^{(i)}(D, G) \leq 1$, и $S^{(5)} \leq S^{(2)} \leq S^{(1)} \leq S^{(3)} \leq S^{(4)}$.

Конкретный выбор меры согласованности может зависеть от специфики конкретной задачи распознавания симметрии, в частности, от степени зашумленности изображения. (Заметим, что ранее в [5–7] мера $S^{(1)}(D, G)$ была введена для случая конечной циклической группы.)

Недостатком введенных мер согласованности является их неприменимость в случае бесконечных групп: действительно, в этом случае пришлось бы рассматривать бесконечные ряды и произведения, с неизбежно возникающей проблемой их сходимости. В следующем разделе мы покажем, как обойти эти проблемы в случае бесконечных групп, порожденных сдвигами.

3. Определение элементарных ячеек орнаментов на основе непрерывного преобразования симметрии

Общую задачу определения группы орнамента естественно начинать с нахождения его элементарной ячейки. Покажем, как эта задача с помощью непрерывного преобразования симметрии сводится к проблеме нахождения экстремума некоторой функции.

Предположим, что I является изображением периодической структуры, соответствующей двумерной кристаллографической группе G . Пусть H – подгруппа сдвигов в G . Обозначим через t_1 и t_2 сдвиги, порождающие эту подгруппу: $H = \langle t_1, t_2 \rangle < G$. Пусть \bar{x}_0 – произвольная точка плоскости \mathbb{R}^2 . Тогда в качестве фундаментальной области Φ подгруппы H (т.е. элементарной ячейки группы G) можно взять параллелограмм с вершинами $\bar{x}_0, t_1(\bar{x}_0), t_2(\bar{x}_0), t_1 t_2(\bar{x}_0)$. Обозначим через $t_{\bar{a}}$ сдвиг плоскости на произвольный вектор \bar{a} : $t_{\bar{a}}(\bar{x}) = \bar{x} + \bar{a}, \bar{x} \in \mathbb{R}^2$. Пусть \bar{u} и \bar{v} – два произвольных неколлинеарных вектора. Зафиксируем точку \bar{x}_0 и обозначим через $D(\bar{u}, \bar{v}) = D_{\bar{x}_0}(\bar{u}, \bar{v})$ параллелограмм с вершинами в точках $\bar{x}_0, \bar{x}_0 + \bar{u}, \bar{x}_0 + \bar{v}, \bar{x}_0 + \bar{u} + \bar{v}$. Заметим, что его площадь равна модулю векторного произведения \bar{u} и \bar{v} , т.е. $m(D) = |[\bar{u}, \bar{v}]|$. Теперь на множестве $\mathbb{R}^2 \times \mathbb{R}^2$ рассмотрим функцию

$$f(\bar{u}, \bar{v}) = \inf_n \left\{ \frac{1}{(2n+1)^2} \sum_{k,l=-n}^n S(D(\bar{u}, \bar{v}), t_{\bar{u}}^k t_{\bar{v}}^l) \right\},$$

где n пробегает множество целых положительных чисел. Очевидно, что $0 \leq f(\bar{u}, \bar{v}) \leq 1$. Учитывая связь между D и векторами \bar{u}, \bar{v} , можно также считать, что функция f определена на всевозможных параллелограммах $D(\bar{u}, \bar{v})$ и писать $f = f(D)$ (рис. 4).

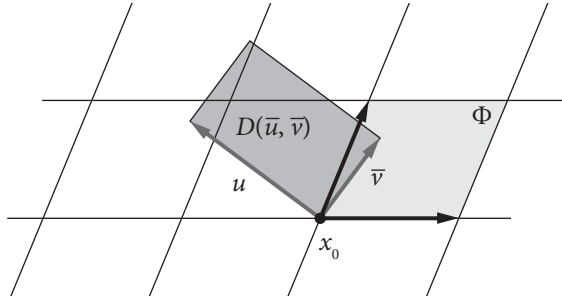


Рис. 4. Параллелограмм $D(\bar{u}, \bar{v})$ и элементарная ячейка Φ

Как нетрудно заметить, справедлив следующий результат.

Теорема 1. *Наименьший по площади параллелограмм $D = D(\bar{u}, \bar{v})$, на котором функция f достигает максимального значения 1, является элементарной ячейкой Φ двумерной кристаллографической группы G . Точнее, если $m = \min\{m(D) : f(D) = 1\}$, то $D = \Phi \Leftrightarrow f(D) = 1$ и $m(D) = m$. Соответствующие сдвиги t_u и t_v порождают подгруппу сдвигов $H < G$.*

При практическом использовании теоремы 1 следует учитывать, что реальные изображения задаются на ограниченной области X , представляющей собой, как правило, прямоугольник. Понятно, что для эффективной работы метода площадь ячейки Φ должна быть существенно меньше площади области X и с ростом отношения $m(X)/m(\Phi)$ качество работы метода возрастает. Выберем точку \bar{x}_0 вблизи геометрического центра области X и пусть $D^* \subseteq X$ представляет собой объединение $(2n_0 + 1)^2$ параллелограммов, получающихся из $D(\bar{u}, \bar{v})$ последовательными сдвигами на векторы \bar{u} и \bar{v} в обоих направлениях. Тогда легко заметить, что

$$f(\bar{u}, \bar{v}) = \min_{n \leq n_0} \left\{ \frac{1}{(2n+1)^2} \sum_{k,l=-n}^n S(D(\bar{u}, \bar{v}), t_u^k t_v^l) \right\}.$$

Тем самым задача построения элементарной ячейки орнамента сводится к нахождению экстремумов функции $f = f(\bar{u}, \bar{v}) = f(u_x, u_y, v_x, v_y)$ четырех действительных переменных, являющихся координатами векторов \bar{u} и \bar{v} , при ограниченной вариации параметра n . Для ее решения можно воспользоваться одним из стандартных методов, например, методом градиентного спуска. При этом границы изменения параметра n определяются размерами изображения и векторами \bar{u} и \bar{v} . Выбор их начальных приближений \bar{u}_0 и \bar{v}_0 оказывает большое влияние на скорость сходимости метода. Для оптимального выбора \bar{u}_0 и \bar{v}_0 целесообразно использовать дополнительную информацию об изображении I , получаемую, например, на основе анализа автокорреляционной функции, преобразования Фурье, вейвлет-анализа и т.п.

Аналогичный подход может быть использован для выделения фундаментальных областей на изображениях двумерных периодических структур.

Выводы

Показано, как непрерывное преобразование симметрии может быть использовано для решения задачи выделения элементарной ячейки изображения периодической структуры на плоскости с целью определения соответствующей этой структуре двумерной кристаллографической группы.

Литература

1. Gool L., Moons T., Ungureanu D., Pauwels E. Symmetry from Shape and Shape from Symmetry. *Int. J. Robotics Res.*, 14 (5), 1995. Pp. 407–424.
2. Желудев И.С. Симметрия и ее приложения. – М.: Энергоатомиздат, 1983.
3. Schattschneider D. The plane symmetry groups: their recognition and notation // *Amer. Math. Monthly*. 1978. №85. Pp. 439–450.
4. Shen D., Ip H.H.S., Teoh E.K. Robust Detection of Skewed Symmetries by Combining Local and Semi-Local Affine Invariants. // *Pattern Recognition*, Vol. 34. 2001. Pp. 1417–1428.
5. Friedberg S.A. Finding Axes of Skewed Symmetry // *Computation Vision Graphics Image Process*. 1986. Vol. 34. Pp. 138–155.

6. Никулин В.В., Шафаревич И.П. Геометрии и группы. – М.: Наука, 1983.
7. Gallian J.A. Contemporary Abstract Algebra. Houghton Mifflin Company, 2002.
8. Gorban A.S., Karkishchenko A.N. Detection of symmetry of images based on similarity measures of sets. Proc. of 9th Int. Conference «Pattern Recognition and Image Analysis». Nizhni Novgorod. 2008. Pp. 261–264.
9. Горбань А.С., Каркищенко А.Н. Инвариантные характеристики в задачах обнаружения симметрии изображений // Вторая Международная конференция «Системный анализ и информационные технологии» САИТ-2007 (10–14 сентября 2007 г., Обнинск, Россия): Труды конференции. В 2 т. Т. 2. – М.: Изд-во ЛКИ, 2007. С. 210–212.
10. Горбань А.С., Каркищенко А.Н. К определению мер сходства полутоновых изображений. «Интеллектуальные САПР» журнала «Известия ЮФУ. Технические науки». Таганрог. №4. 2008. С. 98–103.
11. Gross A.D., Boulton T.E. Analyzing Skewed Symmetries // Int. J. Comput. Vision, Vol. 13. 1994. Pp. 91–111.
12. Cham T.J., Cipolla R. Symmetry Detection through Local Skewed Symmetries. // Image Vision Comput. Vol. 13 (5). 1995. Pp. 439–450.
13. Liu Y., Collins R.T., Tsin, Y. A computational model for periodic pattern perception based on frieze and wallpaper groups // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 2004. № 26(3) Pp. 354–371.
14. Liu Y., Collins R.T. A computational model for repeated pattern perception using frieze and wallpaper groups // Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2000. Pp. 537–544.
15. Gross A.D., Boulton T.E. Analyzing skewed symmetries // International Journal of Computer Vision. 1994. № 13(1). Pp. 91–111, 1994.
16. Liu Y., Collins R.T. Skewed symmetry groups // Proceedings of the 2001 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Vol. 1. 2001. Pp. 872–879.
17. Liu Y., Collins R.T. Frieze and Wallpaper Symmetry Groups Classification under Affine and Perspective Distortion // CMU-RI-TR-98-37. 1998. July.

18. *Liu Y., Collins R.T.* Periodic Pattern Analysis under Affine Distortions Using Wallpaper Groups // AFPAC, 2000. Pp. 241–250.
19. *Lee S.K., Collins R.T., Liu Y.X.* Rotation symmetry group detection via frequency analysis of frieze-expansions // Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2008. Pp. 1–8.
20. *Liu Y., Collins R.T., Tsin Y.* Gait Sequence Analysis Using Frieze Patterns // ECCV. 2002. №2. Pp. 657–671
21. *Liu Y., Collins R.T.* Shape Variation-Based Frieze Pattern for Robust Gait Recognition. Proceedings of the 2007 International Conference of Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR, 2007).
22. *Lin H.-C., Wang L.-L., Yang S.-N.* Extracting Periodicity of a Regular Texture Based on Autocorrelation Functions // Pattern Recognition Letters. 1997. V. 18. Pp. 433–443.
23. *Liu Y., Lin W., Hays J.* Near-regular texture analysis and manipulation. ACM Trans. Graph. 2008. V. 23. № 3. Pp. 368–376.

УДК 004.932.72'1

Броневи́ч А.Г., Мельниченко А.С.

Автоматическая аннотация изображений на основе выделения низкоуровневых текстурных признаков¹

Ключевые слова:

автоматическая аннотация изображений, поиск изображений, низкоуровневые признаки, кластеризация, байесовское оценивание.

Введение

Автоматическую аннотацию изображений можно рассматривать как проблему классификации, состоящую в том, что предъявляемому изображению необходимо поставить в соответствие список ключевых слов из заданного словаря. При этом данная классификация должна производиться только на основе визуальной информации, содержащейся в изображении. Можно рассматривать два подхода к аннотации изображений. Первый подход связан с анализом текстурных признаков изображений, которые можно рассматривать как некоторые статистические характеристики изображения, дающие оценки однородности фона, оценки направленности градиентов, грубости изображения и др. Данные оценки затем используются для классификации изображения: является ли изображение фотографией города, природного ландшафта, имеются ли на изображении деревья и пр. Второй подход связан с анализом семантики изображения, т.е. с использованием высокоуровневых признаков. Его трудно реализовать в

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проекты № 10-07-00478, № 10-07-00135, № 08-07-00129.

практических приложениях, поскольку требуется строить методы понимания изображений по уровню, близкому к человеческому восприятию, и его можно реализовать лишь для очень ограниченного класса изображений.

В работе рассматривается подход к аннотации изображений на основе использования текстурных низкоуровневых признаков (НП). В качестве признаков выбираются статистические характеристики изображения, включающие оценки неоднородности фона, гистограмму направленности градиентов, контраста и грубости изображения. Далее с помощью алгоритмов кластеризации из данных признаков формируются вторичные информационные признаки (ВП), по которым и производится автоматическая аннотация изображений на основе байесовского оценивания вероятности того, что предъявляемому изображению соответствует ключевое слово. Отметим, что эта классификация осуществляется после этапа обучения, на котором анализируются характеристики изображений, которым поставлены в соответствие наборы ключевых слов. Данные аннотированные изображения были взяты из открытых баз данных [1].

Статья имеет следующую структуру. В первом разделе статьи анализируются основные проблемы автоматической аннотации изображений, приводится общая структура системы аннотации изображений и основные требования к свойствам отдельных ее частей. Во втором разделе рассматриваются основные известные подходы к задаче автоматической аннотации и делаются выводы об эффективности известных подходов и наиболее перспективных направлениях исследований. Третий раздел посвящен описанию глобальных НП изображений. В четвертом разделе статьи описано получение из НП изображений ВП, необходимых для последующей классификации изображений. В пятом разделе приведена вероятностная модель классификации изображений по ключевым словам на основе ВП. И, наконец, в последнем разделе статьи описана реализованная программная система, производящая автоматическую аннотацию изображений и представлены результаты ее работы.

1. Основные проблемы автоматической аннотации изображений и перспективы их решения

Автоматическую аннотацию изображений можно рассматривать в рамках теории искусственного интеллекта. В этом случае ее можно определить как описание изображения с помощью естественного языка или его моделей. Иными словами, требуется получить описание изображения, адекватное с точки зрения человеческого восприятия. Как отмечалось выше, поскольку автоматическое получение сложных описаний, отражающих семантическую зависимость объектов на изображении, крайне затруднительно для широкого класса изображений, то далее мы будем рассматривать наиболее простую модель, представляющую описание изображения с помощью списка ключевых слов.

В качестве слов для аннотации изображений будут рассматриваться слова общего плана такие, как «море», «дерево», «ландшафт», «город», характеризующие изображение в целом. Очевидно, что такие характеристики изображения могут быть выявлены с помощью НП. Фотографии, сделанные в городе, характеризуются наличием искусственно произведенных объектов, которые, в свою очередь, характеризуются наличием контуров, которые хорошо аппроксимируются прямыми линиями; деревья имеют своеобразную текстуру и свои особенные цветовые характеристики, такие же особенности имеют, например, морские пейзажи, изображения домов и пр. Дальнейшее усложнение задачи аннотации изображения связано с выделением объектов на изображении и их распознаванием. Данное описание изображений требует выделения высокоуровневых признаков изображений, которые не рассматриваются в статье.

НП могут быть вычислены либо для всего изображения в целом, либо для отдельных его частей. В последнем случае требуется провести сегментацию изображения на однородные в текстурном смысле области, и тогда аннотируется каждая выделенная область изображения. В этом случае, очевидно, процедура аннотации должна работать точнее, однако сама проблема аннотации остается той же, как и для всего изображения. Отметим, что в литературе НП, вычисляемые для связных областей изображения, принято называть *региональными*, а вычисляемые для всего изображения – *глобальными*.

Как правило, глобальные НП изображения представляют собой либо некоторые числовые характеристики изображения, либо некоторые статистические выборки, которые можно описывать гистограммами. Например, таким способом можно описать распределение цветов на изображении, распределение направлений градиентов и пр. Данные характеристики должны быть устойчивыми к изменениям освещенности изображения, а также к масштабированию. Поскольку, очевидно, невозможно явным образом построить связь между НП изображений и ключевыми словами, задача аннотации изображений сводится к проблеме распознавания образов: имеется обучающая выборка из аннотированных изображений, по которой требуется построить решающие функции, позволяющие классифицировать произвольное изображение по ключевым словам. Особенности данной задачи распознавания образов состоят в следующем:

1. Большое число классов, по которым требуется классифицировать изображение (равно объему словаря ключевых слов).
2. Классы друг с другом, как правило, имеют непустое пересечение.
3. Невозможно точно определить границы между классами.
4. Многие НП можно рассматривать в качестве независимой статистической выборки случайной величины, характеризующей изображение.
5. Высокая размерность образов, подлежащих распознаванию.

Рассмотренные особенности легко вывести из природы поставленной задачи. Например, пейзаж города может характеризоваться наличием домов, деревьев, который может частично перекрываться и морским пейзажем. С другой стороны, наличие пальмы не означает, что съемка была произведена на улице, а не в помещении. Если мы будем классифицировать изображения ключевыми словами: «день», «утро», «вечер», «ночь», то сложно провести четкую границу между утром и ночью, днем и вечером. При этом для качественной классификации требуется извлечь из изображения как можно больше признаков, что, в свою очередь, приводит к высокой размерности образов.

Учитывая основные особенности поставленной задачи, рассмотрим общую структуру системы аннотации изображений, изображенную на рис. 1.

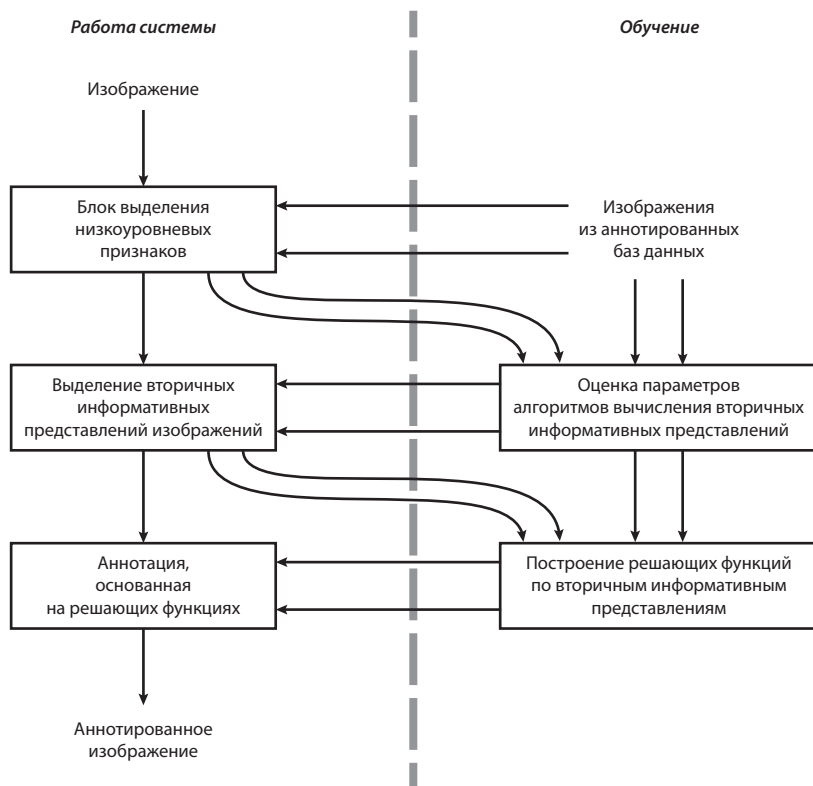


Рис. 1. Общая структура системы аннотации изображений

Согласно этой общей схеме, из изображения вначале выделяются НП, затем на основе этих признаков строятся ВП, которые можно рассматривать, например, как результат действия некоторого алгоритма снижения размерности исходных образов. После этого по ВП строится аннотация, основанная на использовании решающих функций. Отметим, что параметры алгоритмов выделения вторичных информативных признаков и решающие функции находятся на этапе обучения, во время которого анализируются выборки аннотированных изображений из специальных баз данных.

Приведем основные требования к свойствам НП:

- инвариантность относительно масштабирования изображения и условий освещения;

- б) желательно, чтобы различные НП имели слабую корреляцию друг с другом;
- в) «мощность» НП должна быть адекватной мощности используемого словаря ключевых слов.

Отметим, что алгоритмы выделения ВП должны:

- а) выявлять наиболее содержательную информацию из независимых выборок с точки зрения последующего распознавания;
- б) быть приспособленными для работы с широким классом НП;
- в) давать однородный тип информации, позволяющий регулярным образом строить решающие функции на последующих шагах распознавания.

Что же касается решающих функций, то здесь нет достаточно точных рекомендаций для алгоритмов их построения, поскольку данные процедуры зависят от вида полученных ВП. Например, если ВП являются дискретными, то для построения решающих функций могут использоваться вероятностные байесовские модели оценивания, модели, основанные на байесовских решающих сетях или деревьях решений. При этом желательно, чтобы система аннотирования выдавала линейно упорядоченный список ключевых слов с числовой степенью «релевантности» каждого ключевого слова к анализируемому изображению.

2. Обзор известных методов аннотирования изображений

Классификацию методов аннотирования изображений проводят согласно различным критериям, например, по способу построения НП и по типу используемого классификатора [2, 3].

НП некоторого изображения могут быть выделены и представлены тремя способами: с использованием региональных, глобальных признаков, сигнатур изображений. Для построения региональных представлений изображений существует две стратегии: деление изображения на определенное количество блоков фиксированного размера или на некоторое количество регионов произвольной формы (полученных, как правило, в результате работы алгоритмов сегментации). В таком случае каждому региону изобра-

жения на первом этапе работы алгоритма ставится в соответствие вектор. При выделении глобальных НП один или несколько векторов признаков вычисляются с использованием всех пикселей изображения, т.е. они описывают все изображение в целом. Можно отметить, что среди 16 рассмотренных в обзоре [2] систем автоматического аннотирования 9 используют региональное представление с разбиением изображения на одинаковые блоки, 2 – с разбиением на регионы более сложной формы и остальные 5 используют глобальное выделение признаков. Хотя разбиение изображения на блоки реализовать проще, такое представление мало согласуется с семантическим разбиением изображения на объекты. Использование же регионального представления на основе сегментации вычислительно сложнее и сильно зависит от используемого алгоритма. Общим же вопросом при использовании региональных представлений является то, что ключевое слово, присвоенное изображению, не всегда соответствует конкретному его региону. Также для низкоуровневого представления изображений используют сигнатуры – наборы из нескольких элементов разной природы, например, векторов и чисел или обозначений пространственных отношений типа выше/слева/внутри.

Для вычисления как глобальных, так и региональных представлений могут использоваться цветовые и текстурные характеристики, характеристики формы регионов. Так как вычисление признаков изображения представляет собой, как правило, самый вычислительно сложный этап алгоритма аннотации, процедура их вычисления должна быть одновременно достаточно простой и в то же время давать достаточное для дальнейшей работы количество информации. В большинстве работ, использующих какое-либо региональное представление, используется комбинация из цветовых и текстурных признаков: гистограмм цветов и распределений градиентов [4], средний цвет, моменты инерции, цветовые и текстурные вариации [5], гистограммы в различных цветовых пространствах, коэффициенты вейвлет-разложений [6]. В работе [7] сигнатуру изображения формируют два множества пар вектор-число, соответствующих цветовым

и текстурным НП. Для получения цветового представления изображения производится кластеризация всех точек на основании их значения цвета, для каждого полученного кластера берется вектор средних значений цветов и число, представляющее долю точек кластера во всем изображении. Сходным образом вычисляются текстурные признаки, при вычислении которых вместо значений цветов используются значения коэффициентов вейвлет – преобразования компоненты интенсивности изображения. Существует ряд работ, где глобальные и региональные признаки используются совместно [8].

Среди подходов к построению модели аннотирования (классификатора, решающих функций) большую группу составляют вероятностные классификаторы. Так, байесовский классификатор может быть использован для описания зависимости между случайными переменными (признаками) и построения приближения плотности из совместного распределения. Существует группа методов на основе байесовской классификации, использующих понятия релевантности и «перевода» признаков в слова, заимствованные из области информационного поиска и машинного лингвистического перевода. В рамках первых моделей из этой группы [4, 5] изображение с помощью регулярной сетки делится на равные прямоугольные части, каждый вектор признаков отдельного региона соотносится с одним ключевым словом с помощью оценки вероятностей одновременного появления на данном изображении ключевого слова и полученного признака. Усовершенствованием этих моделей является модель кросс-медиа поиска по релевантности (Cross-Media Relevance Model, CMRM) [9, 10]. Строится вероятностная модель, которая позволяет предсказать на основе набора регионов нового изображения вероятность соответствия ему ключевого слова. Главное отличие метода от предыдущих состоит в том, что слова присваиваются всему изображению в целом, а не отдельным регионам, что лучше соответствует модели человеческого восприятия изображений. Кроме того, в [8] сделана попытка использования CMRM модели совместно

с глобальными признаками изображений, а также учета корреляции слов, появляющихся в аннотациях изображений обучающей выборки.

Другой группой методов являются методы, основанные на кластеризации пространства НП с использованием некоторой специальной метрики и классификатора. В [7] производится кластеризация сигнатур с использованием алгоритма кластеризации дискретных распределений, основанного на расчете расстояния между сигнатурами, представляющего сумму квадратов расстояний Маллоу (Mallows distance) между парами векторов признаков. Вычисление этого расстояния сводится к решению некоторой транспортной задачи, для чего существуют эффективные алгоритмы. Предложенный в данной работе алгоритм реализован в одной из реально действующих в Интернет систем автоматического аннотирования и поиска изображений Alipr².

Самым простым способом классификации, не требующим предварительного обучения, является классификация по методу k -ближайших соседей (k -NN). Так, авторами [11] признаки изображений на основе дискретного косинусного преобразования используются для классификации изображений с помощью k -NN на съемку в/вне помещения, «закрытые» ландшафты (долины, горы, леса) и «открытые» ландшафты (пустыни, поля, пляжи). В [12] региональные представления изображений на основе цветовых и текстурных характеристик используются совместно с k -NN для классификации изображений на 20 категорий.

3. Алгоритмы выделения низкоуровневых признаков

Гистограммы ориентаций градиентов. При обработке изображений нахождение границ (краев) на основе вычисления градиента изображения часто используется для выделения и распознавания объектов (например, методы построения признаков на основе гистограмм ориентаций границ (edge orientation histogram) [13], инвариантного к масштабированию преобразования признаков (scale-invariant feature transform) [14], контекста

² www.alipr.com – Automatic Photo Tagging and Visual Image Search Service – 2006.

формы (shape contexts) [15]). С помощью метода построения гистограмм ориентаций градиентов (Histogram of Oriented Gradient, HoG) [16, 17] можно определить наличие локальных объектов на нем и распознать их форму.

Вычисление HoG-дескрипторов производится следующим образом. На изображении вводится прямоугольная сетка, состоящая из малых пространственных регионов – «клеток», объединенных в большие пересекающиеся области – блоки. Не теряя общности, далее будем рассматривать квадратную сетку, изображенную на рис. 2. Параметрами данной сетки являются длина стороны клетки c (в пикселях), длина стороны блока a (в клетках) и смещение блока d (число клеток, на которое пересекаются соседние блоки).

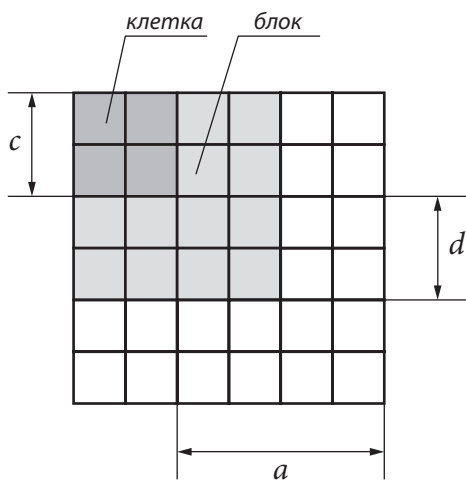


Рис. 2. Квадратная сетка клеток и блоков для построения HoG-дескриптора

Для цветного изображения, представленного тремя цветовыми компонентами в цветовом пространстве RGB , вычисляются матрицы значений градиента с помощью конечных разностей в горизонтальном и вертикальном направлениях для каждого цветового канала. Затем для каждой точки в качестве модуля и ориентации градиента берутся значения модуля и ориентации в цветовом канале с наибольшим модулем. После этого для

каждой клетки блока вычисляется гистограмма направлений градиентов. Гистограммы всех клеток, входящих в один блок, объединяются и образуют вектор коэффициентов блока. Нормализация каждого такого вектора осуществляется путем деления его на нормирующий множитель, равный норме этого вектора. Затем векторы коэффициентов всех блоков (в порядке от правого верхнего к левому нижнему) объединяются в общий HoG-дескриптор изображения.

Следует отметить, что нормализация градиента в пределах достаточно большого пространственного региона блока ведет к инвариантности относительно локальных изменений освещенности, например, к теням.

Признак однородности фона. *Фоном изображения* называют области компактно расположенных пикселей, обладающих примерно одинаковыми цветовыми признаками, и когда относительная площадь этих областей весьма велика и составляет значительную долю изображения. Признаки фона могут быть полезными, например, для различения таких типов сцен, как пейзаж и портрет, ландшафт и макросъемка. Одним из таких признаков является показатель однородности фона [18], который вычисляется с помощью энтропии Шеннона для каждого из цветовых каналов изображения.

Рассмотрим цветное изображение в формате RGB , причем предположим, что элементы его цветовых компонент принимают значения из диапазона $0, 1, \dots, M$. Причем, если используется стандартное восьмибитовое представление изображения, то $M=255$. Для каждой из цветовых компонент определим соответствующие гистограммы $h^{col}(i)$, $col=R, G, B$, $i \in \{1, \dots, M\}$, для которых энтропия рассчитывается с помощью выражения:

$$S^{col} = - \sum_{i=0}^M h^{col}(i) \log(h^{col}(i)).$$

На основании полученного значения энтропии определяется признак содержания фона в каждой из цветовых компонент изображения:

$$\pi_{bg}^{col} = 1 - S^{col} / \log M, \quad col = R, G, B.$$

Отметим, что $\pi_{bg}^{col} \in [0, 1]$. Общий признак содержания фона есть $\pi_{bg} = \pi_{bg}^R \pi_{bg}^G \pi_{bg}^B$.

Построение цветowych гистограмм

Распределение цветов на изображении – очень важная для зрительного восприятия человека характеристика. Большое значение для вычисления цветowych характеристик имеет выбор цветowego пространства. Кроме *RGB*, в обработке изображений часто используются цветowych пространства *HSV*, *YUV* и другие. Еще одним важным примером цветowego пространства, цвета в котором хорошо согласуются с человеческим восприятием цвета, является пространство *CIELab*. При разработке *CIELab* преследовалась цель создания цветowego пространства, изменение цвета в котором будет линейным с точки зрения человеческого восприятия, т.е. одинаковое изменение значений цвета в разных областях цветowego пространства будет производить одинаковое ощущение изменения цвета.

Смысл цветowych компонент точки в пространстве *CIELab* состоит в следующем. Координата *L* задает «светлоту» цвета; хроматическая составляющая – двумя полярными координатами *a* и *b*, показывающими положение цвета в диапазоне от зеленого до пурпурного и от синего до желтого соответственно.

Для достижения инвариантности к освещению отбросим координату *L*, а в качестве вектора признаков изображения построим двумерную гистограмму из $m_a \times m_b$ ячеек. Число ячеек выбирается эмпирически и не должно быть слишком большим во избежание получения слишком большой размерности признаков. В качестве значений данных параметров можно взять $m_a = m_b = 8$.

Текстурные признаки изображений

Текстура является очень важным с точки зрения восприятия и распознавания объектов человеком свойством изображений, способным определять свойства поверхностей различных областей изображения. Одним из наиболее информативных текстурных признаков считается введенный в [19] признак, включающий такие характеристики, как грубость (*coarseness*), контраст (*contrast*), направленность (*directionality*) текстуры.

Обозначим через $I_{i,j}$ интенсивность (яркость) пикселя (*i, j*) анализируемого изображения. Тогда для вычисления грубости текстуры в каждом

пикселе точке (l, m) изображения рассчитываются шесть значений средней интенсивности пикселей в окне размером $2^k \times 2^k$, $k=0, 1, \dots, 5$:

$$E_k(x, y) = \frac{1}{2^{2k}} \sum_{i=l-2^{k-1}}^{l+2^{k-1}} \sum_{j=m-2^{k-1}}^{m+2^{k-1}} I_{i,j}.$$

Затем для каждого пикселя (l, m) вычисляются абсолютные разности между парами средних интенсивностей в непересекающихся окнах в горизонтальном и вертикальном направлениях:

$$\begin{aligned} \Delta_{k,h}(x, y) &= \left| E_k(l+2^{k-1}, m) - E_k(l-2^{k-1}, m) \right| \\ \Delta_{k,v}(x, y) &= \left| E_k(x, y+2^{k-1}) - E_k(x, y-2^{k-1}) \right|. \end{aligned}$$

Для пикселя (l, m) находится значение k , которое дает максимальные значения вертикальной разности $\Delta_{k,h}(x, y)$ и горизонтальной разности $\Delta_{k,v}(l, m)$ и в качестве наилучшего размера окна для (l, m) берется $k_{best}(l, m) = 2^k$. Тогда значение признака грубости текстуры для изображения размером $N_x \times N_y$ берется равным среднему значению наилучшего размера для всего изображения:

$$\pi_{crs} = \frac{1}{N_x N_y} \sum_{i=1}^{N_x} \sum_{j=1}^{N_y} k_{best}(i, j).$$

Признак, характеризующий контраст, является показателем того, как уровни серого варьируются в пределах изображения, и в какой степени их распределение смещено к белому или черному. Для вычисления контраста используются центральные моменты второго и четвертого порядков гистограммы уровней серого изображения (цветные изображения необходимо преобразовать его в изображение в серых тонах), и значение признака определяется как:

$$\pi_{con} = \tilde{\sigma}^2 / (\tilde{\mu}_4)^{1/4},$$

где $\tilde{\sigma}$, $\tilde{\mu}_4$ – оценки среднеквадратичного отклонения и эксцесса.

Еще одним признаком текстуры согласно [19] является направленность. Строится гистограмма направлений градиента $h_{dir}(\theta)$ и вычисляется степень направленности, связанная с величинами пиков гистограммы:

$$\pi_{dir} = \sum_{i=1}^{n_{peaks}} \sum_{\theta \in \Theta_i} (\theta - \theta_i)^2 h_{dir}(\theta),$$

где n_{peaks} – число пиков гистограммы, больших некоторого порога; θ_i – соответствующее i -му пику значение угла θ ; Θ_i – заданная окрестность i -го пика.

4. Выделение вторичных информативных признаков на основе процедур кластеризации

Для построения ВП изображений будем использовать обучающую выборку изображений Q , $|Q|=N$. Условимся в дальнейшем обозначать через I изображение из обучающей выборки, через J — новое изображение, подлежащее аннотированию. В результате выделения r типов НП из обучающей выборки, получим выборки векторов-признаков Π_p , $i=1, \dots, r$, соответствующих выбранным НП. Возможен случай, когда для некоторого изображения невозможно извлечь признаки всех r типов. Например, для изображения в оттенках серого нельзя построить гистограмму распределения цветов.

Далее производится кластеризация каждой выборки НП Π_p , $i=1, \dots, r$, на k_i кластеров $Cl_{i,j}$, $j=1, \dots, k_i$. Каждый кластер $Cl_{i,j}$ характеризуется своим центром $C_{i,j}$, т.е. средним значением входящих в него векторов-признаков. В результате получим «словарь» признаков

$$B = \{C_{i,j}\}_{i=1,\dots,r, j=1,\dots,k_i}, \quad |B| = \sum_{i=1}^r k_i = k.$$

При дальнейшем построении вероятностной модели все элементы словаря должны быть равноценны. Перенумеруем элементы B числами от 1 до k , т.е. поставим в соответствие признаку $C_{i,j}$ метку-число $b(i, j) = \sum_{j=1}^{i-1} k_j + j$. В действительности элементы $C_{i,j}$ могут иметь различную природу (например, могут быть одиночными числами или векторами различной размерности) и быть несравнимы. В то же время информация о $C_{i,j}$ необходима для построения представлений некоторого изображения с помощью «слов» из словаря B . Далее, чтобы построить набор ВП анализируемого изображения J , для каждого из s ($s \leq r$) выделенных НП x_i , $i=1, \dots, s$ для изображения J ищется ближайший из центров кластеров соответствующего типа и в представление рассматриваемого изображения добавляется соответствующая этому центру кластера метка:

$$\hat{j}_i = \arg \min_{j=1,\dots,k_i} \|x_i - Cl_{i,j}\|, \quad J \sim \{b(i, \hat{j}_1), b(i, \hat{j}_2), \dots, b(i, \hat{j}_s)\}$$

Аналогично словарю признаков изображений будем рассматривать словарь ключевых слов W , используемых для построения аннотаций.

5. Выбор ключевых слов с помощью байесовского оценивания

Согласно постановке задачи для каждого предъявляемого изображения J , описываемого набором ВП $\{b_1, \dots, b_s\}$, необходимо построить список ключевых слов $\{w_1, w_2, \dots, w_i\}$, $w_i \in W$, наиболее адекватно описывающий изображение J . Этот список будем строить на основе оценок условных вероятностей $P\{w|b_1, \dots, b_s\}$ того, что изображение J аннотируется ключевым словом $w \in W$ при условии, что описывается набором значений ВП $\{b_1, b_2, \dots, b_s\}$, $b_i \in B$. Так как представление изображения с помощью ВП словаря B приближенно описывает изображение, будем считать $P(w|J) \approx P(w|b_1, b_2, \dots, b_s)$.

Для оценки совместного распределения слова w и признаков $\{b_1, b_2, \dots, b_s\}$ на изображении используем обучающую выборку изображений Q . Отметим, что в силу большой размерности пространства признаков и относительно небольшой обучающей выборки качественно оценить данные вероятности практически невозможно без дополнительных априорных предположений о виде совместной вероятностной функции распределения ВП и ключевых слов. Для этого можно использовать различные, известные из литературы аппроксимации, например, используемые в языковых вероятностных моделях [20], которые предполагают независимое влияние признаков на выбор ключевых слов:

$$P(w, b_1, \dots, b_s) = \sum_{I \in Q} P(I) P(w, b_1, \dots, b_s | I) = \frac{1}{|Q|} \sum_{I \in Q} P(w | I) \prod_{i=1}^s P(b_i | I),$$

где $P(a|I)$, $a=w, b_1, \dots, b_k$ – усредненные оценки вероятностей того, что значение признака (ключевое слово) соответствует изображению $I \in Q$.

Таким образом, по формуле Байеса получаем:

$$P(w | J) \approx \frac{P(w, b_1, b_2, \dots, b_s)}{P(J)} = \frac{1}{|Q| P(J)} \sum_{I \in Q} P(w | I) \prod_{i=1}^s P(b_i | I).$$

Поскольку вероятность $P(J)$ не зависит от ключевого слова w , получаем, что вероятность появления слова w в аннотации изображения J можно ранжировать по значениям показателя:

$$\tilde{P}(w | J) P(J) |Q| = \sum_{I \in Q} P(w_j | I) \prod_{i=1}^s P(b_i | I).$$

Вероятности, аналогичные $P(w|I)$ и $P(b|I)$, вычисляются в так называемых языковых моделях, описывающих распределение «слов» из некоторого словаря в документе. Так как в нашем случае и ВП, и ключевые слова можно рассматривать как «слова» из словарей B и W соответственно, можно применить оценки для $P(w|I)$ и $P(b|I)$ из теории языковых моделей. Рассматриваемый случай независимости отдельных элементов словарей соответствует случаю так называемому 1-грам, для которых оценки вычисляются по формулам:

$$P(w|I) = (1-\alpha) \frac{N(w,I)}{|I|} + \alpha \frac{N(w,Q)}{|Q|},$$

$$P(b|I) = (1-\beta) \frac{N(b,I)}{|I|} + \beta \frac{N(b,Q)}{|Q|},$$

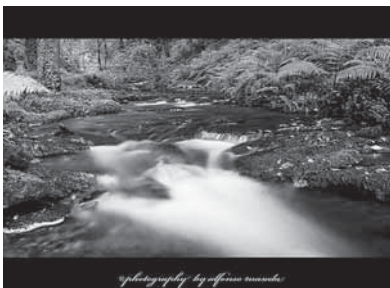
где $N(w, I)$ и $N(w, Q)$ – количество появлений слова w в аннотации изображения I и во всех аннотациях обучающей выборки, соответственно, $|I|$ – общее число слов и признаков у изображения; $N(b, I)$ и $N(b, Q)$ имеют тот же смысл в отношении признаков b ; α и β – усредняющие параметры.

Необходимость сглаживания возникает в условиях неполноты обучающей выборки и большой разреженности появления многих слов в ней. При таких условиях прямое использование метода максимального правдоподобия для оценки $P(w, b_1, \dots, b_s)$ приводит зачастую к нулевой оценке, что не может быть в принципе. Общая идея сглаживания состоит в том, что отсутствие слова или признака у изображения не означает невозможность его появления для данного изображения, но вероятность этого события должна быть не больше, чем вероятность появления этого элемента во всей выборке. Для языковых моделей 1-грам параметры сглаживания [20] обычно выбираются в пределах от 0,6 до 0,8.

Упорядочив ключевые слова $w \in W$ по уменьшению значений показателя $\tilde{P}(w|J)P(J)|Q$, строим аннотацию изображения J , выбирая наиболее вероятные ключевых слова $\{w \in W \mid \tilde{P}(w|J)P(J) \mid Q \mid > \tau\}$, где положительное τ – это некоторое пороговое значение.

6. Система аннотирования изображений и результаты ее работы

Программная реализация системы автоматического аннотирования изображений была проведена на языке Java. Так как в настоящее время в свободном доступе не существует подходящих для обучения коллекций изображений с аннотациями на русском языке, для обучения алгоритма использовалась выборка аннотированных изображений, построенная на основе коллекций изображений *mirflickr08* [1]. Оригинальная версия этой коллекции состоит из 25 тыс. изображений, представляющих собой снимки различного качества множества объектов и сцен. Аннотации изображений коллекции *mirflickr08* состоят из слов на семи различных языках. Для построения словаря ключевых слов W из множества слов, встречающихся в аннотациях изображений коллекции, были выбраны l слов английского языка, обозначающих наиболее общие сцены и объекты. В обучающую выборку Q были включены изображения, имеющие в своих аннотациях не менее трех слов из построенного словаря ключевых слов. Следует отметить, что, так как большое количество слов, не входящих в словарь ключевых слов, а также слов на других языках, пришлось отбросить, аннотации изображений в полученной выборке оказались довольно разреженными, что не лучшим образом сказывается на обучении алгоритма. Построенный таким образом словарь ключевых слов состоит из 20 слов и обучающая выборка состоит из 2156 изображений. На рис. 3 приведены примеры работы реализованной системы автоматической аннотации изображений.



Water, sun, landscape, outdoor, lake



Night, tree, landscape, city, sky, light

Рис. 3. Результаты работы системы автоматической аннотации изображений

Заключение

В работе дается общая схема системы аннотации изображений на основе анализа НП и анализ сопутствующих алгоритмов. Обсуждаются необходимые свойства НП, такие, как инвариантность к освещенности сцены и к масштабированию изображений. Приводятся подробные описания алгоритмов выделения НП, основанных на анализе направлений градиента, цветовых и текстурных характеристик изображений, на оценке однородности фона. В работе предлагается эту извлекаемую информацию анализировать с помощью процедур кластеризации НП, в результате чего получаются ВП, характеризующиеся центрами построенных кластеров. Дальнейшая процедура аннотации основана на оценивании условных вероятностей в рамках сглаживающей модели 1-грам, которая широко используется в теории языковых моделей. Хотя результаты аннотации изображений, полученные в результате реализации предложенных алгоритмов, являются вполне удовлетворительными, имеется возможность их улучшения за счет поиска более эффективных алгоритмов выделения ВП и построения на их основе решающих функций. Данное исследование, по-видимому, должно проводиться на основе применения более сложных вероятностных моделей теории неточных вероятностей, которая позволяет более адекватно учитывать возникающие типы неопределенности обрабатываемой информации.

Литература

1. *Huiskes M. J., Lew M. S.* The mir flickr retrieval // Proceedings of the 2008 ACM International Conference on Multimedia Information Retrieval. 2008. Vol. 1. Pp. 18–21.
2. *Tsai C, Hung C.* Automatically Annotating Images with Keywords: A Review of Image Annotation Systems // Recent Patents on Computer Science. 2008. Vol. 1. Pp. 55–68.
3. *Hanbury A.* A survey of methods for image annotation // Journal of Visual Languages & Computing. 2008. Vol. 19(5). Pp. 617–627.

4. *Mori Y., Takahashi H., Oka R.* Image-to-word transformation based on dividing and vector quantizing images with words // *Neural Networks*. 1999. Vol. 1. Pp. 405–409.
5. *Duygulu P., Barnard K., de Fretias N., Forsyth D.* Object recognition as machine translation: Learning a lexicon for a fixed image vocabulary // *Proceedings of the European Conference on Computer Vision*. 2002. Vol. 2 Pp. 97–112.
6. *Yavlinsky A.* Image indexing and retrieval using automated annotation: Ph.D. thesis / University of London, Imperial College of Science, Technology and Medicine; Department of Computing. 2007.
7. *Li J., Wang J. Z.* Real-time computerized annotation of pictures // *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 2008. Vol. 30(6). Pp. 985–1002.
8. *Wang Y., Mei Y., Gong S., Hua X-S.* Combining global, regional and contextual features for automatic image annotation // *Pattern Recognition*. 2009. Vol. 42. Pp. 259–266.
9. *Jeon J., Lavrenko V., Manmatha R.* Automatic image annotation and retrieval using cross-media relevance models // *Proceedings of the ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval*. 2003. Vol. 1. Pp. 119–126.
10. *Lavrenko V., Choquette M., Croft W. B.* Cross-lingual relevance models // *Proceedings of the 25th annual international ACM SIGIR conference on Research and development in information retrieval*. 2002. Pp. 175–182.
11. *Ladret P., Guérin-Dugué A.* Categorisation and retrieval of scene photographs from a JPEG compressed database // *Pattern Analysis & Applications*. 2001. Vol. 4(2-3). Pp. 185–199.
12. *Cheng Y-C., Chen S-Y.* Image classification using color, texture and regions // *Image Vision Computing*. 2003. Vol. 21(9). Pp. 759–776.
13. *Freeman W. T., Roth M.* Orientation histograms for hand gesture recognition // *Intl. Workshop on Automatic Face- and Gesture- Recognition*, IEEE Computer Society. 1995. Vol. 3. Pp. 296–301.
14. *Lowe D. G.* Object recognition from local scale-invariant features // *Proc. of the Intern. Conference on Computer Vision*. 1999. Vol. 2. Pp. 1150–1157.

15. *Belongie S., Malik J.* Matching with shape contexts// IEEE Workshop on Contentbased Access of Image and Video Libraries. 2000. Vol. 5. Pp. 234–245.
16. *Dalal N.* Finding people in images and videos: Ph.D. thesis / Institut National Polytechnique de Grenoble, 2006.
17. *Dalal N., Triggs B., Schmid C.* Human detection using oriented histograms of flow and appearance // European Conference on Computer Vision. 2006. Vol. 1. Pp. 24–31.
18. *Абрамов С.К., Лукин В.В., Пономаренко Н.Н.* Мера содержания фона на основе энтропии для поиска и сортировки изображений в базах данных // Радиоэлектронные и компьютерные системы. 2007. Т. 2 (21). С. 24–28.
19. *Tamura H., Mori S., Yamawaki T.* Texture features corresponding to visual // IEEE Trans. On Sys. Man, and Cyb. 1978. Vol. 8(6). Pp. 460–473.
20. *Zhai C., Lafferty J.* The dual role of smoothing in the language modeling approach// Proceedings of the Workshop on Language Models for Information Retrieval (LMIR). 2001. Pp. 31–36.

УДК 004.932

Мацыпаев Д.А. (ТТИ ЮФУ), Броневи́ч А.Г.

Анализ маски движения в задаче обнаружения и сопровождения движущихся объектов на основе энтропии Шеннона¹

Ключевые слова:*видеопоследовательность, обнаружение движущихся объектов, сопровождение объектов, анализ маски движения, энтропия Шеннона.****Введение***

Одной из актуальных проблем в области компьютерного зрения является задача обнаружения и сопровождения движущихся объектов на видеопоследовательностях в режиме реального времени. Эффективные решения данной задачи находят свое применение в робототехнике, системах охраны периметра, видеонаблюдения, анализа уличного движения, а также в различных приложениях, связанных с конструированием дополненной реальности. Рост производительности вычислительной техники, расширение функциональных возможностей видеокамер, ужесточение требований к конечному программному продукту стимулируют разработку и внедрение более совершенных алгоритмов.

В данной статье подробно описана постановка задачи обнаружения движущихся объектов и их сопровождения на видеопоследовательностях. Рассматриваются основные этапы решения этой задачи, к которым можно отнести построение маски движения для текущего кадра видеоряда, выделение на ней движущихся областей и соотнесение выделенных областей с их аналогами, построенными для предыдущих кадров видеопоследовательности. В статье также приводится описание оригинального алгоритма,

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проекты № 10-07-00478, № 10-07-00135, № 08-07-00129.

предназначенного для выделения движущихся областей на небинаризованной маске движения. Его суть заключается в использовании аддитивной меры на множестве одинаковых по размеру блоков маски движения.

Основные понятия и постановка задачи

Ключевым понятием при анализе видеопоследовательности является кадр, представляющий собой некоторое дискретное изображение, состоящее из пикселей. Произвольный кадр можно представить в виде двумерной матрицы целочисленных векторов определенной длины. Число столбцов данной матрицы равно ширине кадра в пикселях, а число строк равно высоте кадра в пикселях. Длина векторов-элементов матрицы и возможные значения элементов данных векторов определяются *форматом цветового представления* кадра в оперативной памяти ЭВМ. Формат цветового представления характеризуется *цветовым пространством* и *глубиной цветового представления*. Цветовое пространство описывает численное разложение цвета на компоненты определенного рода. В качестве цветовых компонент могут использоваться базисные цвета (например, в цветовом пространстве RGB используются красная, зеленая и синяя компоненты), а также такие характеристики цвета, как интенсивность, насыщенность, прозрачность и т.п. Длина векторов-элементов матрицы изображения равна размерности цветового пространства. Выделяют цветовые пространства размерности 1 и соответствующие одноканальные изображения (например, множество оттенков серого цвета), цветовые пространства размерности 3 и соответствующие им трехканальные изображения (цветовые пространства RGB и HSV), цветовые пространства размерности 4 и соответствующие четырехканальные изображения (цветовые пространства CMYK и RGBA). Каждая компонента цветового пространства характеризуется своей глубиной представления цвета, численно равной количеству бит, которое необходимо для кодирования данной компоненты. Обычно все каналы изображения кодируются одним и тем же числом бит. Под *бинарным* изображением обычно понимается одноканальное изображение с глубиной представления цвета 1 бит. Под *по-*

лутоновым изображением обычно понимается одноканальное изображение с глубиной представления 8 бит [21].

Легко заметить, что имеется взаимно однозначное соответствие между множеством кадров определенного разрешения и определенного цветового формата и множеством матриц соответствующих размеров с соответствующей длиной векторов-элементов и множеством значений из определенного целочисленного интервала. По этой причине здесь и далее по тексту под термином «пиксель» будет пониматься не только элемент цифрового изображения, но и целочисленный вектор, длина и содержимое которого определяются форматом цветового представления данных. Термины «изображение» и «кадр» будут пониматься не только как множества пикселей в узлах некоторой прямоугольной сетки, но и как двумерные матрицы целочисленных векторов.

Любая видеопоследовательность представляет собой линейно упорядоченное множество кадров. Все кадры видеопоследовательности имеют одинаковое разрешение и формат представления цветовой информации. В задаче обнаружения и сопровождения объектов рассматривается определенный класс видеопоследовательностей, все кадры которых получены одной, постоянно работающей камерой. Таким образом, такие видеопоследовательности, как художественные фильмы, созданные при активном использовании комбинированной съемки, не являются объектом исследования в рамках обсуждаемой задачи.

Сформулируем постановку задачи обнаружения и сопровождения объектов на видеопоследовательности. Дана статически закрепленная монокулярная камера с фиксированным фокусным расстоянием. С данной камеры с определенной частотой последовательно поступают кадры видеоряда. Вместо камеры может использоваться ее программный эмулятор, читающий кадры из файла на жестком диске компьютера. Необходимо с поступлением каждого нового кадра обнаруживать на этом кадре новые движущиеся объекты и сопровождать объекты, обнаруженные ранее. Информация об обнаруженных и сопровождаемых объектах должна сохраняться в виде экранных координат вершин полигонов, очерченных вокруг

этих объектов на обрабатываемом кадре. Данные многоугольники должны быть замкнутыми и несамопересекающимися. При этом они могут быть как выпуклыми, так и невыпуклыми. В самом простом случае полигоны могут представлять собой прямоугольники. Необходимо предусмотреть механизм идентификации объектов. В общем случае роль такого механизма играют уникальное имя-метка объекта и некоторый набор признаков, позволяющих с высокой степенью достоверности отличить сопровождаемый объект от других объектов. При первом появлении объекта должна сохраняться информация о времени появления объекта, месте появления объекта и о присвоенном ему имени. При сопровождении объекта на каждом новом кадре должна сохраняться информация о текущем времени и изменении его местоположения. Если объект покинул область видимости или был потерян, необходимо сохранить информацию о времени его исчезновения и его последних зафиксированных координатах. Программно-аппаратный комплекс, осуществляющий нахождение и сопровождение объектов, должен работать в режиме реального времени. Применительно к поставленной задаче это означает, что среднее время анализа одного кадра видеопоследовательности не должно превышать временного интервала, обратного по своей величине к средней частоте обновления кадров.

Этапы решения задачи

Решение поставленной задачи подразумевает прохождение ряда этапов. Поскольку произвольный кадр видеоряда представляет собой двумерную матрицу пикселей и не содержит никакой априорной информации о размерах и местоположении движущихся объектов, для каждого нового кадра на первом этапе обработки строится изображение, называемое *маской движения*. Разрешение маски движения совпадает с разрешением обрабатываемого кадра. Между пикселями кадра и маски движения устанавливается взаимно однозначное соответствие согласно их координатам. Цель построения маски движения в общем случае – отобразить на ней информацию о достоверности наличия движения в соответствующих пикселях анализируемого кадра.

В большинстве случаев происходит построение бинарной маски движения, которая четко разграничивает «движущиеся» и «покоящиеся» пиксели. На втором этапе происходит кластеризация «движущихся» пикселей и выделение на маске движения областей движения, называемых *блобами*. Третий этап подразумевает нахождение соответствий между выделенными блобами и сопровождаемыми объектами, а также обнаружение среди блобов новых объектов. Также на третьем этапе может быть произведен вывод о выходе объекта за пределы видимости или его исчезновении.

Качественное построение бинарной маски движения представляет собой нетривиальную задачу. К основным сложностям, возникающим при решении данной задачи, можно отнести целый ряд факторов различной природы. Первая группа факторов связана непосредственно с видеокамерой, которая при съемке способна порождать шумы на кадрах видеоряда. Характер зашумления может зависеть от таких условий съемки, как время суток, освещенность сцены и внутренние настройки камеры. Также оказывают влияние на содержимое видеоряда осцилляции камеры. Вторая группа факторов связана с такими особенностями сцены, как резкие неоднородности фона, динамический задний фон (колебания листвы деревьев и т.п.), плавные и резкие изменения в освещении сцены, блики на объективе камеры, экстремальные для съемки погодные условия (дождь, снег, пылевая буря). Третья группа факторов связана с объектами, за которыми ведется наблюдение. Сопровождаемые объекты могут частично или полностью перекрываться друг другом, перемещаться группами, совершать повороты, резко изменять направление движения или останавливаться на продолжительное время. Объекты могут иметь весьма протяженные тени, которые зачастую существенно уменьшают точность обнаружения объектов. Кроме того, дополнительные проблемы вносят «призраки» – артефакты, возникающие при последовательном анализе ряда кадров. Суть «призраков» заключается в том, что переместившийся объект может иметь на маске движения два или более соответствующих ему блобов, из которых только один не является ложным [3, 5, 9].

Наличие всех перечисленных выше факторов существенно осложняет процесс построения бинарной маски движения. Данный этап является самым затратным в задаче обнаружения и сопровождения объектов. На сегодняшний день разработано большое количество методов и алгоритмов построения бинарной маски движения. Ряд методов ориентирован на построение векторов движения для каждого пикселя кадра (Optical flow) [3, 7, 10, 13]. Типичные примеры подобных методов – алгоритмы Lucas-Kanade [13] и Horn-Schunk [10]. Характерной особенностью этой группы методов является возможность обнаружения не только абсолютного значения смещения пикселей, но и направления этого смещения. В бинарную маску движения попадают те пиксели, для которых абсолютная величина смещения превышает некоторый порог. Другая крупная группа методов связана с моделированием заднего фона, относительно которого происходит перемещение объектов [1, 3, 5, 9, 12, 18, 19]. Под моделью заднего фона понимается некоторое изображение. Вычитание этого изображения из последнего кадра видеоряда позволяет получить информацию о движении в этом кадре. Простейший пример подобного алгоритма – нахождение разности между двумя соседними кадрами. При этом предшествующий кадр рассматривается в качестве заднего фона. В более сложных методах модель заднего фона является адаптивной и строится на основе n последних кадров видеоряда. В некоторых методах для каждого пикселя строится отдельная модель заднего фона в виде некоторого статистического распределения интенсивности цвета. В алгоритме Pfunder [19] в качестве такого распределения используется нормальное распределение. Чем дальше значение интенсивности цвета данного пикселя на новом кадре от среднего значения рассчитанного распределения, тем с большей достоверностью данный пиксель на последнем кадре является «движущимся». Метод Mixture of Gaussians [18] подразумевает использование смеси нескольких нормальных распределений при построении модели заднего фона. При реализации алгоритма, основанного на использовании фильтра Кальмана [12], и алгоритма Camshift [1, 9] также происходит моделирование заднего фона.

Бинарная маска движения в этих случаях получается в результате бинаризации разности между текущим кадром видеоряда и моделью фона. К третьей группе методов можно отнести подходы, основанные на выделении на каждом кадре некоторых признаков. В качестве подобных признаков могут использоваться границы, углы, связные компоненты, контуры, особые точки, текстурная и цветовая информация [3]. Выделенные на соседних кадрах видеоряда признаки сопоставляются при помощи заранее выбранной меры близости. На основе результатов данного сопоставления строится бинарная маска движения.

Характерной общей чертой перечисленных выше методов построения маски движения является ее бинаризация на основе выделенных признаков, т.е. четкое разделение пикселей на достоверно «движущиеся» и достоверно «покоящиеся». Далее бинарная маска анализируется некоторым алгоритмом, который позволяет выделить на ней blobs, соответствующие движущимся объектам или группам объектов на последнем входном кадре видеоряда. Главное требование к такому алгоритму – высокое быстродействие, потому что этап построения исходной маски движения требует зачастую очень сложного анализа и большого количества процессорного времени. Одним из примеров такого алгоритма может служить алгоритм рекурсивного разбиения маски движения, предложенный в [22].

Обычно после выделения на маске движения blobs производится анализ изменений, произошедших между двумя соседними кадрами видеопоследовательности. В зависимости от количества, размеров и взаимного положения blobs на n последних кадрах некоторый алгоритм должен регистрировать следующие типы событий:

- 1) перемещение объектов и групп объектов;
- 2) слияние объектов в группы объектов;
- 3) разделение групп объектов на отдельные объекты;
- 4) исчезновение объектов и групп объектов из поля зрения;
- 5) потеря сопровождаемого объекта или группы объектов;
- 6) обнаружение нового объекта или группы объектов.

При решении такого рода задач очень часто применяются вероятностно-статистические методы, в частности правило Байеса [15] и цепи Маркова [17]. Важную роль играют дополнительные априорные предположения, связанные с размерами и формой сопровождаемых объектов, направлением и скоростью их перемещения, относительным положением камеры и области пространства, в которой происходит перемещение этих объектов.

Бинарная и небинаризованная маски движения

Четкое разделение пикселей маски движения и кадра на «движущиеся» и «покоящиеся» в случае успешной реализации позволяет существенно упростить дальнейшую обработку. Однако такая операция чревата большим количеством ошибок, вызванных шумами камеры, тенями объектов, погодными условиями, изменениями освещения и т.д. Подобные ошибки по своей сути являются артефактами бинаризации маски движения. Устранение таких ошибок в рамках существующих методов, осуществляющих построение бинарной маски движения, реализовано за счет дополнительных процедур, существенно повышающих время обработки. Кроме того, не исключено возникновение ситуаций, при которых четкое разделение пикселей кадра на «движущиеся» и «неподвижные» невозможно в принципе. В качестве примера такой ситуации можно привести сопровождение объектов, перемещающихся в условиях слабой освещенности, тумана, смога или задымления местности.

Нельзя не отметить, что бинаризация маски движения приводит к потере большого количества информации, в ней содержащейся. Элементы числовой матрицы, соответствующей небинаризованной маске, могут трактоваться как степени достоверности движения в пикселях последнего входящего кадра видеопоследовательности. Анализ пространственных и топологических связей элементов этой маски может помочь извлечь дополнительную информацию о движущихся объектах. Чтобы извлечь и правильно обработать такую информацию, необходимо иметь подходящий математический аппарат. Один из возможных подходов к извлечению

информации из небинаризованной маски движения и ее обработке заключается в использовании математического аппарата обобщенной теории информации [11]. Данная теория предоставляет такие инструменты, как классические и нечеткие множества с введенными на них аддитивными и неаддитивными мерами [11, 20]. Элементы обобщенной теории информации успешно используются в области компьютерного зрения. Ее математический аппарат применяется при обнаружении границ, углов, особых точек, сегментации изображений, аппроксимации контуров, обучении нейронных сетей и других классификаторов, а также в ряде других задач [2, 6, 8, 14, 20]. В данной статье приводится описание метода анализа небинаризованной маски движения, в рамках которого используется аддитивная мера на множестве одинаковых по размеру блоков данной маски.

Алгоритм выделения движущихся областей на небинаризованной маске движения

Рассмотрим небинаризованную маску движения $I_{M \times N}$, которая была получена в результате работы некоторого алгоритма. Пусть все элементы соответствующей числовой матрицы принадлежат некоторому отрезку на оси действительных чисел R_1 . Будем считать, что нам известно изоморфное преобразование, сохраняющее отношение порядка и переводящее данный интервал в сегмент $[0,1]$. Не теряя общности рассуждений, будем предполагать, что элементы рассматриваемой числовой матрицы есть числа из данного отрезка. Условимся также, что достоверность наличия движения в пикселе (i, j) рассматриваемого кадра видеоряда есть монотонно возрастающая функция соответствующего элемента маски движения. Если элемент маски движения равен нулю, то в соответствующем пикселе кадра движение достоверно отсутствует. В случае равенства элемента маски 1 движение в соответствующем пикселе кадра достоверно присутствует.

Под *связностью* пикселей на изображении будем понимать 4-связность или 8-связность [21]. Необходимо выделить на маске движения связанные области (блобы), соответствующие движущимся объектам или группам

движущихся объектов на обрабатываемом кадре видеопоследовательности. Выделение этих областей целесообразно осуществлять при помощи замкнутых несамопересекающихся полигонов, описанных вокруг них. Набор замкнутых, несамопересекающихся и непересекающихся друг с другом полигонов, описанных вокруг обнаруженных блобов, будем называть *представлением* маски движения. Таких представлений может быть много в зависимости от выбранных критериев и параметров оптимизации. Очевидно, что элементами представления должны быть полигоны, описанные вокруг таких связанных областей маски движения, которые соответствуют скоплениям пикселей с наибольшей степенью достоверности движения. Кроме того, оптимизационный критерий должен максимально точно локализовывать данные области, сохраняя при этом их целостность.

Введем на маске движения сетку, представляющую ее разбиение на прямоугольные блоки одинакового размера. Разбиение изображения на блоки – операция, которая достаточно часто используется в компьютерном зрении при декодировании видео и анализе движения [3, 21]. Поскольку разрешение видеоряда не может быть произвольным, а априори принадлежит некоторому множеству значений (320×240 , 640×480 , 1280×960 и др.), размеры блоков должны быть делителями соответствующих размеров разрешения видеоряда. Очевидно, что при любом современном разрешении видеоряда (640×480 пикселей и выше) существует возможность разбиения маски движения на одинаковые по размеру квадратные блоки, размеры которых есть степени числа 2 (в частности, от 2 до 32). Далее будем считать, что маска движения разбита на прямоугольную сетку квадратных блоков с размером стороны d пикселей, где d – некоторое натуральное число. Потребуем также, чтобы числа M и N делились на d без остатка. Таким образом, будет получено разбиение всего пространства маски движения на одинаковые по размерам блоки. Поскольку данные блоки располагаются в узлах прямоугольной сетки, их можно пронумеровать при помощи двух индексов – B_{ij} , где $i=1, \dots, M/d$ и $j=1, \dots, N/d$. Общее количество блоков при таком разбиении равно $n=MN/d^2$. Будем считать, что характерный размер блока d настолько мал, что дета-

ли меньшего размера на кадрах анализируемого видеоряда не представляют существенного интереса. Пусть искомые блобы конструируются на основе отношения связности из блоков, которые содержат в себе большую часть информации о движении в кадре. При этом число таких блоков должно быть как можно меньшим, а полигоны, описанные вокруг конкретного блока, будут представлять собой соединенные отрезки границ внешних блоков данного блока. Таким образом, задача построения оптимального представления для маски движения сводится к задаче выбора наиболее информативных блоков, полученных при разбиении этой маски. Отметим, что переход от характеристик отдельных пикселей маски движения к характеристикам блоков на этой маске позволяет получать более устойчивое, статистически обоснованное решение задачи. В частности, снижается влияние на результат решения задачи таких факторов, как шумы и помехи на кадрах видеоряда, а также сложные погодные условия съемки (дождь, снег).

В качестве величины, характеризующей информативность области кадра, введем понятие *количества движения* в произвольной области кадра. Пусть на маске движения выделено некоторое множество пикселей $S = \{(i_{k_1}, j_{k_1}), \dots, (i_{k_{|S|}}, j_{k_{|S|}})\}$. Рассмотрим функционал количества движения

$$Q(S) = \sum_{(i_{k_l}, j_{k_l}) \in S} I_{i_{k_l}, j_{k_l}},$$

значение которого для каждого множества пикселей S на кадре есть сумма соответствующих элементов маски движения. Общее количество движения на кадре равно сумме всех элементов маски движения:

$$Q_T = Q(I) = \sum_{i,j} I_{i,j}.$$

Количество движения в произвольном блоке маски движения равно

$$Q_{i,j} = Q(B_{i,j}) = \sum_{k=(i-1)d+1}^{id} \sum_{l=(j-1)d+1}^{jd} I_{k,l}.$$

Каждому блоку $B_{i,j}$ поставим в соответствие число

$$w_{i,j} = \frac{Q_{i,j}}{Q_T},$$

равное доле количества движения на кадре, приходящемся на данный блок. Число w_{ij} назовем *информативностью* блока B_{ij} . По построению $0 \leq w_{ij} \leq 1$, а также $\sum_{i,j} w_{i,j} = 1$. Далее будем рассматривать блоки B_{ij} в качестве элементарных событий, а числа w_{ij} – в качестве их вероятностей, с учетом этого будем считать, что на множествах, состоящих из блоков, определена вероятностная мера.

Осуществим переход от множества блоков B_{ij} к множеству значений информативности блоков w_{ij} . Данное множество представляет собой выборку действительных чисел, принадлежащих сегменту $[0,1]$. Размер этой выборки равен MN/d^2 , т.е. полностью определяется размером блока d . Необходимо выбрать критерий, позволяющий по заданным значениям информативности w_{ij} выделить из множества соответствующих блоков B_{ij} подмножество блоков, соответствующих областям движения на последнем кадре видеопоследовательности. Очевидно, что любой подобный критерий связан с нахождением некоторого порогового значения, разделяющего выборку на две части. В данном случае объектами интереса являются те элементы выборки, значения которых выше порогового. В качестве критериев разбиения выборки были опробованы *правило Кайзера (Kaiser-Guttman's rule)* и *правило сломанной трости (broken stick model)* [4].

Правило Кайзера определяет искомое пороговое значение как математическое ожидание элементов выборки. Все блоки, информативность которых выше среднего значения информативности, согласно этому критерию соответствуют движущимся областям кадра:

$$w_{ij} \geq \frac{d^2}{MN}.$$

Правило Кайзера имеет тенденцию давать завышенное число отобранных элементов выборки.

Правило сломанной трости часто применяется в методе главных компонент [16] и подразумевает предварительное упорядочение элементов выборки по убыванию. Пусть выборка w_{ij} упорядочена по убыванию, и в результате получена выборка w'_k , $k=1, \dots, MN/d^2$. Тогда согласно правилу сломанной трости, блок B_{ij} соответствует движущейся области на последнем

кадре видеоряда, если соответствующая ему информативность в упорядоченной выборке w'_k удовлетворяет условию:

$$w'_k \geq \frac{d^2}{MN} \sum_{i=k}^{MN/d^2} \frac{1}{i}.$$

Правило сломанной трости имеет тенденцию давать заниженное число отображенных элементов выборки.

Общим недостатком двух перечисленных критериев является отсутствие логической связи с особенностями рассматриваемой задачи. Правило Кайзера является неспециализированным статистическим критерием, а правило сломанной трости широко применяется при решении задачи на собственные значения и выделении среди собственных векторов главных компонент. По этой причине сложно ожидать того, что данные критерии позволят оптимальным образом регулировать выделение движущихся областей на маске движения.

Для каждого блока $B_{i,j}$ рассмотрим величину *энтропийного вклада*, которая выражается через соответствующую информативность по формуле

$$H_{i,j} = - \lim_{w \rightarrow w_{i,j} + 0} (w \ln w) = \begin{cases} -w_{ij} \ln w_{ij}, & w_{ij} > 0, \\ 0, & w_{ij} = 0. \end{cases}$$

Энтропией движения в кадре назовем сумму энтропийных вкладов всех блоков, получившихся при разбиении маски движения:

$$H_T = \sum_{i,j} H_{i,j}.$$

Очевидно, что введенная выше энтропия движения в кадре равна энтропии Шеннона [11] для множества MN/d^2 элементарных событий, вероятности которых равны $w_{i,j}$ при условии, что $w_{i,j} > 0$ для всех i, j . В рассматриваемой задаче возможны случаи, когда существует, по крайней мере, один блок $B_{i,j}$, информативность которого $w_{i,j}$ равна нулю. Поэтому используется обобщенный вариант выражения для энтропии Шеннона. Введем также величину *относительного энтропийного вклада* блока $B_{i,j}$, равную

$$h_{ij} = \frac{H_{ij}}{H_T}.$$

Физический смысл энтропии движения заключается в измерении степени равномерности распределения для величины количества движения на множестве блоков B_{ij} . Если все количество движения целиком приходится на один блок, энтропия движения равна 0. Максимальное значение энтропии движения

$$H_{\max} = \ln \frac{MN}{d^2}$$

достигается в том случае, когда количество движения принимает одинаковые значения для всех блоков маски движения.

Сделаем два предположения относительно блоков маски движения, которые соответствуют движущимся областям на последнем кадре видеоряда. Во-первых, будем считать, что этим блокам соответствует относительно большое значение суммарной информативности. Это предположение является вполне естественным в силу принципов, по которым производится построение маски движения. Во-вторых, предположим, что суммарный относительный энтропийный вклад данных блоков принимает относительно малое значение. Это предположение также вполне естественно, поскольку в большинстве случаев движущиеся объекты занимают малую долю кадра. При этом на них приходится максимальная доля движения в кадре. Соответственно, суммарный энтропийный вклад этих областей должен быть относительно невелик по сравнению с суммарным относительным вкладом различного рода шумов, помех, динамического заднего фона и погодных факторов. Перед формализацией двух этих предположений усилим критерий следующим образом. Будем считать, что блок матрицы движения B_{ij} соответствует движущейся области на рассматриваемом кадре видеопоследовательности, если отношение его информативности к его относительному энтропийному вкладу не меньше некоторой заданной постоянной величины. Математически данный критерий записывается следующим образом:

$$\frac{w_{ij}}{h_{ij}} \geq k,$$

где k – некоторое положительное число. Учитывая, что

$$h_{ij} = \frac{-w_{ij} \ln w_{ij}}{H_T},$$

и проведя серию тождественных преобразований, получим равносильное неравенство:

$$w_{ij} \geq e^{-H_T/k}.$$

Таким образом, данный критерий предлагает в качестве порогового значения величину, которая зависит от энтропии движения, рассчитанной для маски. Чем выше значение энтропии движения, тем ниже соответствующее пороговое значение. Следовательно, классификация блока на маске движения зависит не только от его информативности, но и от информативности остальных блоков маски. Это качественным образом отличает предложенный критерий от описанных выше правил Кайзера и сломанной трости. Параметр k данного критерия определяет жесткость отбора блоков маски движения, из которых формируются искомые блобы.

Формирование блобов реализуется при помощи отношения связности между блоками на маске движения. Два блока на маске движения будем считать связными, если у них имеется общая сторона. Полигон, описанный вокруг блоба, предлагается строить по сторонам внешних блоков, принадлежащих данному блобу. В тех случаях, когда форма объекта не имеет решающего значения, в качестве полигона может использоваться описанный вокруг блоба прямоугольник, стороны которого параллельны границам кадра.

Стоит отметить, что полученное представление маски движения в виде множества несамопересекающихся, замкнутых и непересекающихся друг с другом полигонов, очерченных вокруг найденных движущихся областей, необходимо оценивать с точки зрения надежности. Выше было показано, что абсолютная величина энтропии движения, рассчитанная для множества блоков, на которые разбита маска движения, характеризует точность возможной локализации движущихся областей. Величину $\eta = 1 - H_T/H_{\max}$ можно трактовать как степень надежности полученного представления для маски движения. Когда энтропия движения принимает максимально возможное значение (движение равномерно размазано по всем блокам маски), надежность полученного представления равна 0. В случае когда все количе-

ство движения сосредоточено в одном блоке, информативность которого равна 1, надежность полученного представления максимальна и равна 1.

Еще одна величина, которая может охарактеризовать маску движения, – это суммарное количество движения Q_T на этой маске. Данное значение может сыграть существенную роль при анализе разницы между масками движения, полученными для двух соседних кадров. В частности, быстрое возрастание количества движения на маске может являться признаком резкого изменения освещения сцены. Таким образом, результатом предложенного алгоритма являются представление небинаризованной маски движения в виде множества описанных вокруг областей движения полигонов, а также две вспомогательные величины. Первая величина характеризует степень надежности полученного представления, а вторая величина – общее количество движения в кадре.

Экспериментальные исследования

В ходе исследований были проведены численные эксперименты на ряде тестовых изображений, имитирующих маску движения. Данные эксперименты показали работоспособность предложенного алгоритма. На рис. 1 представлены результаты работы алгоритма для одного из тестовых изображений при параметре $k=0,95$. Блоки, в которых обнаружено движение, выделены в виде квадратов. Блобы, которые получились в результате объединения блоков, выделены прямоугольниками, описанными вокруг связанных подмножеств блоков.

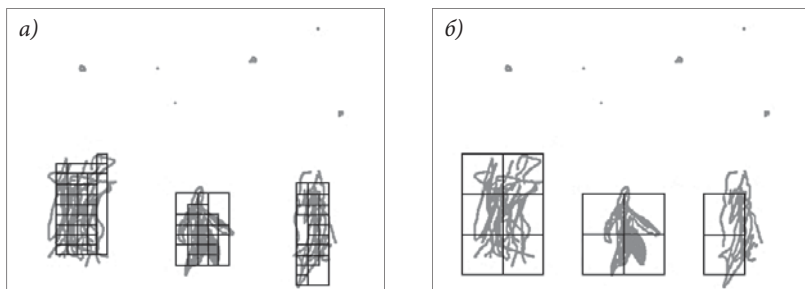


Рис. 1. Результат работы алгоритма. Размер блока: а) 16 пикселей, б) 64 пикселей

Подробное исследование практических результатов данного алгоритма и их сравнение с результатами альтернативных алгоритмов станет предметом исследования одной из будущих статей.

Заключение

В данной статье описана постановка задачи обнаружения и сопровождения движущихся объектов на видеопоследовательностях. Рассмотрены основные этапы решения данной задачи. Приведен краткий обзор методов и алгоритмов, используемых на каждом из описанных этапов. Описан оригинальный алгоритм анализа небинаризованной маски движения. Данный алгоритм основан на использовании аддитивной меры на множестве одинаковых по размеру блоков изображения. Приведены результаты экспериментальных исследований, подтверждающие работоспособность представленного алгоритма.

Литература

1. *Allen J.G., Xu R.Y.D. Jin J.S.* Object tracking using CamShift algorithm and multiple quantized feature spaces // Proc. of the Pan-Sydney area workshop on Visual information processing. 2004. Vol. 100. Pp. 3–7.
2. *Bezdek J.C., Keller J., Krisnapuram R., Pal N.R.* Fuzzy models and algorithms for pattern recognition and image processing. Norwell // 1999. Springer.
3. *Bradski G., Kaehler A.* Learning OpenCV. Computer vision with the OpenCV library. – Sebastopol: O'Reilly Media, Inc., 2008.
4. *Cangelosi R., Goriely A.* Component retention in principal component analysis with application to cDNA microarray data // Biology Direct. 2007. Vol. 2.
5. *Cucchiara R., Grana C., Piccardi M., Prati A.* Detecting moving objects, ghosts and shadows in video streams // IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 2003. Vol. 25. Pp. 1337–1342.
6. *Escalano F., Bonev B., Suau P.* Information theory in computer vision and pattern recognition. – London: Springer, 2009.

7. *Fleet D.J., Weiss Y.* Optical flow estimation // In N. Paragious, Y. Chen & O. Fauregas (Eds), *Mathematical models for computer vision: the handbook*. – Berlin: Springer, 2005.
8. *Fyfe C.* Artificial neural networks and information. Lecture course. – Scotland, Paisley: Paisley University Press, 2000.
9. *Han B., Comaniciu D., Davis L.* Sequential kernel density approximation and its application to real-time visual tracking // *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 2008. Vol. 1. Pp. 1186–1197.
10. *Horn B.K.P., Schunck B.G.* Determining optical flow // *Artificial Intelligence*. 1981. Vol. 17. Pp. 185–203.
11. *Klir G.J.* Uncertainty and information. Foundations of generalized information theory. – New York: John Wiley & Sons, Inc., 2006.
12. *Kuller D., Weber J., Malik J.* Robust multiple car tracking with occlusion reasoning // *Proc. of the third European conference on Computer vision*. – Berkeley. 1994. Vol. 1. Pp. 189–196.
13. *Lucas B. D., Kanade T.* An iterative image registration technique with an application to stereo vision // *Proceedings of the 1981 DARPA Imaging Understanding Workshop*. 1981. Vol. 1. Pp. 121–130.
14. *MacKay D.J.C.* Information theory, inference and learning algorithms. – Cambridge: Cambridge University Press, 2006.
15. *Oliver N.M., Rosario B., Pentland A.P.* A Bayesian computer vision system for modeling human interactions // *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 2000. Vol. 22. Pp. 831–843.
16. *Pearson K.* On lines and planes of closest fit to systems of points in space // *Philosophical Magazine*. 1901. Vol. 2. Pp. 559–572.
17. *Qu W., Schonfeld D., Mohamed M.* Real-time interactively distributed multi-object tracking using a magnetic-inertia potential model // *Proceedings of the Tenth IEEE International Conference on Computer Vision*. 2007. Vol. 9. Pp. 511–519.

18. *Stauffer C., Grimson W.E.L.* Adaptive background mixture models for real-time tracking // Proc. of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 1999. Vol. 2. Pp. 246–252.
19. *Wren C., Azarbayejani A., Darrell T., Pentland A.* Pfnder: real-time tracking of the human body // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 1997. Vol. 19. Pp. 780–785.
20. *Броневиц А.Г.* Развитие теории нечетких мер для описания неопределенности в моделях принятия решений, логического вывода и анализа изображений. Диссертация на соискание ученой степени доктора физико-математических технических наук. – Таганрог: ТРТУ, 2004.
21. *Гонсалес Р., Вудс Р.* Цифровая обработка изображений. – М.: Техносфера, 2005.
22. *Мацыпаев Д.А.* Алгоритм рекурсивного разбиения маски движения для выделения движущихся объектов в видеопотоке // Доклады 12-й Международной конференции «Цифровая обработка сигналов и ее применение» ДСПА-2010. 2010. Т. 2. С. 114–116.

Информационная безопасность

УДК 681.384

Шубинский И.Б.

Модифицированный топологический полумарковский метод расчета функциональной надежности информационных систем

Ключевые слова:

функциональная надежность, информационный процесс, поток заявок, ошибка, функциональный отказ, приоритетный, обслуживание.

1. Введение

Функциональная надежность информационной системы определяется безошибочностью выполнения предусмотренных функций [1]. Каждая функция реализуется с помощью информационного процесса. Процесс выполняется по заявкам. Таким образом, информационная система может рассматриваться как система массового обслуживания. Функциональная надежность системы – это функциональная надежность выполнения совокупности предусмотренных информационных процессов. Заявки на обслуживание имеют разный приоритет. Менее приоритетные заявки обслуживаются реже приоритетных. Вероятность ошибки в выполнении менее приоритетного процесса уменьшается в соответствии с уменьшением частоты обслуживания заявок на данный процесс. Действительно, чем реже мы пользуемся компьютером, тем меньше ошибок получаем в результатах и наоборот.

Этим фактом не ограничиваются особенности расчета функциональной надежности системы при выполнении заданной совокупности информационных процессов. Есть еще одно существенное обстоятельство. Оно заключается в скорости обслуживания заявок (скорости выполнения процессов). Чем выше скорость обслуживания (т.е. меньше время выполнения процесса), тем меньше загруженность каналов обработки информации в

системе и тем чаще могут выполняться процессы, а следовательно, выше вероятность ошибки в их выполнении.

Приведенные рассуждения позволяют перечислить минимально необходимые исходные данные для расчетов показателей функциональной надежности информационной системы в условиях обслуживания разнородных потоков заявок, в том числе в условиях их приоритетного обслуживания.

2. Постановка задачи

Исходные данные:

- функции распределения времени между заявками $F_k(t), k = 1, 2, \dots, M$, функции распределения времени выполнения информационных процессов (обслуживания заявок) $Q_k(t), k = 1, 2, \dots, M$;
- вероятности ошибок и частичных функциональных отказов $G_i, g_{i\phi T}, k = 1, 2, \dots, M$, при выполнении составных информационных процессов;
- «веса» информационных процессов $\omega_k, k = 1, 2, \dots, M$;
- средние длительности простоев системы при устранении ошибок в процессах $T_{i\text{пр}}$;
- минимальное количество $R \in M$ информационных процессов, которые должны быть выполнены безошибочно в соответствии с критерием полного функционального отказа системы.

Требуется:

- установить порядок определения показателей функциональной надежности информационной системы в условиях приоритетного выполнения информационных процессов.

3. Решение задачи

Для определения показателей функциональной надежности системы в условиях приоритетного обслуживания потоков заявок используем некоторые положения изложенного нами в справочнике [2] полумарковского

топологического метода применительно к приведенным выше исходным условиям. Учет этих условий требует определенной модификации исходного метода. Это связано, главным образом, с необходимостью вычисления средних наработок на частичные функциональные отказы относительно обслуживания каждого информационного потока в условиях прерывания обслуживания или дообслуживания предыдущей заявки, тогда как топологический полумарковский метод предназначен для вычислений показателей структурной надежности.

Этапы решения задачи:

1. Строится граф функционирования системы с приоритетным обслуживанием заявок. В частности, на рис. 1 показана графовая модель системы с абсолютными приоритетами в обслуживании заявок. Для упрощения изложения сути задачи предполагается, что в информационной системе имеется один канал обслуживания. Вершины графа характеризуют следующие состояния системы: 0 – все заявки отсутствуют; k – обслуживается заявка k -го приоритета (в случае занятости канала обслуживания и поступления заявки более высокого ($k-1$)-го приоритета прерывается выполнение заявки и система переходит в состояние $k-1$, в котором обслуживается заявка более высокого приоритета); состояние 1 – обслуживается заявка самого высокого приоритета.

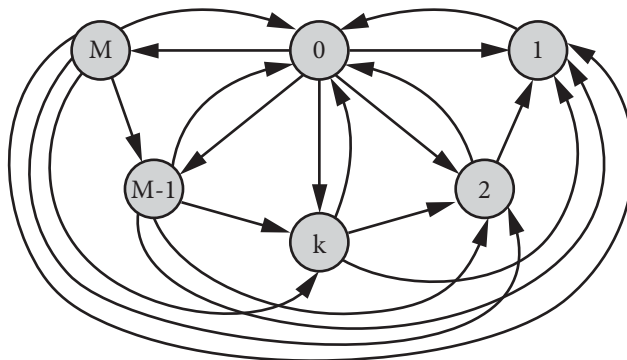


Рис. 1. Графовая модель одноканальной системы с абсолютными приоритетами в выполнении информационных процессов при условии отсутствия очереди

2. Каждой вершине графа системы приписываются те случайные величины, которые определяют возможность выхода системы из данной вершины в соседнее состояние. Так, вершине 0 приписываются случайные величины времени между заявками $\vartheta_1, \dots, \vartheta_k, \dots, \vartheta_M$ с функциями распределения времени между заявками $F_1(t) = F_{01}(t), \dots, F_k(t) = F_{0k}(t), \dots, F_M(t) = F_{0M}(t)$. Вершине 1 приписывается случайная величина времени обслуживания заявки высшего приоритета η_1 с функцией распределения $Q_1(t) = Q_{10}(t)$. Вершине k – случайные величины $\eta_k, \vartheta_{k-1}, \vartheta_{k-2}, \dots, \vartheta_1$ с функциями распределения $Q_k(t) = Q_{k0}(t); F_{k,k-1}(t); F_{k,1}(t)$. Наконец, вершине M приписываются случайные величины $\eta_M, \vartheta_{M-1}, \dots, \vartheta_k, \dots, \vartheta_1$ с функциями распределения $Q_M(t) = Q_{M0}(t); F_{M,M-1}(t); F_{M,1}(t)$.

3. Определяются функции плотности $f_{ik}(t)$ при условии независимости случайных величин $\eta_1, \dots, \eta_k, \dots, \eta_M; \vartheta_1, \dots, \vartheta_k, \dots, \vartheta_M$

$$f_{ik}(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P\{t < \vartheta_k \leq t + \Delta t; \vartheta_1, \dots, \vartheta_M, \eta_1, \dots, \eta_M > t\}}{\Delta t} = \frac{dF_{ik}(t)}{dt} \prod_{j=0}^M F_{ij}(t) Q_{ij}(t);$$

$i \neq j; i \neq k$

Следовательно, $f_{0k}(t) = \frac{dF_{0k}(t)}{dt} \prod_{i=1}^M F_{0i}(t); i \neq k; k = 1, \dots, M,$

$$f_{k0}(t) = \frac{dQ_{k0}(t)}{dt} \prod_{i=1}^{k-1} F_{ki}(t); k = 1, \dots, M; \prod_{i=1}^0 F_{ki}(t) = 1,$$

$$f_{kr}(t) = \frac{dF_{kr}(t)}{dt} Q_{k0}(t) \prod_{i=1}^{k-1} F_{ki}(t); k = 1, \dots, M; r = 1, \dots, k-1; i \neq r.$$

4. Находятся переходные вероятности p_{ij} и математические ожидания безусловных T_i времен пребывания полумарковского случайного процесса в каждом из состояний

$$p_{0k} = \int_0^{\infty} f_{0k}(t) dt; p_{k0} = \int_0^{\infty} f_{k0}(t) dt; p_{kr} = \int_0^{\infty} f_{kr}(t) dt;$$

$$T_0 = \int_0^{\infty} t \sum_{i=1}^M f_{0k}(t) dt; T_k = \int_0^{\infty} t [f_{k0}(t) + \sum_{r=0}^{k-1} f_{kr}(t)] dt.$$

5. При помощи полученной матрицы $\Pi = (p_{ij})$ и вектора $\bar{T} = (T_k); k = 0, \dots, M$ определяются финальные вероятности π_k пребыва-

ния полумарковского процесса в каждом из состояний графа (см. рис. 1) по следующей формуле топологического полумарковского метода:

$$\pi_i = \frac{\Delta G_1 T_1 + \sum_{(k)} l_k^{i1} \Delta G_k^i T_i}{\Delta G_1 T_1 + \sum_{i \in S} \sum_{(k)} l_k^{ii} \Delta G_k^i T_i}, i \neq 1; i, 1 \in S,$$

где ΔG_1 – вес разложения графа без вершины 1 ($T_1(T_i)$ – математические ожидания безусловного времени пребывания системы в состояниях 1 (i), вес k -го пути $l_k^{ij} = \prod_{i,r,j \in S} p_{1r} p_{rj}$, где p_{1r} – вероятность перехода за один шаг из 1-го состояния в состояние r . Вес разложения графа ΔG_k^i есть минор, получаемый на матрице G в результате вычеркивания i -й строки и i -го столбца, а также строк и столбцов с номерами состояний, относящихся к k -му пути. Минорами на матрице G являются также веса разложений графа ΔG_1 . Вес разложения (определитель) находится по формуле Мезона

$$\Delta G = 1 - \sum_{(j)} C_j + \sum_{(rj)} C_r C_j - \sum_{(ijr)} C_i C_r C_j + \dots$$

Вес j -го контура определяется как $C_j = \prod_{i,j \in S} p_{ij} p_{ji}$; петля есть частный случай замкнутого контура – в ней входящие и выходящие дуги сливаются в одну дугу, вес петли $C_j = p_{jj}$.

6. Согласно теореме В. Смита [3] определяется среднее время между повторными попаданиями полумарковского процесса в состояние $k = 0, \dots, M$

$$T_{kk} = \tau_k = \frac{T_k}{\pi_k},$$

где τ_k – среднее время между выполнениями k -го информационного процесса.

7. По приведенным выше исходным данным определяются следующие показатели функциональной надежности информационной системы с приоритетным обслуживанием заявок:

– средняя наработка до частичного функционального отказа системы

$$T_{i\phi} = \int_0^{\infty} \exp(-\Omega_i G_i g_{i\phi T} t) dt = \frac{1}{\Omega_i G_i g_{i\phi T}};$$

– коэффициент частичной функциональной готовности системы по отношению к i -му процессу

$$K_{i\phi\Gamma} = \frac{T_i}{T_i + T_{iPP}},$$

где T_i – средняя наработка до ошибки в выполнении i -го процесса, T_{iPP} – среднее время простоя в обслуживании i -го информационного процесса.

– Коэффициент функциональной готовности системы

$$K_{\phi\Gamma} = \sum_{j=0}^M \prod_{i=1}^j K_{i\phi\Gamma} \prod_{i=1}^{M-j} (1 - K_{i\phi\Gamma}) (1 - \sum_{i=1}^{M-j} \omega_i),$$

где $\prod_{i=1}^0 (1 - K_{i\phi\Gamma}) = 1$; $\prod_{i=1}^0 K_{i\phi\Gamma} = 1$; $\sum_{i=1}^0 \omega_i = 0$, $\sum_{i=1}^M \omega_i = 1$.

– Среднее время простоя системы при обслуживании информационных процессов

$$T_{PP} = \frac{\sum_{i=1}^M G_i k_{i1} T_{iPP}}{\sum_{i=1}^M G_i k_{i1}},$$

где $k_{i1} = \frac{\Omega_i}{\sum_{i=1}^M \Omega_i}$ – нормирующий коэффициент частоты выполнения каждого

информационного процесса.

– Средняя наработка на ошибку системы при выполнении информационных процессов

$$T_C = \frac{T_{PP} K_{\phi\Gamma}}{1 - K_{\phi\Gamma}}.$$

– Средняя наработка на полный функциональный отказ системы

$$T_{\phi} = \frac{T_{PP} K_{\phi\Gamma}}{(1 - K_{\phi\Gamma}) g_{\phi\Gamma}}, \text{ где } g_{\phi\Gamma} = \frac{\sum_{i=1}^M g_{i\phi\Gamma}}{M}.$$

– Коэффициент оперативной функциональной готовности системы

$$K_{O\phi\Gamma}(\tau_{OP}) \approx K_{\phi\Gamma} - \frac{\tau_{OP}}{T_{PP}} g_{\phi\Gamma} (1 - K_{\phi\Gamma}).$$

4. Пример. Пусть на вход информационной системы поступает два потока заявок ($M=2$). Система одноканальная, очередь на обслуживание отсутствует. Первый поток заявок приоритетный. Функции распределения времени между заявками $F_k(t) = 1 - \exp(-\lambda_k t); k = 1, 2$. Функции распределения времени обслуживания заявок $Q_k(t) = 1 - (1 + \mu_k t) \exp(-\mu_k t); k = 1, 2$, где λ_k, μ_k – интенсивности поступления или соответственно обслуживания заявок.

Известны значения $G_k, g_{ki\phi T}; \omega_k; T_{kPP}; k = 1, 2$.

Численные значения исходных данных:

$$\lambda_1 = 100 \text{ 1/с}; \lambda_2 = 500 \text{ 1/с}; \mu_1 = \mu_2 = 10^3 \text{ 1/с}; G_1 = 10^{-6}; G_2 = 10^{-7}; g_{1\phi T} = g_{2\phi T} = 10^{-3}; \omega_1 = 0.7; \omega_2 = 0.3; T_{1PP} = T_{2PP} = 10^{-1} \text{ ч}; \tau_{OP} = 8 \text{ ч}$$

Требуется определить численные значения показателей функциональной надежности информационной системы.

Решение задачи осуществляется в соответствии с указанными выше этапами.

Этап 1. Строится графовая модель одноканальной системы с приоритетным обслуживанием первого из двух потоков заявок (рис. 2).

Состояние 0 – заявки отсутствуют; состояние 1 – выполняется информационный процесс по обслуживанию первого потока заявок; состояние 2 – выполняется информационный процесс по обслуживанию второго потока заявок, в случае поступления заявки первого потока обслуживание прекращается и система переходит к обслуживанию первого потока заявок.

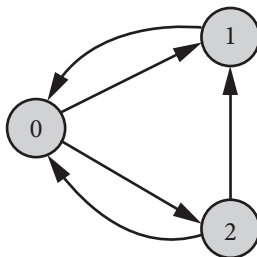


Рис. 2. Графовая модель одноканальной системы без очереди с приоритетным обслуживанием первого из двух информационных процессов

Этап 2. Каждой вершине графа приписываются случайные величины времени между заявками и времени обслуживания и определяются условные функции распределения времени перехода из вершины (состояния) в другие состояния:

$$F_0(t) = F_{01}(t)F_{02}(t) = [1 - \exp(-\lambda_1 t)][1 - \exp(-\lambda_2 t)];$$

$$F_1(t) = Q_{10}(t) = 1 - (1 + \mu_1 t) \exp(-\mu_1 t);$$

$$F_2(t) = Q_{20}(t)F_{21}(t) = [1 - (1 + \mu_2 t) \exp(-\mu_2 t)][1 - \exp(-\lambda_1 t)],$$

где $F_{01}(t) = F_{21}(t)$.

Этап 3. Определяются функции плотности $f_{ik}(t)$:

$$f_{01}(t) = \frac{dF_{01}(t)}{dt} F_{02}(t) = \lambda_1 \exp(-\lambda_1 - \lambda_2)t;$$

$$f_{02}(t) = \frac{dF_{02}(t)}{dt} F_{01}(t) = \lambda_2 \exp(-\lambda_1 - \lambda_2)t;$$

$$f_{10}(t) = \frac{dQ_{10}(t)}{dt} = \mu_1^2 t \exp(-\mu_1)t; f_{20}(t) = \frac{dQ_{20}(t)}{dt} F_{21}(t) = \mu_2^2 t \exp(-\lambda_1 - \mu_2)t;$$

$$f_{21}(t) = \frac{dF_{21}(t)}{dt} Q_{20}(t) = \lambda_1 (1 + \mu_2 t) \exp(-\lambda_1 - \mu_2)t.$$

Этап 4. Определяются переходные вероятности p_{ij} и математические ожидания T_i :

$$p_{01} = \frac{\lambda_1}{\lambda_1 + \lambda_2}; p_{02} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1 + \lambda_2}; p_{10} = 1; p_{20} = \frac{\mu_2^2}{(\lambda_1 + \mu_2)^2}; p_{21} = \frac{\lambda_1(\lambda_1 + 2\mu_2)}{(\lambda_1 + \mu_2)^2};$$

$$T_0 = \frac{1}{\lambda_1 + \lambda_2}; T_1 = \frac{2}{\mu_1}; T_2 = \frac{(\lambda_1 + 2\mu_2)}{(\lambda_1 + \mu_2)^2}.$$

Этап 5. Находятся финальные (стационарные) вероятности пребывания системы в каждом из состояний:

$$\pi_0 = \frac{T_0}{T_0 + (p_{01} + p_{02}p_{21})T_1 + p_{02}T_2} = \frac{T_0}{A}; \pi_1 = \frac{(p_{01} + p_{02}p_{21})T_1}{A}; \pi_2 = \frac{p_{02}T_2}{A}.$$

Этап 6. Определяются средние времена между соседними реализациями первого и второго информационных процессов

$$\tau_1 = \frac{T_1}{\pi_1} = \frac{A}{p_{01} + p_{02}p_{21}}; \tau_2 = \frac{T_2}{\pi_2} = \frac{A}{p_{02}}.$$

Этап 7. Определяются численные значения показателей функциональной надежности системы:

– средние наработки между частичными функциональными отказами

$$T_{1\phi} = \frac{\bar{T}_1}{G_1 g_{1\phi T}} = \frac{\tau_1}{G_1 g_{1\phi T}} = \frac{A}{(p_{01} + p_{02} p_{21}) G_1 g_{1\phi T}}; T_{2\phi} = \frac{A}{p_{02} G_2 g_{2\phi T}}.$$

Для вычисления указанных показателей требуется предварительно определить переходные вероятности и математические ожидания согласно этапу 4.

$$p_{01} = \frac{\lambda_1}{\lambda_1 + \lambda_2} = \frac{1}{6}; p_{02} = \frac{5}{6}; p_{10} = 1; p_{20} = \frac{\mu_2^2}{(\lambda_1 + \mu_2)^2} = 0.91; p_{21} = \frac{\lambda_1(\lambda_1 + 2\mu_2)}{(\lambda_1 + \mu_2)^2} = 0.19$$

$$T_0 = \frac{1}{\lambda_1 + \lambda_2} = 1.7 \cdot 10^{-3} \text{ c}; T_1 = \frac{2}{\mu_1} = 0,2 \cdot 10^{-3} \text{ c}; T_2 = \frac{(\lambda_1 + 2\mu_2)}{(\lambda_1 + \mu_2)^2} = 1.7 \cdot 10^{-3} \text{ c}.$$

Затем вычисляется параметр $A = T_0 + (p_{01} + p_{02} p_{21}) T_1 + p_{02} T_2 = 1.87 \cdot 10^{-3}$ и средние времена между реализациями первого и второго информационных процессов

$$\tau_1 = \frac{A}{p_{01} + p_{02} p_{21}} = \frac{1.87 \cdot 10^{-3}}{0.32} = 5.84 \cdot 10^{-3} \text{ c}; \tau_2 = \frac{A}{p_{02}} = \frac{1.87 \cdot 10^{-3}}{0.83} = 2.25 \cdot 10^{-3} \text{ c}.$$

Таким образом,

$$T_{1\phi} = \frac{A}{(p_{01} + p_{02} p_{21}) G_1 g_{1\phi T}} = \frac{1.87 \cdot 10^{-3}}{0.32 \cdot 10^{-9}} = 5.84 \cdot 10^6 \text{ c} = 1623 \text{ ч}.$$

При этом средняя наработка на ошибку равна $T_{1C} = T_{1\phi T} g_{1\phi T} = 1.62 \text{ ч}$;

$$T_{2\phi} = \frac{A}{p_{02} G_2 g_{2\phi T}} = \frac{1,87 * 10^{-3}}{0,83 * 10^{-10}} = 2.25 * 10^7 \text{ c} = 6258 \text{ ч}.$$

Средняя наработка на ошибку $T_{2C} = T_{2\phi T} g_{2\phi T} = 6.26 \text{ ч}$.

– вычисляются коэффициенты частичной функциональной готовности

$$K_{1\phi T} = \frac{T_1}{T_1 + T_{1\text{ПР}}} = \frac{1.62}{1.62 + 0.1} = 0.94,$$

$$K_{2\phi T} = \frac{T_2}{T_2 + T_{2\text{ПР}}} = \frac{6.26}{6.26 + 0.1} = 0.98.$$

– определяется коэффициент функциональной готовности системы

$$K_{\phi\Gamma} = K_{1\phi\Gamma}K_{2\phi\Gamma} + K_{1\phi\Gamma}(1 - K_{2\phi\Gamma})(1 - \omega_2) + K_{2\phi\Gamma}(1 - K_{1\phi\Gamma})(1 - \omega_1) = 0.952;$$

– вычисляется среднее время простоя системы

$$T_{\text{пр}} = \frac{G_1 k_1 T_{1\text{пр}} + G_2 k_2 T_{2\text{пр}}}{G_1 k_1 + G_2 k_2} = \frac{10^{-6} \cdot 0.17 \cdot 0.1 + 10^{-7} \cdot 0.83 \cdot 0.1}{10^{-6} \cdot 0.17 + 10^{-7} \cdot 0.83} = 0.1 \text{ ч};$$

– определяется средняя наработка на ошибку системы

$$T_C = \frac{T_{\text{пр}} K_{\phi\Gamma}}{1 - K_{\phi\Gamma}} = 1.9 \text{ ч};$$

– вычисляется средняя наработка на полный функциональный отказ системы

$$T_{\phi} = \frac{T}{g_{\phi\Gamma}} = 1900 \text{ ч},$$

$$\text{где } \bar{g}_{\phi\Gamma} = \frac{g_{1\phi\Gamma} + g_{2\phi\Gamma}}{2} = 10^{-3};$$

– вычисляется коэффициент оперативной функциональной готовности в течение времени работы смены оперативного персонала информационной системы (в течение 8 ч управления)

$$K_{\text{оп}\phi\Gamma}(\tau_{\text{оп}}) \approx K_{\phi\Gamma} - \frac{\tau_{\text{оп}}}{T_{\text{пр}}} \bar{g}_{\phi\Gamma} (1 - K_{\phi\Gamma}) = 0.952 - 0.080 \cdot 0.048 = 0.948.$$

Литература

1. Мишарин А.С., Шубинский И.Б. Функциональная надежность информационно – управляющих систем на федеральном железнодорожном транспорте // Известия академии наук. Теория и системы управления, 2004. №1. С. 155–162.
2. Шубинский И.Б. Топологический метод расчета надежности сложных технических систем: Справочник / Под ред. Ушакова И.А. –М.: Радио и связь, 1985. С. 490–495.
3. Кокс Д.Р., Смит В.Л. Теория восстановления / Пер. с англ. под ред. Ю.К. Беяева. –М.: Сов. радио, 1967.

*Системы оптимизации
энергопотребления
и управления
топливно-энергетическими
ресурсами*

УДК 621.31.003.12

Романова А.Т. (МИИТ), Ракова А.М. (МИИТ), Кузнецов А.В.

Модель и алгоритм рационального распространения систем автоведения на железнодорожном транспорте

Ключевые слова:

электрическая тяга, энергоресурсы, энергопотребление, управление поездом, система автоведения.

Железнодорожный транспорт является одним из наиболее энергоемких потребителей. На выполнение электрической тягой трех четвертей общего объема затрачивается около 5% потребляемой в стране электроэнергии.

Несмотря на глубокую теоретическую и экспериментальную разработанность вопросов энергетики движения, теории тяги и оптимального управления поездом, в практике железных дорог за последнее десятилетие удельные затраты электроэнергии на тягу поездов (по сети дорог) увеличились в среднем на 10%.

Одним из направлений снижения энергоемкости перевозочного процесса является внедрение систем автоведения, работающих по критерию минимума энергозатрат на тягу поездов.

В статье предлагается модель рационального оборудования локомотивов системой автоведения и их распределения по участкам обслуживания в условиях ограничения инвестиционных ресурсов.

Применяя критерий минимального расхода электрической энергии на тягу поездов при выполнении заданного объема перевозочной работы для рационального распределения по участкам обслуживания и оснащения системой автоведения локомотивов, необходимо выяснить:

- 1) какие типы локомотивов с учетом их технического состояния оборудовать системой автоведения;
- 2) на какие участки, характеризующиеся объемом перевозочной работы, распределять оборудованные системой автоведения локомотивы.

Решить первую задачу можно, применив комплексный критерий оценки эффективности отрасли. Этим критерием является коэффициент использования энергоресурсов η . Эффективность использования энергоресурсов связана с эффективностью использования и других видов ресурсов железнодорожного транспорта и его рентабельностью. В настоящее время увеличение коэффициента энергоресурсов на 1% дает 0,2–0,3% роста рентабельности затрат в отрасли [1].

Коэффициент использования энергоресурсов η отражает потребительские требования к транспортной продукции через оценку кинетической энергии по средней технической скорости перевозимых грузов. Величина кинетической энергии характеризует в обобщенной форме результат работы отрасли – объем перевозимых грузов и среднее время перевозки (среднее время нахождения груза в пути).

Данный коэффициент η определяется как отношение минимально необходимой кинетической энергии W_k к суммарным энергозатратам на тягу поездов W_Σ :

$$\eta = \frac{W_k}{W_\Sigma} = \frac{W_k}{W_d + W_k} = k \frac{v_T^2}{2a_{y0}^{cp} \cdot l}, \quad (1)$$

где W_d – диссипативная составляющая расходуемой энергии; v_T – средняя техническая скорость поезда; a_{y0}^{cp} – среднее удельное энергопотребление на измеритель работы; l – средняя дальность перевозки грузов; $k = k_1 \cdot k_2$ – коэффициент, учитывающий разгон поезда (k_1) и перевод размерности энергии из системы СИ в кг. ус. топлива или кВтч (k_2).

Удельное энергопотребление каждого типа локомотива зависит не только от внешних условий эксплуатации, но и от его технических характеристик, определенных в топливо-энергетическом паспорте (там же указываются и исходные нормы для каждого типа локомотива).

Величина номинального расхода энергоресурсов может определяться с помощью энергетического критерия [2]:

$$A_3 = \int_0^{t_{заданное}} \frac{Fv}{knd} dt, \quad (2)$$

где F – сила тяги; v – скорость поезда; $k\eta\delta$ – коэффициент полезного действия тягового привода.

Считая, что полезная работа на тягу есть произведение воздействующей силы на расстояние, данный критерий можно записать в другом виде:

$$A_3 = \frac{F \cdot l}{k\eta\delta}. \quad (3)$$

Тогда, удельный расход электрической энергии на тягу будет определен как отношение (3) к объему перевозочной работы Pl :

$$a_{\text{уд}} = \frac{F \cdot l}{k\eta\delta \cdot Pl}, \quad (4)$$

где P – масса поезда брутто.

Подставляя (4) в (1), получим коэффициент использования энергоресурсов в следующем виде:

$$\eta = k \frac{v_T^2 \cdot k\eta\delta \cdot Pl}{2F \cdot l \cdot l} = k \frac{v_T^2 \cdot k\eta\delta \cdot P}{2F \cdot l}. \quad (5)$$

Данное выражение η позволяет характеризовать потребительные свойства перевозочной работы с большей точностью при применении определенного типа локомотива: максимальная масса, скорость и $k\eta\delta$ при минимальных затратах на силу тяги и дальность перевозки.

Увеличение массы поезда позволяет не только повысить этот коэффициент, но и снизить себестоимость перевозок. В то же время излишнее увеличение веса поезда приводит к перегрузке локомотивов и к преждевременному выходу их оборудования из строя.

Расчетная масса поезда зависит от достаточно большого количества параметров, прежде всего от уклонов пути и технических характеристик локомотива. Существенное влияние оказывают триботехнические параметры системы «колесо-рельс» на изменение массы поезда.

В соответствии с Правилами тяговых расчетов [3] масса поезда на расчетном подъеме i_p определяется по формуле:

$$P = \frac{F_{KP} - (w_O' + i_p)P_{\text{л}}}{w_O'' + i_p}, \quad (6)$$

где w'_o – основное удельное сопротивление движению локомотива, кгс/т; w''_o – основное удельное сопротивление движению состава (вагонов), кгс/т; P_l – расчетная масса локомотива, т; $F_{кр}$ – расчетное значение касательной силы тяги, кгс.

Предельное значение силы тяги из условия ограничения по сцеплению колес локомотива с рельсами определяется по формуле:

$$F_{к\text{СЦ}} = 1000\psi P_l, \quad (7)$$

где ψ – коэффициент сцепления.

Согласно требованиям Правил тяговых расчетов о безостановочном движении по расчетному подъему i_p с установившейся скоростью масса состава для расчетной скорости локомотива:

$$F_{кр} = F_{к\text{СЦ}}. \quad (8)$$

Тогда с учетом (7) выражение (6) будет иметь вид:

$$P = \frac{1000\psi P_l - (w'_o + i_p)P_l}{w''_o + i_p}. \quad (9)$$

Подставляя выражение (9) в (5), получим коэффициент использования энергоресурсов для локомотивов с учетом триботехнических параметров в следующем виде:

$$\eta = k \frac{v_T^2 \cdot \kappa n \delta}{2F \cdot l} \cdot \frac{1000\psi P_l - (w'_o + i_p)P_l}{w''_o + i_p}. \quad (10)$$

Приведем пример расчета значений коэффициента использования энергоресурсов для различных серий электровозов при следующих условиях эксплуатации:

- средняя дальность перевозки грузов, l – 350 км;
- средняя техническая скорость поезда, v_T – 46,7 км/ч;
- средний эквивалентный подъем, i_p – $10^{-3}/1000$.

$$w'_o = 0,6 + 0,03 \cdot 46,7 + 0,00008 \cdot 46,7^2 = 2,18;$$

$$w''_o = 1,5 + 0,045 \cdot 46,7 + 0,00027 \cdot 46,7^2 = 4,19.$$

Следует отметить, что для каждого тягового состава коэффициенты уравнений сопротивления различны и зависят от условий эксплуатации – типа вагона (роликовые подшипники), доли бесстыкового пути, массы на одну ось вагона, доли порожних вагонов в составе [4].

Для того чтобы выявить значение коэффициента использования энергоресурсов для каждого типа локомотива в чистом виде, необходимо абстрагироваться от условий эксплуатации и принять их для всех типов одинаковыми.

Таким образом, получаем независимую от условий эксплуатации оценку данного коэффициента для определенного типа локомотива. Это позволит выявить наиболее предпочтительные типы локомотивов для оснащения системой автоведения.

Результаты расчета коэффициента энергоресурсов с применением выражения (10) для различных типов эксплуатируемых электровозов, работающих на переменном токе, представлены в таблице.

Характеристика	Тип электровоза				
	ВЛ80Р	ВЛ60К	ВЛ80Т	ВЛ85	ВЛ60Р
Сила тяги, кГ	45 100	31 860	45 100	74 000	31 860
КПД, %	95,2	91,3	89,9	88	82
Масса локомотива, т	192	138	184	288	138
Касательная мощность, кВт	6070	4362	5900	8890	4038
Коэффициент сцепления	0,36	0,36	0,364	0,35	0,33
η , %	2,39	2,33	2,19	1,96	1,91
η , % (150 км)	5,57	5,44	5,10	4,57	4,46

Данные результаты позволяют выявить приоритет оснащения локомотивов системой автоведения при следующих вариантах очередности:

- 1) от типа локомотива с максимальным значением коэффициента энергоресурсов до минимального его значения, тем самым, увеличивая разрыв между максимальным и минимальным его значением;
- 2) от типа локомотива с минимальным значением коэффициента до максимального его значения, что позволит достичь в среднем равного уровня данного коэффициента для каждого локомотива.

Таким образом, наиболее предпочтительный по первому варианту распределения это тип ВЛ80Р ($\eta=2,39$), а по второму – ВЛ60Р($\eta=1,91$).

Существенное влияние на потребление энергоресурсов на тягу оказывает техническое состояние локомотива [6]. Поэтому необходимо дать корректировку для расчета коэффициента использования энергоресурсов в следующем виде:

$$\eta' = k \frac{v_T^2 \cdot kn\delta}{2F \cdot l \cdot K_{mc}} \cdot \frac{1000\psi P_{л} - (w'_O + i_P)P_{л}}{w'_O + i_P}, \quad (11)$$

где K_{mc} – коэффициент технического состояния локомотива.

Однако, варьируя типы локомотивов по участкам обслуживания, характеризующимся конкретными условиями эксплуатации (средняя техническая скорость поезда, дальность перевозки грузов и эквивалентный подъем и пр.), можно достичь равного значения коэффициента использования энергоресурсов.

Таким образом, оснащенные системой автоведения локомотивы должны распределяться по участкам обслуживания с учетом объема перевозочной работы на данном участке, условий эксплуатации и удельного расхода энергоресурсов на его выполнение.

Важным в критерии при выборе внедрения энергосберегающих технологий является связь со значениями объема перевозочной работы и средней удельной нормой расхода ТЭР для его выполнения.

Как отмечено выше, норма удельного энергопотребления обуславливается:

- 1) массой перевозимых грузов (чем выше данный показатель, тем норма на энергозатраты ниже);
- 2) осевой нагрузкой (чем выше данный показатель, тем норма на энергозатраты ниже);
- 3) типом локомотива (чем выше $kn\delta$ данного типа, тем норма на энергозатраты ниже);
- 4) технической скоростью движения (чем выше данный показатель, тем норма на энергозатраты ниже);
- 5) основным сопротивлением движению, зависящим от сложности профиля участка, сложности климатических условий, типа укладки пути (чем выше данный показатель, тем норма на энергозатраты выше);
- 6) квалификацией машиниста (чем выше данный показатель, тем норма на энергозатраты ниже) и пр.

Величина удельной нормы является следствием влияния всех вышеперечисленных показателей и условий эксплуатации, но при внедрении систем автоведения изменяется лишь показатель уровня квалификации машинистов локомотивных бригад. Определение показателя квалификации машинистов и его сравнение с уровнем, обеспечиваемым внедряемой системой автоведения, позволит определить приоритетные участки по внедрению, а также распределять на оборудованные локомотивы системой автоведения машинистов с меньшим значением данного показателя.

Важно также отметить, что, чем более сложен профиль участка (крутые спуски, подъемы, кривизна, скоростные ограничения), тем больше система автоведения позволит сэкономить энергресурсы на тягу, так как уровень квалификации машинистов на таких участках должен быть достаточно высоким.

Величина объема перевозочной работы может увеличиваться, во-первых, от увеличения спроса на перевозки, тем самым, увеличивая массу перевозимых грузов, во-вторых, при увеличении дальности доставки грузов за счет неоптимально построенных маршрутов доставки. При этом в первом варианте, величина удельного расхода топливно-энергетических ресурсов на тягу уменьшится, а во втором, в лучшем случае, останется неизменной, либо, что более вероятно, увеличится участковая скорость движения, что отразится на повышении величины удельных энергозатрат.

Объем перевозок грузов железнодорожного транспорта возрастает значительно быстрее, чем протяженность. Вследствие этого растет мощность грузопотока, проходящего через каждый километр эксплуатационной длины. Поэтому такие показатели, как показатель интенсивности грузовых перевозок на перегоне или участке, средняя плотность перевозок грузов на направлении, дороге или сети, будут характеризовать мощность грузопотоков.

Работа эксплуатируемого парка локомотивов будет зависеть от величины мощности грузопотока. В локомотивном депо на основании величины мощности грузопотока разрабатываются маршрутные карты на каждую поездку или вид работы, и их количество будет зависеть от данного показателя.

Объем перевозочной работы (грузооборот) для участка, направления, дороги или сети представлен в следующем виде:

$$\sum P_{zi}l = \sum_{i=1}^n P_{zi}l_i, \quad (12)$$

где P_{zi} – масса отдельной отправки, т; l_i – расстояние перевозки данной отправки, км; n – количество отправок.

Исходя из заданного объема перевозок, формируются маршруты:

$$\sum P_{zji}l = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^m P_{zji}l_{ji}, \quad (13)$$

где P_{zji} – масса отдельной отправки на i -м участке j -го маршрута, т; l – расстояние перевозки данной отправки, км; m – количество участков обслуживания одним локомотивом; k – количество маршрутов.

Каждый участок обслуживания на соответствующем маршруте характеризуется заданным объемом перевозочной работы, который выполняется определенным типом локомотива с заданной скоростью v_m , осевой нагрузкой q , квалификацией машиниста и основным сопротивлением движению w_o , соответствующем условиям эксплуатации.

Исходя из этого, расход топливно-энергетических ресурсов на j -м маршруте будет определяться:

$$A_j = a_{уд.лок j}^{cp} \cdot \sum_{i=1}^m P_{zji}l_{ji}, \quad (14)$$

где $a_{уд.лок j}^{cp}$ – средний удельный расход энергоресурсов определенного типа локомотива на j -м маршруте.

Применяя систему автоведения на j -м маршруте, тем самым, обеспечивая ведение поезда на высоком уровне квалификации, получаем экономию топливно-энергетических ресурсов на тягу при условии, что средний показатель квалификации машинистов локомотивных бригад ниже заданного системой автоведения показателя квалификации:

$$\Delta A_j = \Delta a_{уд.лок j}^{cp} \cdot \sum_{i=1}^m P_{zji}l_{ji}, \quad (15)$$

Энергосберегающее распределение эксплуатируемых типов локомотивов по заданным маршрутам (13) должно минимизировать функцию общего расхода энергоресурсов на тягу поездов:

$$A_{\Sigma} = \sum_{j=1}^k \left(a_{уд.лок j}^{cp} \cdot \sum_{i=1}^m P_{\varepsilon ji} \cdot I_{ji} \right) \rightarrow \min. \quad (16)$$

Кроме того, с учетом внедрения систем автоведения на соответствующие типы локомотивов рассчитаем суммарную экономию энергоресурсов:

$$\Delta A_{\Sigma} = \sum_{j=1}^k \left(\Delta a_{уд.лок j}^{cp} \cdot \sum_{i=1}^m P_{\varepsilon ji} \cdot I_{ji} \right) \rightarrow \max. \quad (17)$$

Для рационального распределения систем автоведения на соответствующие типы локомотивов согласно их участкам обслуживания необходимо выполнение условий (16) и (17).

Отношение выражения (16) к (17) позволит определить коэффициент экономии энергоресурсов, иначе назовем его коэффициент внедрения:

$$K_{вн} = \frac{\Delta A_{\Sigma}}{A_{\Sigma}} \cdot 100\%. \quad (18)$$

Большее значение величины коэффициента (18) соответствует большей величине получаемого эффекта от внедрения от экономии топливо-энергетических ресурсов на тягу поездов. Следовательно, можно ввести данный оценочный показатель для каждого типа локомотива, обслуживающего соответственные участки, с заданной работой (13):

$$K_{ви j} = \frac{\Delta a_{уд.лок j}^{cp}}{a_{уд.лок j}^{cp}} \cdot 100\%. \quad (19)$$

Расчетная величина данного показателя позволит определить направление к рациональному распределению систем автоведения на участки обслуживания определенным типом локомотива – от большего значения к меньшему.

Однако рациональное распределение по критерию минимума энергозатрат на тягу усложняется и тем, что один и тот же локомотив, обладающий своим номинальным удельным энергопотреблением, на разных участках эксплуатации (не рассматривая при этом выполняемый объем перевозочной работы)

будет иметь различное энергопотребление, обусловленное сложностью профиля данного участка, ограничениями и климатическими условиями.

Также надо учитывать, что каждый участок характеризуется грузонапряженностью, т.е. тем объемом перевозочной работы, который выполняют приписанные к данному участку локомотивы. Естественно, есть и ограничения на вес поезда брутто для каждого типа локомотива: более мощные выполняют больший объем, чем менее мощные локомотивы. Неравномерность грузовых перевозок («туда-обратно») еще больше усложняет решение рациональной задачи: локомотив, выполняющий больший объем работы на одном направлении, не может выполнить такой же объем на обратном маршруте.

Проведенный анализ полученных зависимостей экономии электроэнергии от квалификации для каждой осевой нагрузки показал, что большая экономия энергоресурсов достигается при меньшей осевой нагрузке для той же квалификации. Это важно для планирования оборудованных системой автоведения локомотивов по участкам обслуживания: для достижения большего энергосберегающего эффекта такие локомотивы должны выполнять больший объем перевозочной работы с меньшей осевой нагрузкой.

Исходя из всего этого, можно дать упрощенный алгоритм к планированию процесса оборудования локомотивов системой автоведения и распределения таких локомотивов по участкам:

1. Выявить объекты внедрения в последовательности от меньшего среднего уровня квалификации к уровню, обеспечиваемому внедряемой системы автоведения.
2. На выявленных объектах проанализировать эксплуатируемый парк локомотивов по величине коэффициента использования энергоресурсов.
3. Оснащение локомотивов системой автоведения проводить в последовательности от меньшего значения коэффициента использования энергоресурсов к большему.
4. На оснащенные системой автоведения локомотивы целесообразно распределять машинистов с низкой квалификацией.



Алгоритм рационального распределения оснащенных системой автоведения локомотивов по участкам обслуживания

5. Оборудованные системой автоведения локомотивы ставить на участки со сложным профилем, давая при этом относительно большой объем перевозочной работы с меньшей осевой нагрузкой (легковесные поезда на дальнее расстояние).

Экономико-математическая модель рационального распределения инвестиций в развитие системы автоведения будет представлена в следующем виде.

1. Ограничение на величину капитальных вложений:

$$N^{zp} \cdot C_{CA}^{zp} \leq I,$$

где N^{sp} – количество систем автоведения, устанавливаемых на локомотив;
 C_{CA}^{cp} – стоимость одной системы автоведения, руб.

2. Выбор объектов внедрения (участки обслуживания):

$$\sum_{i=1}^N K_{\text{квалификации}} / N \rightarrow \min,$$

где N – среднесписочное число машинистов.

3. Рациональное распределение в соответствии с представленным алгоритмом (см. рис.)

4. Оценка внедрения:

$$K_{\text{вн}} = \frac{\Delta A_{\Sigma}}{A_{\Sigma}} \cdot 100\%,$$

$$\text{где } A_{\Sigma} = \sum_{j=1}^k \left(a_{\text{уд.лок } j}^{cp} \cdot \sum_{i=1}^m P_{z,ji} l_{ji} \right) \rightarrow \min \text{ и } \Delta A_{\Sigma} = \sum_{j=1}^k \left(\Delta a_{\text{уд.лок } j}^{cp} \cdot \sum_{i=1}^m P_{z,ji} l_{ji} \right) \rightarrow \max.$$

Предложенная экономико-математическая модель и алгоритм позволяют планировать процесс оборудования локомотивов системой автоведения и распределять их по участкам обслуживания с учетом ограничений на инвестиционные ресурсы. Выработывая организационно-технологические решения в соответствии с представленной экономико-математической моделью, можно достичь большего экономического эффекта от внедрения систем автоведения с учетом условий эксплуатации.

Литература

1. Романова А.Т. Экономическое прогнозирование показателей топливно-энергетического баланса железнодорожного транспорта: Труды МИИТ. 1996. Вып. 896. С. 69–75.
2. Баранов Л.А., Горовичер Я.М., Ерофеев Е.В., Максимов В.М. Микропроцессорные системы автоведения электроподвижного состава / Под ред. Л.А. Баранова. – М.: Транспорт, 1990.
3. Правила тяговых расчетов для поездной работы. – М.: Транспорт, 1985. – 287с.
4. Пособие теплоэнергетику железнодорожного транспорта / Под ред. В.С. Моляруча. – М.: Транспорт, 1973.

*Системы управления
пассажирскими перевозками*

УДК 656.2:002

Строгонов В.И., Максимов Н.В. (НИЯУ «МИФИ»)

Об одном подходе к организации информационного обеспечения пассажиров в поездах

Ключевые слова:

информационные технологии, автоматизированная информационная система, информационные компоненты, метаинформационные компоненты.

Введение

Реализация программы информатизации железнодорожного транспорта привела к значительным изменениям в отрасли. Широкое применение нашли информационные технологии. С их помощью в настоящее время осуществляется управление перевозочным процессом, сбытом и организацией грузовых и пассажирских перевозок, корпоративной инфраструктурой и подвижным составом, экономикой, бюджетированием, финансами и ресурсами, стратегическим развитием, инвестиционной и информационной деятельностью, информационной безопасностью, унификацией и интеграцией автоматизированных систем. В отрасли накоплено огромное количество научной, конструкторской, технологической и учебной информации. Все это позволяет говорить о формирующемся едином информационном пространстве железнодорожной отрасли, которая сетью железных дорог охватывает всю страну.

Для применения накопленных в едином информационном пространстве железнодорожной отрасли знаний и данных при решении конкретных задач возникает необходимость рациональной организации информационных потоков, а также эффективного информационного поиска.

На решение этих задач оказывает влияние ряд факторов. К их числу следует отнести разнородность информации: отдельные документы, массивы документов, документы и массивы данных, хранящиеся и обрабатываемые в различного вида информационных системах: библиотеках, архивах, банках данных и др.

Другим фактором является свойство рассеяния, присущее всем этапам жизненного цикла генерации/использования знаний. Объекты распределены как по всем этапам жизненного цикла, так и среди различных субъектов – индивидуальных или коллективных авторов документов. Описания объектов, процессов и результатов деятельности «рассеяны» в лексическом пространстве. Сведения о документах «рассеяны» среди разных справочных изданий, баз данных и сайтов, а их экземпляры – среди разных хранилищ (традиционных и электронных библиотек, полнотекстовых баз данных (БД), отдельных электронных коллекций и т.д.). Форма и способ представления информации «рассеяны» среди различных международных, национальных и фирменных стандартов на наполнение и формат документов. Функции поиска и обработки информации «рассеяны» среди многих реализаций поисковых и автоматизированных информационных систем, а их интерфейсные представления – среди различных метафор и визуальных компонентов, используемых разработчиками.

Для эффективной организации информационных потоков и информационного поиска воспользуемся подходом, предложенным авторами для решения задач информационно-аналитического обеспечения науки и образования [1]. Применение подхода основано на схожести информационного пространства образования и науки и информационного пространства железнодорожной отрасли, для которых характерны постоянно происходящие изменения, наличие большого разнообразия документов и массивов данных, наличие большого числа информационных ресурсов.

Основы распределенных технологий формирования информационных и метаинформационных компонентов

В задачах информационно-аналитического обеспечения науки и образования для организации информационных потоков широко используются классификаторы, рубрикаторы и тезаурусы, являющиеся метаинформационными компонентами автоматизированных информационных систем, что позволяет отразить системность предметной области, зафиксировать

представление о составе и взаимосвязях ее отдельных разделов и направлений. Значительные трудности в разработке и поддержании такого рода метаинформационных средств приводят к необходимости создания распределенных технологий «естественного» формирования информационных и метаинформационных компонентов.

Рассмотрим обобщенную систему воспроизводства и преобразования знаний, в которой автоматизированная информационная система (АИС) будет представлять собой часть процесса генерации нового знания (основной деятельности). Примем, согласно [2], что в основе модели синтеза знаний как самоорганизующегося процесса лежит структурная особенность системы – возможность ее разложения на относительно независимые подсистемы.

С учетом этого, сложная система может быть описана при помощи набора сравнительно независимых аспектных представлений (контекстов, представляющих собой «сетку» базовых понятий и отношений), каждый из которых дает лишь частичное знание о системе в целом, но полное по отношению к данному аспекту, с последующим объединением и согласованием различных контекстов в целостное представление – «картину мира». Такое объединение производится путем установления определенных связей между аспектными представлениями – своеобразными «проекциями» системы. Существенно, что в процессе декомпозиции не только выделяются и связываются составляющие, но и формируется схема декомпозиции – система характеристических признаков, в соответствии с которой и проводится декомпозиция. Такая методика является реализацией системного подхода, позволяющего, с одной стороны, представить объект как совокупность однородных (типизированных) элементов, связанных некоторыми отношениями, в совокупности образующими единство, а с другой – представить систему этих однородных объектов в виде классификации, что, в свою очередь, дает возможность выделять в явной форме новые характеристические признаки, определять способы выделения подсистем, и на основе свойств соответствия и симметрии обнаруживать связи с другими системами классификации [3].

АИС в обобщенной человеко-машинной системе информационной деятельности исполняет замещающую роль, поэтому поиск потенциально полезной информации с точки зрения общей теории систем [4] может рассматриваться как процесс построения новой системы знаний, где «технологической» основой и своеобразным методом генерации новой информации является комбинаторное сочетание, а АИС выполняет роль «перемешивающего слоя», формируя неравноценные комбинации информационных компонентов (выборки документов и терминов), стимулируя тем самым ускорение возникновения неравновесного состояния [3]. Иными словами, поисковые механизмы АИС готовят альтернативы, а средства систематизации и протоколирования задают (точнее, фиксируют) направления развития, технологически позволяя пользователю выбирать (а не генерировать) «предпочтительные». Кроме того, это создает условия для того, чтобы альтернативы в процессе обработки запроса (и познания) могли «интерферировать», т.е. эффект мог бы отличаться от простого их наложения.

Организация работы АИС при этом также должна быть основана на системных принципах. Поисковые технологии должны учитывать двойственность природы форм и способов представления запроса: при общем стремлении к «завершенной» (однородной и целостной) вербальной форме выражения запроса в силу неопределенности, присущей реальной потребности, часть или весь запрос может быть представлен в форме отдельных документов или их кластеров, что соответствует дискретной кластерной форме. Механизмы поиска должны быть построены по принципу дополненности четких и нечетких моделей. В свою очередь, нечеткие «кластерные» механизмы, реализующие классификацию документов на основе обучения на примерах, дополняются технологиями динамической реформулировки запроса по обратной связи по релевантности. Это позволяет, с одной стороны, выделять статистически значимые подмножества, а с другой – выявлять документы пограничные, статистически незначимые, но обладающие существенным признаком новизны. Процесс поиска информации, таким образом, будет иметь двойственную природу. На начальном

этапе необходимо выявить список терминов, характеризующих предметную область. Анализ получаемых по запросам документов на следующих этапах позволяет не только оценить возможность целевого практического использования их содержания, но и обогатить запрос, а также расширить терминологию предметной области. В свою очередь, систематизация терминологии и анализ потоков информации позволяет динамически «строить» понятийную модель предметной области, являющуюся не только необходимым элементом познавательного процесса, но и одной из форм представления, сохранения и распространения знаний.

Изложенный подход был реализован в рамках проекта «Разработка научно-методического обеспечения и рекомендаций по организации сетевого доступа к информационным ресурсам государственной системы аттестации кадров высшей квалификации различных категорий пользователей»¹.

В проекте, участниками которого были авторы статьи, была создана технология обмена в электронной форме информацией об аттестационных делах соискателей ученых степеней между диссертационными советами и информационной системой Высшей аттестационной комиссии Министерства образования и науки РФ [5, 6]. В основу технологии была положена концепция интегральной автоматизации подготовки и обработки данных о диссертационных работах с однократным контролируемым вводом и многофункциональным использованием информации, поэтапно формируемой на каждой стадии рассмотрения диссертационных работ. Использование принципа распределенного поэтапного и поэлементного предоставления информации позволило выполнить требования оперативности, достоверности и функциональной избыточности информации, а также обеспечить эволюционное развитие автоматизированных технологий обработки аттестационных дел и информационно-аналитического обеспечения процессов управления системой государственной аттестации научных и научно-педагогических работников.

¹ Федеральное агентство по образованию Министерства образования и науки Российской Федерации. Научная программа «Развитие научного потенциала высшей школы 2006–2008 гг.»

Разработанная информационная форма представления контента научно-исследовательских работ (в частности, диссертационных) создает условия для формирования баз знаний, основу которых будут составлять базы данных авторефератов, заключений диссертационных и экспертных советов, отчетов о НИР и т.д., представляющих информацию аналитического характера в унифицированной структурированной форме. При этом технология интеграции распределенных процессов основной и информационной деятельности в общей среде создает технологические и методологические условия для формирования не только информационной среды генерации, обработки и хранения знаний, обеспечивающей преемственность и развитие информационной поддержки познания на всех этапах его жизненного цикла, но также и «распределенного» экспертного сообщества.

Рассмотренная выше технология может быть применена для организации эффективного использования накопленных знаний и данных в железнодорожной отрасли. Так, в частности, для задач по информационному обеспечению пассажиров.

Этому вопросу в отрасли в настоящее время уделяется большое внимание. Так, к примеру, на десяти крупнейших вокзалах России (Ладожский вокзал в Санкт-Петербурге, вокзалы в Екатеринбурге, Перми и др.) была внедрена новая система информирования пассажиров и персонала о происходящих событиях, предоставляемых услугах, а также формирования и управления пассажиропотоками.

Наряду с этим, уровень и качество информационного обеспечения пассажиров в поездах практически не изменились. В поездах сообщается информация о маршруте следования, остановках и сервисном обслуживании в поезде.

Несколько лучше информируются пассажиры в скоростных поездах «Сапсан». В вагоне скоростного поезда установлены два больших табло, информирующие пассажиров о маршруте следования, номере вагона, температуре воздуха в салоне и текущей скорости движения поезда. Возле наружной двери вагона располагается электронная маршрутная доска с данными о классе вагона и направлении движения.

Использование описанной выше технологии позволяет по-иному подойти к информационному обеспечению пассажиров на маршруте движения поездов. Возможности указанной технологии за счет системного использования лингвистических средств и механизмов поиска позволят пользователю фактически создавать новый проблемно-ориентированный информационный ресурс, им самим формируемый и систематизируемый, который может включать помимо подборок документов также и метаинформацию, например, словари специальной терминологии, «индивидуальные» представления предметных областей, описания ресурсов и т.д. В этом случае наряду с предоставлением обычной информации (о скорости, местоположении поезда, видеороликах о поезде «Сапсан» и о достижениях ОАО «РЖД») появляется возможность организовать доступ пассажиров к самой разнообразной информации, например, о находящейся на пути следования поезда местности (природно-географической; культурно-исторической и т.д.). Возможным будет также дополнить справочные сведения расширенной информацией о пунктах отправления и назначения (где остановиться, как провести время, карта метро и т.д.).

В настоящее время такого рода информация во время движения поездов пассажирам недоступна.

Возможное применение системы автоматического перевода текстов с русского языка на английский, немецкий и французский позволит сделать доступной всю информацию и для иностранных пассажиров, что может представлять интерес для туристов и гостей предстоящей в Сочи Олимпиады. В этом случае целесообразно предоставить доступ к информации по истории олимпийского движения, результатам предыдущих Игр, расписанию соревнований предстоящих и т.п.

«Расширенное» информационное обеспечение пассажиров потребует разработки специализированной информационно-поисковой системы (программно-аппаратного комплекса), использующей данные из различных информационных ресурсов. Такая система должна:

- обеспечить формирование центральной базы (хранилища) многоаспектной мультимедийной информации по основным тематическим профилям (направлениям);

- иметь средства подключения внешних проблемно-ориентированных информационных ресурсов (в том числе поисковых машин Internet, библиотек, информационных и новостных служб, баз данных научной информации) и отдельных ресурсов (сайтов организаций, коллекций документов, архивов и т.д.);
- иметь достаточное и расширяемое разнообразие поисковых входов, поисковых механизмов и интерфейсных решений;
- иметь адаптивный интерфейс, обладающий возможностями динамического изменения технологий поиска;
- обеспечивать возможность обращения с поисковыми запросами к ассоциированным внешним информационным ресурсам – формирование запроса по шаблону ресурса, импорт в локальную базу данных (с индексированием и рубрицированием). Обеспечивать ведение репозитория Internet-ресурсов;
- обладать средствами ведения проблемно-тематической структуризации (рубрикация) информационного массива предметной области и соответствующие интерфейсные средства, в том числе иерархически организованный доступ к хранимой информации;
- обеспечивать множество форм визуализации вывода и экспорта объектов в текстовых (согласно библиотеке шаблонов) и мультимедийных средствах и т.д.

Заключение

Для организации эффективного применения накопленных знаний и данных в железнодорожной отрасли предлагается использовать рассмотренный в статье подход к созданию распределенных технологий формирования и использования информационных и метаинформационных компонентов.

Предложенный подход показывает, что в информационной среде наряду с двумя «традиционными» потоками – генерации/публикации информации и обслуживания запросов – в явной форме реализуется поток вариантных (с разной степенью общности/отличий) представлений предметных областей, семантически и технологически связывающий две, также традиционные, но достаточно изолированно существующие формы пред-

ставления предметной области – лингвистическое обеспечение автоматизированной информационной системы.

Интеграция распределенных процессов основной и информационной деятельности в общей среде, с одной стороны, и использование некоторых форм представления объектов и результатов основной деятельности в качестве информационных ресурсов – с другой, позволяет перейти от отдельных специализированных форм информационного обслуживания к интегральным (по функциям) и интегрированным (по процессам основной и информационной деятельности) системам.

Возможности рассмотренной технологии, которые позволяют пользователям создавать новый проблемно-ориентированный информационный ресурс, ими самими формируемый и систематизируемый, позволяют перейти к «расширенному» информационному обеспечению пассажиров.

Литература

1. Интегральный подход к информационно-аналитическому обеспечению науки и образования / Максимов Н.В., Павлов Л.П., Строгонов В.И. // Системы управления и информационные технологии. 2009. № 4.1.
2. Яблонский А.И. Модели и методы исследования науки. Серия: Философы России XX века. – М.: Едиториал УРСС, 2001.
3. Чернавский Д.С. Синергетика и информация. – М.: Едиториал УРСС, 2004.
4. Урманцев Ю.А. Общая теория систем: Состояние, приложения и перспективы развития. Сборник «Система, Симметрия, Гармония». – М. Мысль, 1988. С.38–124.
5. Об информационном обеспечении деятельности ВАК Минобрнауки РФ / Горбунов-Посадов М.М., Максимов Н.В., Полилова Т.А., Строгонов В.И. // Информационные технологии. 2008. № 10
6. Об одном подходе к построению интегрированной системы информационной поддержки процессов подготовки и аттестации научных кадров / Голицына О.Л., Максимов Н.В., Сергиевский Г.М., Строгонов В.И. // Системы управления и информационные технологии. 2006. № 2 (24).

УДК 621.01

Гнатченко И.И.,
Семенов А.Г., Цветков В.В., Элизов А.Д. (СПбГПУ)

Внедрение новых мобильных средств реабилитации инвалидов – оптимальный путь в безбарьерную среду на железной дороге

Ключевые слова:

транспортная безбарьерная среда, лица с ограниченными возможностями, транскутер, электроколяска.

В порядке совместной выработки специалистами СПбФ ОАО «НИИАС» и СПбГПУ транспортной политики в области предоставления оптимальных условий пассажирам с ограниченными физическими возможностями на повестке дня «в полный рост» встали две взаимосвязанные актуальные проблемы:

- подготовка ОАО «РЖД» к организации доставки лиц с ограниченными возможностями для участия в Паралимпийских играх «Сочи–2014»;
- развитие технических средств и технологий для повышения приспособленности железнодорожного транспорта для пассажиров с ограниченными возможностями – разработки фирм, проектных и научно-исследовательских организаций, ВУЗов и других организаций.

Речь пойдет об экспериментальных разработках транспортных средств для перемещения лиц с ограниченными возможностями внутри и снаружи помещений при создании безбарьерной среды на железнодорожных вокзалах и в вагонах поездов.

Условно такие транспортные средства можно разделить на активные и пассивные. К активным отнесем устройства, не требующие дополнительной помощи при передвижении со стороны ассистента (оператора), к пассивным – где такая помощь может потребоваться.

Одна из представляемых разработок активных средств передвижения – это малогабаритный, маневренный, трансформируемый скутер (далее – «трансскутер» как новая разновидность индивидуальных малогабаритных транспортных средств) для лиц с ограниченными возможностями. Известны два различных типа транспортных средств подобного класса: скутеры и электроколяски. Принято считать, что скутеры более распространены в США, а электроколяски – в Европе. Как правило, электроколяска ассоциируется с человеком с ограниченной подвижностью, а скутер – с образом жизни, что может рассматриваться как одна из составляющих реабилитации.

Отличительная черта представляемой машины – ее многофункциональность. Разрабатывая концепцию, проекты (варианты) и ходовые макеты (варианты) этой машины, коллектив исследователей преследовал прежде всего две цели: мобильность и компактность. Мобильность трансскутера достигается за счет применения полноприводной схемы управления движением (все три колеса ведущие), маневренности, простоты управления, возможности трансформации. Трансскутер способен разворачиваться и маневрировать в стесненных условиях кабинета, лестничного пролета, кабины лифта, салона самолета, тамбура вагона, узкого прохода, коридора. Для этой цели на трансскутере установлены специальные следящие поворотные приводы, которые по разработанному алгоритму отрабатывают разворот, в зависимости от угла поворота руля. Вообще говоря, функция связи между углом поворота руля и углом поворота задних колес может быть любая, но необходимая для совершения необходимого маневра. Поэтому трансскутер может передвигаться боком (мечта любого водителя городского транспортного средства), разворачиваться вокруг центра масс (ометая при этом минимально возможный радиус, зависящий только от габаритов базы), реализовывать электронный дифференциал, при котором угловые скорости задних колес зависят от радиуса поворота, что обеспечивает улучшенную управляемость на больших скоростях и маневрировании.

Необходимо отметить также, что решение задачи улучшения технико-эксплуатационных показателей (характеристик) представленного транспортного средства достигается за счет сокращения продолжительности

и энергоемкости процесса изменения колеи с обеспечением высокой мобильности (маневренности). Это, в частности, особенно актуально для индивидуальных электроприводных транспортных средств для лиц с ограниченными физическими возможностями, одна из опций которых предполагает возможность оперативного уменьшения колеи для передвижения по узкому салону вагона, авиалайнера, кабины лифта, и т.п. Последняя особенность, собственно, и обусловила начало авторских разработок в этом направлении и, как результат, создание представленного устройства.

В выбранном способе оперативного изменения колеи самоходного колесного транспортного средства каждое колесо, расположение которого на транспортном средстве определяет колею, поворачивают относительно вертикальной оси, смещенной от статического центра пятна контакта колеса с горизонтальной опорной поверхностью в поперечном направлении (то есть перпендикулярно продольной вертикальной плоскости транспортного средства), на 180° .

Более подробно суть предложенного способа маневрирования раскрывается в приведенных ниже примерах реализации и иллюстрируется (рис. 1–6).



Рис. 1. Общий вид

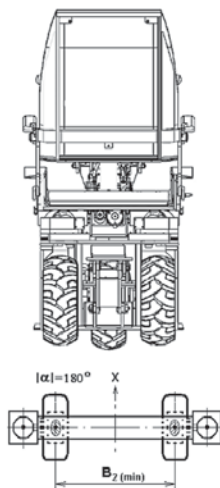


Рис. 2. Мин колея

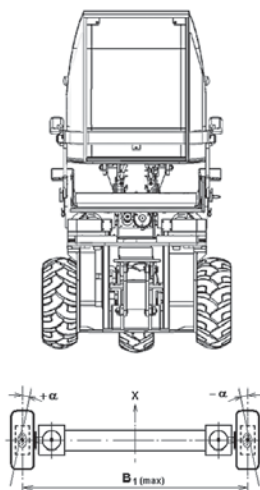


Рис. 3. Мах колеса

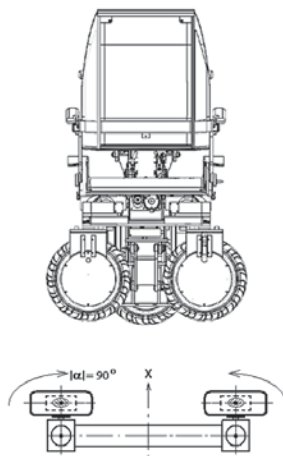


Рис. 4. Движение боком

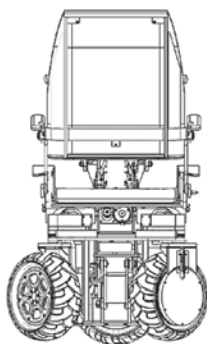


Рис. 5. Разворот на месте

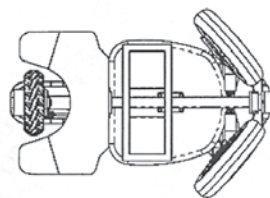


Рис. 6. Вид снизу

Если самым распространенным способом поворота колесных наземных транспортных средств является кинематический способ с отличным от нуля радиусом поворота R , при котором соосные (передние и/или задние) колеса поворачивают в одинаковом направлении (по – и/или против часовой стрелки) на угол $\alpha \leq \pm 90^\circ$ посредством рулевого привода, например, рулевой трапеции, то в данном случае предложены, повторяем, способ и устрой-

ство поворота с эксцентриситетами «е» в колесных блоках, как принципиально новый способ уменьшения колеи транспортного средства, например, на время перемещения по узкому коридору железнодорожного вагона.

Следует подчеркнуть, что это техническое предложение сделано на уровне запатентованного изобретения, в дополнение к серии других запатентованных авторами новшеств.

В последнее время основные производители техники для людей с ограниченными возможностями оснащают свои изделия «ставящими» креслами. Например, фирма *LEVO* (Швейцария). Это обеспечивает возможность временного «перевода» пользователя в вертикальное положение («вертикализация пользователя»). Транскутер тоже снабжен «ставящим» креслом, которое приводится в вертикальное положение с помощью линейного электромеханического актуатора. Для фиксации коленного сустава пользователя-инвалида в положении «стоя» транскутер снабжен коленными упорами, которые раскладываются и обеспечивают поддержку, а телескопическая рулевая стойка позволяет управлять машиной в этом положении так же, как и в положении «сидя». Для большей мобильности в положении «стоя» применяется укороченная база (за счет трансформации рамы).

Несколько слов о бортовой электронике.

Система управления транскутером реализована на базе РС модуля фирмы *Kontron X-board 861*, выполняющего роль контроллера верхнего уровня. Последний предназначен для реализации алгоритмов перестроения и движения сложной механической системы посредством взаимосвязанной работы электроприводов, замкнутых обратной связью по положению и скорости. Для управления электроприводами мотор-колес, поворотных модулей, привода трансформации рамы используются блоки управления вентильными двигателями, контроллеры нижнего уровня, разработанные на базе процессора *MC56F8323* фирмы *Motorola*. В программной части контроллера нижнего уровня реализовано векторное управление вентильным двигателем. Все электронные блоки управления исполнительными приводами соединены общей шиной управления *CAN* с контроллером верхне-

го уровня. Обратная связь по положению и скорости вентильных приводов передается на блоки управления с абсолютного цифрового энкодера *RMB20*, встроенного в привод. Этот же энкодер используется в приводе поворота задних колес. В качестве датчика газа и тормоза используется потенциометрический датчик СП5-21Б. Он же встроен в сочленение кресла и спинки сидения (для фиксации угла наклона) и в рулевую колонку (для определения угла поворота руля). Для перемещения кресла в положение стоя используется линейный актуатор фирмы *Ultra Motion*. Для увеличения момента в приводе поворота задних колес установлен червячный редуктор. В зависимости от поворота руля и выбранного режима задние колеса остаются на месте, изменяют размет колеи или поворачиваются на определенный угол, обеспечивающий наибольшую маневренность.

Экспериментальный ходовой макетный образец описанного трансскутера создан, прошел тестовые испытания и показал хорошие результаты.

С точки зрения разработчиков, представленное и предлагаемое для реализации изделие:

- отвечающее технико-эксплуатационным требованиям;
- удовлетворяющее принципу импортозамещения;
- не имеющее аналогов в мире;
- запатентованное в Российской Федерации;
- представляющее собой почти готовый инновационный продукт с относительно низкой себестоимостью, могло бы решать вопросы создания безбарьерной среды для лиц с ограниченными возможностями на железнодорожных вокзалах и в вагонах поездов, причем с выгодой для лиц с ограниченными возможностями, для социальных служб, для РЖД и для России в целом.

Теперь о другой тематически смежной, параллельной разработке.

Мобильный лестничный подъемник «Вектор» изначально разрабатывался как пассивное средство, предназначенное для перемещения лиц с ограниченными физическими возможностями по лестничным маршам жилых домов, реабилитационных, медицинских и социальных учрежде-

ний, домов престарелых, иных зданий и сооружений вверх и вниз, в порядке обеспечения среды обитания или при эвакуации, а также в транспортной системе «Социальное такси», для создания безбарьерной среды лицам с ограниченными возможностями на железнодорожных вокзалах, в персональном пользовании в квартирах по месту жительства. Но последние модификации подъемника позиционируют его как активное средство передвижения, на котором лицо с ограниченными возможностями может обходиться и без помощи ассистента.

Мобильный лестничный подъемник является электроприводным транспортным средством, его эксплуатация предполагает наличие оператора (ассистента) или сопровождающего лица, от которого не требуется длительной предварительной подготовки и затрат мускульной энергии. Общий вид и принцип пользования представлены на рис. 7.

Движение по лестнице и преодоление одиночного профильного препятствия осуществляется за счет работы электропривода. При этом роль ассистента, как в режиме подъема, так и в режиме спуска, сводится к контролю кинематики движения и поддержанию общего баланса (развесовки), практически это – корректировка угла наклона рамы, что с выработкой навыков (опыта) не требует физического и нервного напряжения.



Рис. 7. Мобильный лестничный подъемник

На рис. 8 представлена общая компоновка и состав изделия.

Подъемник «Вектор» содержит кресло (1) для транспортируемого человека, раму (2), рукоятки (3) телескопической конструкции и устройство подъема по лестнице, которое включает в себя автономный источник электропитания (4) и высокомоментный, компактный электромеханический привод (5).

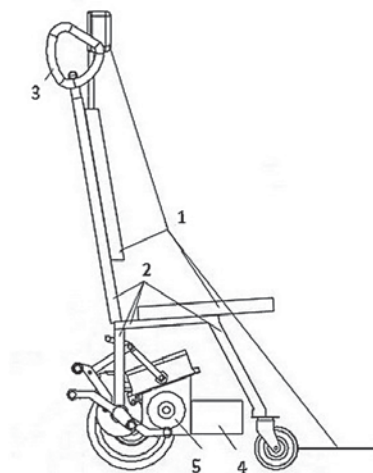


Рис. 8. Компоновка и состав изделия

Особенности конструкции подъемника: оригинальный и в то же время конструктивно относительно простой, высокомоментный электропривод с питанием от аккумуляторной батареи для преодоления лестничных маршей.

При использовании в качестве средства посадки-высадки пользователя в автомобиль в структуре «социального такси» не требуется переделка автомобиля: подъемник сам заводит пользователя по малогабаритной съемной лестнице-стремянке (рис. 9).

Разработано несколько разновидностей устройства, имеется вариант «подъездного» подъемника для использования совместно со штатным инвалидным креслом.

Уровень разработки изделия:

- предварительная экспериментальная проверка на ходовых макетах «Вектор-1» и «Вектор-2»;
- опыт эксплуатации инвалидами-опорниками (взрослым мужчиной и ребенком-девочкой) двух ходовых макетов подъемника «Вектор-2» в жилых 5-этажных домах;
- технические предложения по разработке подъемников «Вектор-2» и «Вектор-3»;
- чертежно-конструкторская документация на подъемник «Вектор-2»;
- принципиальная готовность к официальным испытаниям и сертификации.



Рис. 9. «Вектор» для службы «Социальное такси»

Таблица 1

Сравнительная характеристика подъемников «Вектор-2» и «Вектор-3» с зарубежными аналогами

	ТС «Вектор-2»	ТС «Вектор-3»	Подъемник Scalambil
Грузоподъемность, кг	150	150	100
Скорость движения, ступ/мин	30...35	30...35	нет данных
Габаритные размеры Д×Ш×В, мм	700×560×1500	915×440×1090	530×635×1600
Вес нетто, кг	50	35	10
Возможность использования подъемника в качестве эвакуатора	нет	имеется	нет
Возможность движения по плоскости без помощи ассистента	нет	имеется	нет
Возможность движения по лестнице без помощи ассистента	нет	имеется	нет
Возможность выбора стационарного или подкатного варианта	нет	имеется	нет
Радиус ометания при развороте, м	1,3	1,3	нет данных
Розничная стоимость (ориентировочно)	2000-2500 \$	нет данных	5995 \$

При разработке мобильного лестничного подъемника были опубликованы:

- патенты на изобретения – «Вектор-1» и «Вектор-2»;
- около 20 научно-технических статей, материалов научно-технических и научно-практических конференций, демонстраций на региональных и Всероссийских выставках, а также в прессе и на телевидении, журналы «Медицинская техника», «Проблемы реабилитации», «Современные технологии автоматизации (СТА)», «Научно-технические ведомости ГОУ СПб ГПУ», «Конкуренция и рынок», газета «Деловой Петербург».

*Управление
интеллектуальной
собственностью*

УДК 656.2:347.779

Раков В.В., Миронов В.С., Иконников Е.А.

Порядок проведения патентных исследований по объектам интеллектуальной собственности

Ключевые слова:

патентные исследования, поиск, полезная модель, изобретение, базы данных, описание, техническое решение задачи.

Патентные исследования проводятся на этапе планирования НИОКР, при разработке технического задания и технической документации, а также при принятии решения о производстве продукции. Основными целями патентных исследований являются определение уровня техники и тенденций развития и определение патентоспособности предлагаемых технических решений [1, 2].

На основании задания согласно ГОСТ Р 15.011-96 составляется регламент патентного поиска. Формирование регламента начинается с названия объекта (предмета) и решаемых им задач. Уточнение наименования производится по обзорам научно-технической литературы, по результатам предварительного поиска по отраслевым журналам, картотекам и реферативным журналам ВИНТИ. После уточнения объекта (предмета) производится его классификация в соответствии с международной классификацией – МПК. В регламенте указываются страны поиска, ретроспектива и источники информации.

Если объектом (предметом) является устройство, то поиск аналогичных описаний производится:

- по устройству в целом;
- по принципу работы устройства;
- по узлам и отдельным элементам;
- по взаимному расположению элементов и связи между ними;

- по форме и материалу выполнения отдельных элементов или устройства в целом;
- по технологии изготовления устройства.

Если объектом (предметом) является способ, то поиск описаний аналогичных способов производится:

- по способу в целом, по этапам и операциям способа;
- по порядку выполнения этапов, операций, действий во времени;
- по условиям и режимам осуществления этапов, операций, действий;
- по устройствам для осуществления способа.

Если объектом (предметом) является вещество, то поиск производится:

- по качественному и количественному составу;
- по способу получения вещества;
- по исходным материалам для получения вещества.

При определении перечня стран необходимо учитывать имеющийся опыт и знания у разработчика в данной области техники, особенно таких стран, как США, Германия, Япония, Великобритания, Франция.

Патентный поиск проводится путем нахождения патентов-аналогов [3].

В зависимости от используемых средств и приемов проведения поиска различают:

- тематический или предметный поиск;
- именной поиск;
- фирменный поиск;
- нумерационный поиск.

Чтобы начать поиск, надо грамотно оформить идею разработчика и составить материалы заявки с подробным описанием объекта (предмета)

В качестве изобретения охраняется техническое решение в любой области, относящееся к продукту или способу [4].

Предложения, содержащие открытия, научные теории и математические методы, программы для ЭВМ или заключающиеся только в представлении информации и внешнего вида, не являются изобретениями согласно п. 5 ст. 1350 ГК РФ. В соответствии с требованием единства изобретений заявка должна от-

носиться к одному изобретению или группе изобретений, связанных между собой настолько, что они образуют единый изобретательский уровень.

К патентоспособным объектам (предметам) относятся промышленно применимые и новые технические решения, обладающие изобретательским уровнем.

В качестве полезной модели охраняется техническое решение, относящееся к устройству [5].

Правовая охрана не предоставляется:

- решениям, касающимся внешнего вида;
- технологиям интегральных микросхем;
- правилам и методам игр, интеллектуальной или хозяйственной деятельности.

Описание материалов заявки должно содержать следующие разделы:

- область и уровень техники;
- раскрытие сущности;
- описание чертежей;
- осуществление, реализация;
- полезность или эффективность.

Сущность технического решения выражается в совокупности существенных признаков, достаточной для достижения обеспечиваемого полезной моделью технического результата.

Признаки относятся к существенным, если они влияют на возможность получения технического результата, т.е. находятся в причинно-следственной связи с указанным результатом.

В случае если совокупность признаков влияет на возможность получения нескольких различных технических результатов, каждый из которых может быть получен при раздельном использовании части совокупности признаков, влияющих на получение только одного из этих результатов, существенными считаются признаки этой совокупности, которые влияют на получение только одного из указанных результатов.

Технический результат представляет собой характеристику технического эффекта, явления, свойства и т.п., объективно проявляющихся при изготовлении либо использовании устройства.

Технический результат выражается таким образом, чтобы обеспечить возможность понимания специалистом на основании уровня техники его смыслового содержания. Специалист – лицо, обладающее общими знаниями, имеющее доступ и опыт работы в данной области техники.

Технический результат может выражаться, в частности, в снижении (повышении) коэффициента трения; в предотвращении заклинивания; в снижении вибрации; в улучшении контакта рабочего органа со средой; в уменьшении искажения формы сигнала; в снижении просачивания жидкости; в повышении быстродействия компьютера.

Получаемый результат не считается имеющим технический характер, в частности, если он:

- проявляется только вследствие особенностей восприятия человека с участием его разума;
- достигается лишь благодаря соблюдению определенного порядка при осуществлении тех или иных видов деятельности на основе договоренности между ее участниками или установленных правил;
- заключается только в получении той или иной информации и достигается только благодаря применению математического метода, программы для электронной вычислительной машины или используемого в ней алгоритма;
- обусловлен только особенностями смыслового содержания информации, представленной в той или иной форме на каком-либо носителе;
- заключается в занимательности и/или зрелищности.

Для характеристики используются, в частности, следующие признаки устройства:

- наличие конструктивного элемента;
- наличие связи между элементами;
- взаимное расположение элементов;
- форма выполнения элемента или устройства в целом, в частности, геометрическая форма;
- форма выполнения связи между элементами;
- параметры и другие характеристики элемента и их взаимосвязь;

- материал, из которого выполнен элемент или устройство в целом, за исключением признаков, характеризующих вещество как самостоятельный вид продукта, не являющийся устройством;
- среда, выполняющая функцию элемента.

Приводится также описание конструкции устройства в статическом состоянии и работа устройства или способ использования со ссылками на фигуры чертежей, а при необходимости поясняющие материалы – эпюры, временные диаграммы и т.д. Цифровые обозначения конструктивных элементов в описании должны соответствовать цифровым обозначениям их на фигуре чертежа.

Если устройство содержит элемент, охарактеризованный на функциональном уровне, и описываемая форма реализации предполагает использование программируемого или настраиваемого многофункционального средства, то представляются сведения, подтверждающие возможность выполнения таким средством конкретной предписываемой ему в составе данного устройства функции. В случае если в числе таких сведений приводится алгоритм, в частности, вычислительный, его предпочтительно представляют в виде блок-схемы, или, если это возможно, соответствующего математического выражения.

На рис. 1 показана схема поиска по отечественной базе данных. Входим в Интернет на сайт <http://www.fips.ru> ФГУ ФИПС (Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам). Слева в таблице выбираем «Информационные ресурсы», нажимаем и входим в «Информационно-поисковую систему». После копирования пароля «guest» и двойной вставки его в окна нажимаем кнопку «Войти». Слева в таблице входим в «Выбор базы данных для поиска». Патентными материалами могут быть рефераты, заявки или описания. При переходе на строку «Поиск» открывается окно, в котором проставляют необходимые данные.

В строках «Основная цель вопроса» – объект (предмет), название, авторы и нажимают кнопку «Поиск». По таблицам поиска проводятся чтение и анализ патентных материалов.

Предметный поиск можно выполнить, используя только две верхние строки таблицы. Именной поиск осуществляется по фамилиям авторов.

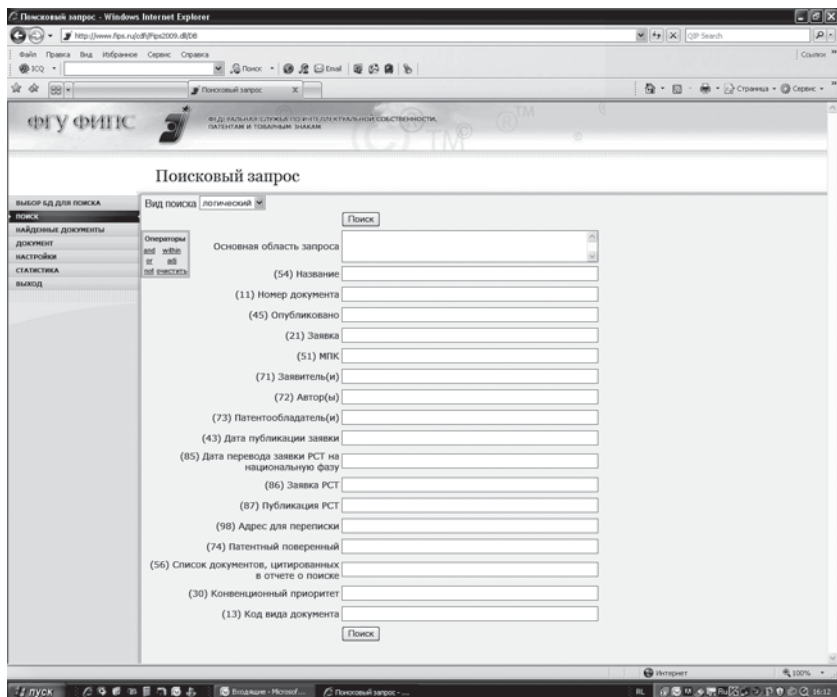


Рис. 1

Нумерационный поиск можно проводить, не входя в «Информационные ресурсы», а если сразу слева нажать на «Открытые реестры». В них содержатся информация по категориям изобретения, полезные модели заявки.

На рис. 2 показана схема поиска по зарубежной базе данных. С правой стороны на сайте ФГУ ФИПС имеется окно «Ссылка». Нажимая на него, входим в зарубежную базу данных. Находим сайт Европейской патентной организации <http://www.epo.org/>.

Слева нажимаем на вторую строку сверху «Advanced Search», появляется справочная таблица. В этой таблице необходимо для предметного поиска заполнить на английском языке первую или вторую строку с названием объекта (предмета). Третья строка обозначает страну, в которой произведено патентование.

Тематический поиск можно проводить, заполнив только одну нижнюю строку таблицы, указав в ней класс МПК.



Рис. 2

Именной поиск проводится при указании в строке «Applicant(s)» название на английском языке иностранной фирмы.

Нумерационный поиск выбирается отдельно в левой стороне экрана в графе «Number Search».

Патентные исследования необходимы для отбора заявочных материалов и выбора перспективных изобретений по следующим критериям:

- соответствие приоритетным направлениям науки и технологий в Российской Федерации;
- соответствие федеральным и ведомственным программам технологического перевооружения наукоемких направлений в экономике страны;
- пионерное изобретение;
- высокий технический уровень изобретения в сравнении с мировыми аналогами;

- оригинальность технического решения;
- готовность использования в производстве.

Выводы

1. Приведенный порядок патентных исследований по объектам интеллектуальной собственности показывает оптимальный путь нахождения аналогов, который позволит выявлять патентоспособные технические решения.
2. Используя современные базы патентных данных можно оценить изобретательский уровень предлагаемых технических решений на всех стадиях разработки НИОКР, при этом быстро и эффективно оформить заявки на изобретения или полезные модели.

Литература

1. Гражданский кодекс Российской Федерации. Ч. IV. – М.: Патент, 2008.
2. ГОСТ Р 15.1.011-96. Патентные исследования. Содержание и порядок проведения.
3. Методические рекомендации по проведению патентных исследований в ОАО «РЖД», утв. 25 марта 2009 г. № 616р.
4. Административный регламент исполнения Федеральной службой по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам государственной функции по организации приема заявок на изобретения и их рассмотрения, экспертизы и выдачи в установленном порядке патентов Российской Федерации на изобретение (утв. Приказом Минобробразования и науки от 29 октября 2008 г. № 327).
5. Административный регламент исполнения Федеральной службой по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам государственной функции по организации приема заявок на полезную модель и их рассмотрения, экспертизы и выдачи в установленном порядке патентов Российской Федерации на полезную модель (утв. Приказом Минобробразования и науки от 29 октября 2008 г. № 326).

УДК 656.2:347.779

Раков В.В., Вихрова Н.Ю.

Перспективы развития и проблемы патентования объектов железнодорожного транспорта

Ключевые слова:

патентные исследования, эффективность патентования, изобретательская активность, тенденции развития.

В последнее десятилетие за рубежом на железнодорожном транспорте осуществлялось интенсивное внедрение новых видов техники и технологий. В первую очередь это связано с дальнейшим совершенствованием информационных технологий, внедрением и развитием спутниковых навигационных систем, высокоскоростного движения, совершенствованием средств автоматики и телемеханики, направленных на увеличение объемов перевозок при повышении безопасности движения поездов.

Статистический анализ патентов по Европейской базе данных показал следующее распределение патентов: из общего количества выявленных 54 500 патентов на долю Японии, США, Китая и Канады приходится 60% или с учетом Германии 65,3%.

Россия с общим количеством заявок 3229 занимает среди этих стран пятое место. Распределение патентов по основным странам приведено на рисунке 1.

Мало пока российские патентообладатели подают заявок в Европейское патентное ведомство и Всемирную организацию интеллектуальной собственности. Из 800 проанализированных заявок в эти организации зарегистрировано по проблемам железнодорожного транспорта всего 6 заявок, или менее 1%.

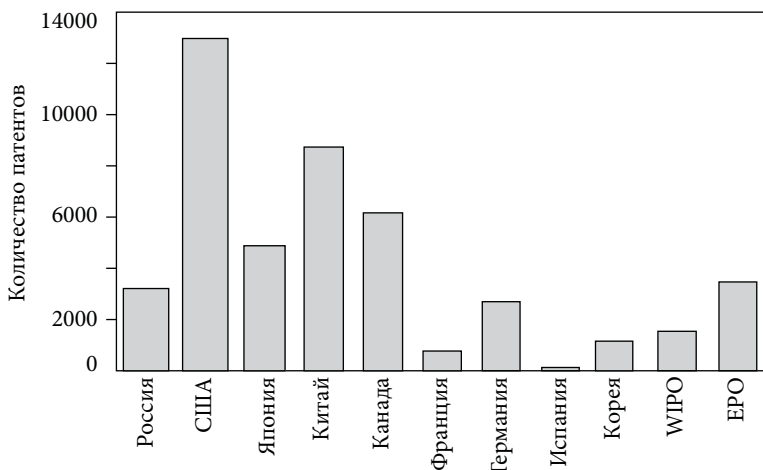


Рис. 1

Сравнение патентной деятельности по наиболее продвинутым в области патентных исследований странам показало, что Россия в целом занимает достойное место по количеству получаемых в области железнодорожного транспорта патентов, а по некоторым проблемам даже находится в числе передовых стран, по ряду проблем отстает по количеству зарегистрированных патентов.

Так, из 200 выявленных патентов по вопросам автоматизированной передачи информации на железнодорожном транспорте за период 1999–2009 г. из 10 наиболее патентуемых стран и организаций Россией запатентовано 15 объектов интеллектуальной собственности, что составляет 7,5%. В то время как в США – 94 объекта, Китае – 14, WIPO¹ – 32, Японией – 12, EPO² – 14, Кореей – 7, Великобританией – 6, Украиной – 3, Германией – 3 объекта.

Анализ патентования 101 патента по проблеме навигация на железнодорожном транспорте, в том числе 81 за период 1995–2009 г. по разделу применения навигационной системы на железнодорожном транспорте, показал, что в этой области больше всех патентуют фирмы Японии, около 28%. Менее активно, но примерно на одном уровне, патентуют фирмы Китая – около 16%, России – при-

1 Всемирная организация интеллектуальной собственности (ВОИС) – World Intellectual Property Organization (WIPO)

2 Европейское патентное ведомство (ЕПВ) – European Patent Office (EPO)

мерно 14%, и Соединенных Штатов Америки – около 10%. Остальные страны в этой области работают менее интенсивно, подготавливая 1–3 патента в год.

По направлению разработки мобильных навигационных устройств с 1990 по 2009 г. было установлено 422 патента. Анализ распределения полученных основными странами-разработчиками патентов за десять лет (2000–2009 гг.) показал, что более половины (63%) всех разработок приходится на долю Японии и США. Корея подготовила 41 патент, причем основное количество патентов приходится на 2004–2008 гг. Россией за прошедшее десятилетие зарегистрирован всего 1 патент в 2004 г. Всего же за этот период Россией было заявлено четыре объекта интеллектуальной собственности: 2 патента – в 2009 г., 1 заявка – 1999 г., 1 полезная модель – 2000 г.

По количеству зарегистрированных патентов по проблемам безопасности Россия стоит на втором месте после Китая. На рис. 2–5 приведено распределение количества патентов из общего числа проанализированных за 15 лет:

- 244 патента по вопросам безопасности локомотивов;
- 766 патентов по вопросам безопасности пути;
- 111 патентов по безопасности рельсовых цепей;
- 460 патентов по безопасности системы автоматики.

Сравнительный анализ научно-технического развития железнодорожного транспорта России и передовых зарубежных стран показал, что, несмотря на то, что в целом российский железнодорожный транспорт находится на современном уровне развития, существуют определенные области железнодорожной техники и технологий, в совершенствовании которых мы отстаем. В первую очередь это относится к высокоскоростному движению, которое в настоящее время еще только начинает внедряться. В то время как в ряде стран оно уже существует десятки лет, а например, в Китае, сравнительно недавно начавшему уделять этому вопросу повышенное внимание, к настоящему времени уже эксплуатируется свыше 6 тыс. км высокоскоростных железных дорог. Отстаем мы и в ряде вопросов безопасности эксплуатации и оперативности управления, применения таких активно развивающихся в настоящее время в мире, как нанотехнологии, робототехника и некоторые другие.

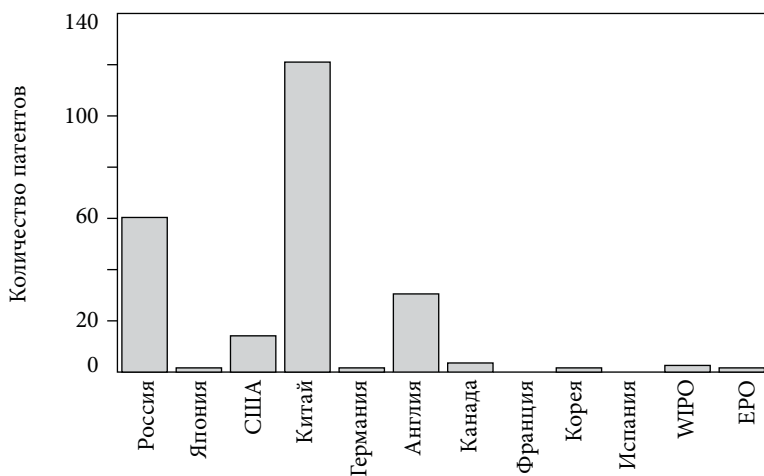


Рис. 2. Распределение патентов по вопросам безопасности локомотивов

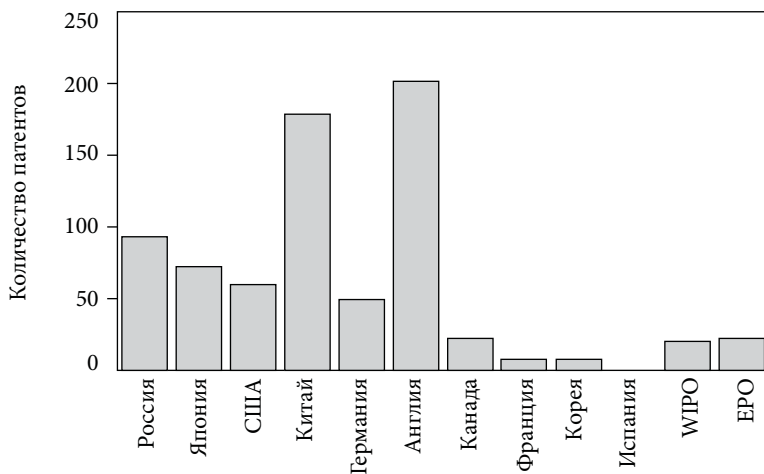


Рис. 3. Распределение патентов по вопросам безопасности пути

Для ликвидации такого отставания, помимо открытия специализированных подразделений в научно-исследовательских и проектно-конструкторских институтах, должны быть выполнены определенные шаги по совершенствованию работы центров интеллектуальной собственности.

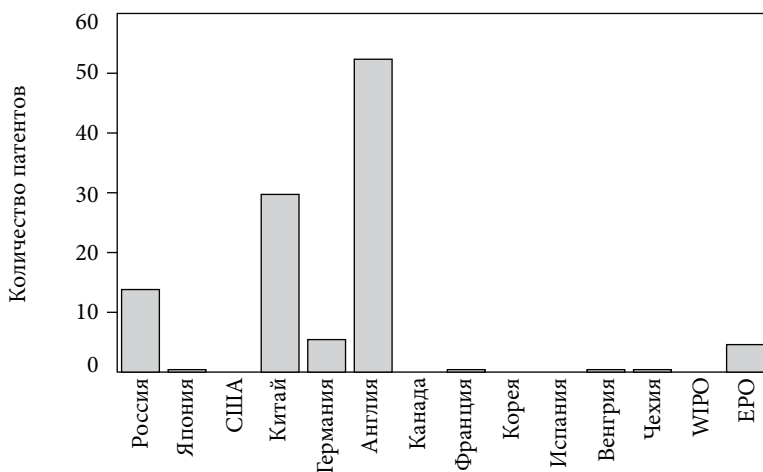


Рис. 4. Распределение патентов по безопасности рельсовых цепей

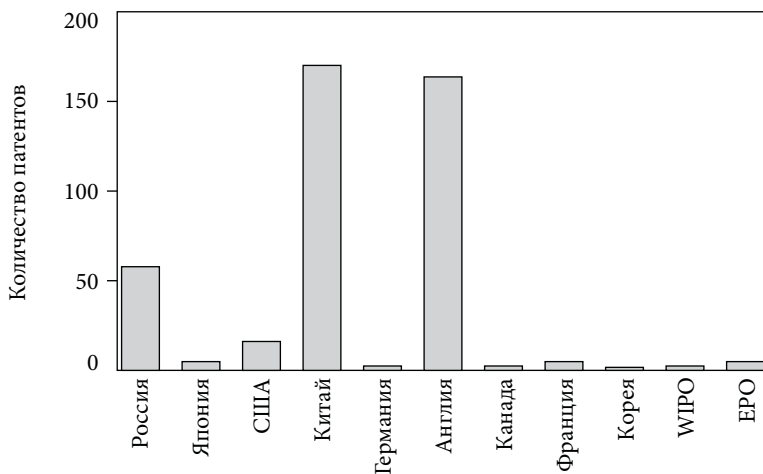


Рис. 5. Распределение патентов по безопасности системы автоматики

Анализ мировой практики патентования показал, что в целом ряде случаев создаваемые российскими железнодорожными инженерами и учеными патенты отстают как в количественном, так и в качественном отношении. Это в первую очередь зависит от глубины проработки материала

заявки, отсутствия всестороннего изучения его инновационных аспектов и возможности применения в условиях эксплуатации.

Наблюдается также некоторое отставание в технологии регистрируемых российских патентов от технологий передовых стран.

Изучение количества полученных патентов, например, в такой области, как безопасность в местах пересечения железнодорожного и автомобильного движения, показало следующее распределение патентов основных стран разработчиков (рис. 6).

Как видно из этой диаграммы, по количеству зарегистрированных патентов Россия находится на двенадцатом месте, существенно отставая от таких стран, как США, Япония, Германия.

Не многим лучше положение и в части регистрации и определения местоположения или опознавания подвижного состава или состояния путевых устройств (класс МПК В61L25/00). Анализ количества патентов по проблеме определения местоположения подвижного состава или поезда (рис. 7) показал, что по этому показателю Россия находится на девятом месте, существенно уступая Японии, Германии и США.

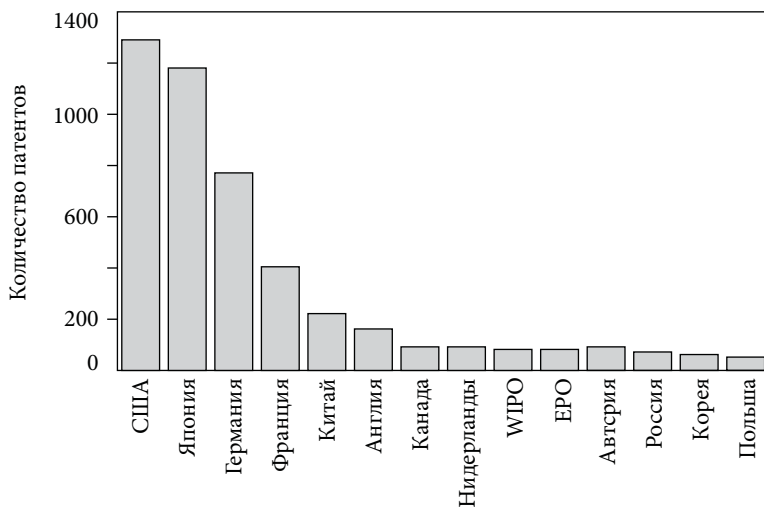


Рис. 6

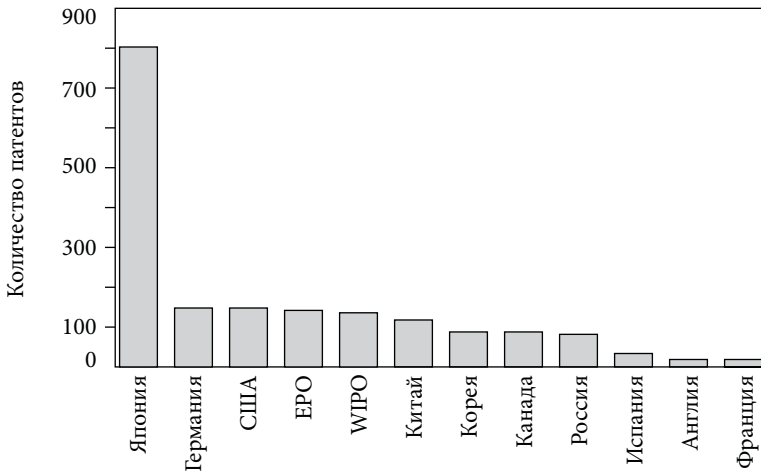


Рис. 7

В 2009 г. ОАО «НИИАС» подготовило свыше 100 заявок на изобретения и полезные модели по тематике, выполняемой институтом, и продолжает наращивать темпы изобретательской деятельности. Такая интенсивная работа потребовала проведения масштабных патентных исследований, результаты которых позволяют более четко определять наиболее важные направления развития железнодорожного транспорта и ориентировать сотрудников на более качественное выполнение научно-исследовательских работ.

На сегодня институт проводит патентные исследования по широкому кругу вопросов, в первую очередь таких как:

- безопасность инфраструктуры железнодорожного транспорта, включающая:
 - безопасность пути и путевого хозяйства;
 - безопасность устройств железнодорожной автоматики;
 - безопасность системы и устройств энергоснабжения железных дорог;
- безопасность подвижного состава, включая:
 - безопасность локомотивов;
 - безопасность вагонов.

Проводятся патентные исследования по вопросам совершенствования управления железнодорожного транспорта, включающим проблемы управления движением поездов, создания автоматизированных центров управления, систем диспетчерской централизации и автоматизированные центры управления на станциях.

В настоящее время одним из приоритетных направлений инновационного развития железнодорожной отрасли становится применение интеллектуальных железнодорожных систем (ИЖС), подразумевающих автоматизированное планирование и удаленное администрирование и управление движением поездов, в том числе специальными поездами, позволяющими повысить качество и надежность инфраструктуры железнодорожного транспорта и повысить безопасность движения поездов.

Анализируются тенденции развития железнодорожного транспорта в части:

- управления движением на основе спутниковых технологий и автоматической идентификации подвижного состава;
- внедрения системы мониторинга и телеуправления напольными устройствами железнодорожной автоматики;
- внедрения компьютерных систем управления на станциях в увязке с цифровым радиоканалом;
- внедрения комплексных компьютерных систем управления станционной работой, в том числе организацией местных вагонопотоков, работой железнодорожных узлов, и сортировочных станций и т. п.

Для обеспечения высокого технического уровня и конкурентоспособности разрабатываемых технических решений необходимо проводить опережающее патентование, т.е. защищать идею уже на стадии ее возникновения. Это также требует проведения патентных исследований по ключевым направлениям развития железнодорожного транспорта.

Проведение подобных всесторонних патентных исследований позволяет выявить широкий спектр научно-практических направлений работ, которые могут быть использованы на железных дорогах РФ.

Преимущества этих работ следующие:

1. Проведение всесторонних патентных исследований позволяет более четко определить технический уровень и тенденции развития объекта исследования, провести оценку вновь созданных технических решений, исследовать патентную чистоту объекта техники.
2. Создается комплекс взаимозависимых изобретений, позволяющий выйти на конкурентной основе на международный рынок интеллектуальной собственности.
3. Исключается или минимизируется дублирование НИОКР и повышается отдача от изобретательской деятельности.
4. Активизируется работа научно-технического и управляющего персонала по конкретному решению инновационных задач, связанных с выполнением стратегии развития железнодорожного транспорта.
5. Минимизируется вероятность возникновения финансовых рисков при внедрении разработок компании из-за отсутствия патентной чистоты.

Основные выводы:

1. По количеству зарегистрированных патентов по железнодорожному транспорту Россия занимает пятое место в мире.
2. Необходимо усилить работу по патентованию технических решений в области последних достижений техники и новых технологий (нанотехнология, нетрадиционные виды энергии, робототехника).
3. Для обеспечения высокого технического уровня и конкурентоспособности разрабатываемых технических решений необходимо проводить патентные исследования по ключевым направлениям развития железнодорожного транспорта и опережающее патентование.

Розенберг Е.Н., Раков В.В.

Юридические и бухгалтерские аспекты при доработках программного обеспечения, выполняемых в рамках служебного задания

Ключевые слова:

нематериальные активы, программное обеспечение, программа для ЭВМ, база данных.

Вопрос о целесообразности отражения в бухгалтерском учете в качестве объектов НМА доработок программ, выполняемых в рамках служебного задания при развитии программного обеспечения (предусматриваются новые функции) или по договорам о сопровождении программных средств, в случае, когда первая версия принята к бухгалтерскому учету в качестве НМА, целесообразно рассматривать по двум направлениям:

- 1) является ли результат развития программного обеспечения (ПО) самостоятельным объектом исключительного права;
- 2) если является, то кому принадлежит исключительное право на эти объекты.

Термин «программное обеспечение» не является правовым. В качестве объектов правовой охраны ГК РФ определяет программу для ЭВМ и базу данных [1].

Программа для ЭВМ – это представленная в объективной форме совокупность данных и команд, предназначенных для функционирования ЭВМ и других компьютерных устройств в целях получения определенного результата, включая подготовительные материалы, полученные в ходе разработки программы для ЭВМ, и порождаемые ею аудиовизуальные отображения.

Авторские права на все виды программ для ЭВМ охраняются так же, как авторские права на произведения литературы, хотя программа для ЭВМ в смысле ГК РФ не является литературным произведением.

В качестве базы данных как объекта авторского права охране подлежит представленная в объективной форме совокупность самостоятельных материалов (статей, расчетов, нормативных актов и иных подобных материалов), систематизированных таким образом, чтобы эти материалы могли быть найдены и обработаны с помощью ЭВМ.

База данных как объект авторского права является составным произведением, если подбор или расположение материалов является результатом творческого труда.

Авторское право на программу для ЭВМ или базу данных возникает в силу факта создания, однако для программ для ЭВМ и баз данных предусмотрена возможность регистрации по желанию правообладателя. Правообладатель в течение срока действия исключительного права на программу для ЭВМ или на базу данных может по своему желанию провести их государственную регистрацию в Роспатенте. Однако свидетельство о государственной регистрации не является правоустанавливающим документом.

Важное значение для регулирования отношений, связанных с созданием и использованием программ для ЭВМ и баз данных, имеют понятия «модификация» и «адаптация». Под модификацией программы для ЭВМ или базы данных понимаются любые их изменения, в том числе перевод программы или базы данных с одного языка на другой язык, за исключением адаптации.

Право на модификацию возникает только на основании согласия правообладателя, выраженного в лицензионном договоре.

Под адаптацией программы для ЭВМ или базы данных понимается внесение изменений, осуществляемых исключительно в целях функционирования программы для ЭВМ или базы данных на конкретных технических средствах пользователя или под управлением конкретных программ поль-

зователя. Право на адаптацию возникает у пользователя в случае, если она не запрещена.

Для программ для ЭВМ и баз данных в ГК РФ приводится перечень способов использования, которые разрешается совершать гражданину, являющемуся законным пользователем, без разрешения автора или иного правообладателя и без выплаты дополнительного вознаграждения. К ним относятся:

- 1) внесение в программу для ЭВМ или базу данных изменений исключительно в целях их функционирования на технических средствах пользователя и осуществление действий, необходимых для функционирования таких программы или базы данных в соответствии с их назначением, в том числе запись и хранение в памяти ЭВМ (одной ЭВМ или одного пользователя сети), а также исправление явных ошибок, если иное не предусмотрено договором с правообладателем;
- 2) изготовление одной копии программы для ЭВМ или базы данных при условии, что эта копия предназначена только для архивных целей или для замены правомерно приобретенного экземпляра в случаях, когда такой экземпляр утерян, уничтожен или стал непригоден для использования;
- 3) изучение, исследование или испытание функционирования программы в целях определения идей и принципов, лежащих в основе любого элемента;
- 4) воспроизведение и преобразование объектный код в исходный текст (декомпилирование программы для ЭВМ) самостоятельно или с привлечением третьих лиц, если это необходимо для достижения способности к взаимодействию независимо разработанной этим лицом программы для ЭВМ с другими программами, которые могут взаимодействовать с декомпилируемой программой, при соблюдении следующих условий:
 - информация, необходимая для достижения способности к взаимодействию, ранее не была доступна этому лицу из других источников;
 - указанные действия осуществляются в отношении только тех частей декомпилируемой программы для ЭВМ, которые необходимы для достижения способности к взаимодействию;

- информация, полученная в результате декомпилирования, может использоваться лишь для достижения способности к взаимодействию независимо разработанной программы для ЭВМ с другими программами, не может передаваться иным лицам, за исключением случаев, когда это необходимо для достижения способности к взаимодействию независимо разработанной программы для ЭВМ с другими программами, а также не может использоваться для разработки программы для ЭВМ, по своему виду существенно схожей с декомпилируемой программой для ЭВМ, или для осуществления другого действия, нарушающего исключительное право на программу для ЭВМ.

Для рассмотрения вопроса о постановке на бухгалтерский учет доработанного программного обеспечения основополагающее значение имеет термин «модификация».

Право правообладателя программы модифицировать ее закреплено в п. 1 ст. 1270 ГК РФ. Правообладателю принадлежит исключительное право использовать произведение в любой форме и любым не противоречащим закону способом (исключительное право на произведение). В п. 2 названной статьи перечислены формы использования произведения правообладателем. Среди них, в частности, поименована переработка произведения. Под переработкой произведения понимается создание производного произведения.

Переработкой (модификацией) программы для ЭВМ или базы данных считаются «любые их изменения, в том числе перевод такой программы или такой базы данных с одного языка на другой язык, за исключением адаптации, то есть внесения изменений, осуществляемых исключительно в целях функционирования программы для ЭВМ или базы данных на конкретных технических средствах пользователя или под управлением конкретных программ пользователя» (пп. 9 п. 2 ст. 1270 ГК РФ).

Таким образом, модификация программы для ЭВМ является объектом авторского права, который относится к производным произведениям. Право на производное произведение возникает, если лицо, создавшее его, имело право использования исходного произведения в форме переработки.

Если модификацию осуществляет лицо, не являющееся обладателем исключительного права, то право на модификацию возникает на основании лицензионного договора. Правовая природа договора на модификацию программного обеспечения состоит в том, что по заданию заказчика исполнитель разрабатывает программное обеспечение с использованием предшествующей интеллектуальной собственности.

Закон позволяет сформулировать предмет договора на модификацию как предмет лицензионного договора: «Правообладатель (Лицензиар) предоставляет или обязуется предоставить другой стороне (Лицензиату) право использования ПО путем переработки (модификации)».

Если предполагается привлечение соисполнителя, то лицензия должна быть с правом предоставления сублицензии (это, как правило, не отражается в применяемых договорах). Не исключается и выдача самостоятельной лицензии правообладателем соисполнителю.

В правовом плане существенно различаются договоры, предметом которых является модификация ПО, и договоры, предметом которых является сопровождение ПО. Результатом работ по договору на модификацию ПО является создание нового объекта авторского права, а договор на сопровождение является договором на оказание услуг и не приводит к созданию результата, который может стать объектом прав и обязанностей сторон договора.

Распределение прав на созданные программы для ЭВМ в соответствии с действующим российским законодательством производится следующим образом. Исключительное право на программу для ЭВМ принадлежит автору – гражданину, творческим трудом которого она создана.

Исключения составляют ситуации, когда:

- ПО создано при выполнении служебных обязанностей;
- ПО создано по договору.

В соответствии со ст. 1295 ГК РФ авторские права на произведение науки, литературы или искусства, созданное в пределах установленных для работника (автора) трудовых обязанностей (служебное произведение), принадлежат автору.

Исключительное право на служебное произведение принадлежит работодателю, если трудовым или иным договором между работодателем и автором не предусмотрено иное.

Работодатель в течение 3-х лет со дня, когда служебное произведение было предоставлено в его распоряжение, имеет право:

- начать использование произведения;
- передать исключительное право на него другому лицу;
- сообщить автору о сохранении произведения в тайне.

Если работодатель правом не воспользовался, то оно переходит к автору. Если же работодатель воспользовался правом, то автор имеет право на вознаграждение.

Размер вознаграждения, условия и порядок его выплаты работодателем определяются договором между ним и работником, а в случае спора – судом.

Если исключительное право на служебное произведение принадлежит автору, работодатель вправе использовать такое произведение способами, обусловленными целью служебного задания, и в вытекающих из задания пределах, а также обнародовать такое произведение, если договором между ним и работником не предусмотрено иное. При этом право автора использовать служебное произведение способом, не обусловленным целью служебного задания, а также хотя бы и способом, обусловленным целью задания, но за пределами, вытекающими из задания работодателя, не ограничивается.

Работодатель может при использовании служебного произведения указывать свое имя или наименование либо требовать такого указания.

Из этого следует, что, если модификация ПО, исключительное право на которое принадлежит работодателю (например, ОАО «НИИАС») и производится его работниками, то исключительное право на модификации ПО тоже принадлежит работодателю.

Если производится модификация ПО, исключительное право на которое принадлежит иному лицу (например, ОАО «РЖД»), то в рассматриваемом примере:

- ОАО «НИИАС» должен иметь разрешение на модификацию ПО в форме лицензионного или иного договора с ОАО «РЖД»;
- права на модификации ПО распределяются в соответствии с условиями договоров (лицензионного или иного).

Права на модифицированное ПО, созданное по договору, распределяются в соответствии со ст. 1296 ГК РФ и условиями договора.

В соответствии с п.1 ст. 1296 ГК РФ в случае, когда программа для ЭВМ или база данных создана по договору, предметом которого было ее создание (по заказу), исключительное право на такую программу или такую базу данных принадлежит заказчику, если договором между подрядчиком (исполнителем) и заказчиком не предусмотрено иное. В п. 2 данной статьи говорится, что в случае, когда исключительное право на программу для ЭВМ или базу данных, созданную по договору, предусматривающему ее создание, принадлежит заказчику, подрядчик (исполнитель) вправе, если договором не предусмотрено иное, использовать такую программу или такую базу данных для собственных нужд на условиях безвозмездной простой (неисключительной) лицензии в течение всего срока действия исключительного права. Пункт 3 ст. 1296 ГК РФ содержит норму о том, что в случае, когда в соответствии с договором между подрядчиком (исполнителем) и заказчиком исключительное право на программу для ЭВМ или базу данных принадлежит подрядчику (исполнителю), заказчик вправе использовать такую программу или такую базу данных для собственных нужд на условиях безвозмездной простой (неисключительной) лицензии в течение всего срока действия исключительного права.

В договорах, предусматривающих модификацию ПО (как создание нового объекта авторского права) и сопровождение ПО (как оказание услуг), должны учитываться следующие моменты:

- в договоре (или его преамбуле) надо указать, какое конкретно ПО модифицируется и кто является его правообладателем;
- к отношениям по распределению прав применяются положения ст. 1296 ГК РФ. Надо четко формулировать, кому же принадлежит исключительное право;

- привлечение третьих лиц возможно только на основании сублицензии или самостоятельной лицензии, выданной правообладателем (например, ОАО «РЖД»);
- предмет договора должен отражать объем прав;
- в лицензионном договоре должны быть указаны способы использования ПО. Надо указать, на какие виды использования ПО имеет право лицензиат, и право лицензиата предоставлять сублицензии.

В преамбуле договора на модификацию ПО следует указать, кто является обладателем исключительного права на ПО. Если заказчик не является обладателем исключительного права на ПО, то указать, на основании какого договора у заказчика возникло право пользования.

Целесообразно отражать в составе НМА новые версии программ, которые используются или планируется использовать в будущем.

В соответствии с п. 16 ПБУ 14/2007, фактическая (первоначальная) стоимость НМА, по которой он принят к бухгалтерскому учету, не подлежит изменению, кроме случаев, установленных законодательством РФ и ПБУ 14/2007[2]. Изменение стоимости допускается при переоценке и обесценении актива. Нормы гл. 25 «Налог на прибыль организаций» Налогового кодекса РФ не устанавливают необходимости увеличивать стоимость НМА в случае его доработки, изменения, усовершенствования (Письмо от 25 мая 2009 г. № 03-03-06/2/105). Таким образом, первоначальная стоимость нового (модифицированного) объекта будет отражать только фактически понесенные расходы, связанные с данной модификацией. Суммироваться расходы могут только в том случае, если предыдущие версии находились в опытной эксплуатации, а затраты отражены на счете 08 «Вложения во внеоборотные активы» на субсчете «Формирование первоначальной стоимости НМА» до перевода на счет 04 «Нематериальные активы».

Литература

1. Гражданский кодекс Российской Федерации. Ч. IV.
2. Положение по бухгалтерскому учету «Учет нематериальных активов» (ПБУ 14/2007).

Содержание

Технологии управления перевозками и транспортное обслуживание

Ададуров С.Е.

Обеспечение интероперабельности перевозок
в условиях реформирования железнодорожного транспорта 5

Шаров В.А.

Концепция интегрированной технологии управления движением
грузовых поездов по расписанию 14

Поплавский А.А.

Развитие системы оперативного управления перевозочным процессом
и транспортной логистики 33

Центры автоматизированного управления перевозками

Поплавский А.А.

Резервирование диспетчерских функций в центрах управления
первозочным процессом 51

Геоинформационные системы и спутниковые технологии

Розенберг И.Н., Дулин С.К., Уманский В.И.

Проектирование репозитория, поддерживающего ограничения
целостности геоданных 59

Системы управления транспортной инфраструктурой и имущественным комплексом

Макаров А.Ю., Василейский А.С., Карелов А.И.

Спутниковый мониторинг потенциально опасных воздействий
на железнодорожную инфраструктуру 77

Броневиц А.Г., Каркищенко А.Н., Уманский В.И.

Восстановление профиля по результатам лазерного сканирования 85

Комплексные системы управления и обеспечения безопасности движения поездов

Гапанович В.А., Розенберг Е.Н.

Современные средства обеспечения комплексной безопасности движения поездов с применением спутниковых технологий 113

Розенберг И.Н., Замышляев А.М.

Ситуационный центр ОАО «РЖД» – основной инструмент реализации функциональной стратегии обеспечения гарантированной безопасности и надежности перевозочного процесса 124

Прошин Г.Б.

Создание Комплексной автоматизированной системы учета, расследования и анализа случаев технологических нарушений 141

Замышляев А.М., Савицкий А.Г., Цуцков Д.В.

Комплексная автоматизированная технология управления работой железнодорожных станций 154

Талалаев Д.В., Пенькова Н.Г., Чернов С.С.

Автоматизированное проектирование ответственного программного обеспечения 158

Вериго А.М., Алмазян К.К., Кнышев И.П.

Надежность каналов поездной радиосвязи 175

Андрушко О.С.

Радиопроводный канал передачи информационно-управляющих сигналов 185

Системы транспортной безопасности

Рязанов С.Н.

Критерии оценки мероприятий по обеспечению транспортной безопасности объектов железнодорожной транспортной инфраструктуры 193

Методы и системы обработки изображений

Гречухин И.А., Каркищенко А.Н.

О методе построения характерных точек на основе вариации яркостного профиля 203

Каркищенко А.Н., Мнухин В.Б.

Метод непрерывного преобразования симметрии в задачах классификации изображений периодических структур..... 221

Броневиц А.Г., Мельниченко А.С.

Автоматическая аннотация изображений на основе выделения низкоуровневых текстурных признаков..... 235

Мацытаев Д.А. (ТТИ ЮФУ), Броневиц А.Г.

Анализ маски движения в задаче обнаружения и сопровождения движущихся объектов на основе энтропии Шеннона..... 255

Информационная безопасность

Шубинский И.Б.

Модифицированный топологический полумарковский метод расчета функциональной надежности информационных систем 277

Системы оптимизации энергопотребления и управления топливно-энергетическими ресурсами

Романова А.Т. (МИИТ), Ракова А.М. (МИИТ), Кузнецов А.В.

Модель и алгоритм рационального распространения систем автоведения на железнодорожном транспорте 289

Системы управления пассажирскими перевозками

Строгонов В.И., Максимов Н.В. (НИЯУ «МИФИ»)

Об одном подходе к организации информационного обеспечения пассажиров в поездах..... 303

Гнатченко И.И., Семенов А.Г., Цветков В.В., Элизов А.Д. (СПбГПУ)
Внедрение новых мобильных средств реабилитации инвалидов –
оптимальный путь в безбарьерную среду на железной дороге..... 312

Управление интеллектуальной собственностью

Раков В.В., Миронов В.С., Иконников Е.А.
Порядок проведения патентных исследований
по объектам интеллектуальной собственности 325

Раков В.В., Вихрова Н.Ю.
Перспективы развития и проблемы патентования объектов
железнодорожного транспорта 333

Розенберг Е.Н., Раков В.В.
Юридические и бухгалтерские аспекты при доработках программного
обеспечения, выполняемых в рамках служебного задания 342

Труды ОАО «НИИАС»
Выпуск 9

Главный редактор
Розенберг Е.Н.

Ответственный за выпуск
Каркищенко А.Н.

Компьютерная верстка
Терешкин С.Б., Фесенко А.В.

Подписано в печать 15.05.2011 г. Формат 60x90 ¹/₁₆.
Гарнитура Миньон. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 44,5. Тираж 500 экз. Заказ № _____.

Открытое акционерное общество
«Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт
информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте»
Дочернее общество ОАО «РЖД»
Россия, 109029 Москва, Нижегородская ул., 27, стр. 1
www.vniias.ru

Подготовлено к изданию ООО «Группа ИДТ»
Россия, 105005 Москва, наб. академика Туполева, 15, корп. 29
www.techizdat.ru

Отпечатано с готовых диапозитивов в ООО «Арбалет-про»

ISBN 978-5-94833-098-3

ББК 39.2

© ОАО «НИИАС», 2011

© Авторы, 2011