

РАСПРЕДЕЛЕННАЯ АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ПОЕЗДОВ НОВОСИБИРСКОГО МЕТРОПОЛИТЕНА

Белоконь С.А., Васильев В.В., Золотухин Ю.Н., Мальцев А.С.,
Соболев М.А., Филиппов М.Н., Ян А.П.

Институт автоматики и электрометрии СО РАН
630090, г. Новосибирск, просп. Академика Коптюга, 1
serge@idisys.iae.nsk.su

Представлены архитектура и программное обеспечение автоматизированной системы диспетчерского управления (АСДУ) движением поездов Новосибирского метрополитена, в частности: разработанная SCADA-система, предназначенная для создания многоуровневых программных комплексов повышенной надёжности и быстродействия; измерительная подсистема, решающая задачу автоматического контроля состояния напольного оборудования, прогнозирования и анализа неисправностей; а также моделирующий комплекс, позволяющий выполнить тестирование программного и аппаратного обеспечения АСДУ до начала монтажа оборудования.

Ключевые слова: архитектура автоматизированной системы диспетчерского управления, SCADA-система, управление движением поездов метрополитена

Введение

Начиная с 2004 г. Институт автоматики и электрометрии СО РАН с участием ведущих специалистов службы сигнализации и связи Новосибирского метрополитена разрабатывает автоматизированную систему диспетчерского управления движением поездов. Начиная с 2005 г. система поэтапно вводится в постоянную эксплуатацию [1].

Используемая в метрополитене АСДУ обязана удовлетворять более высоким, чем типовые, требованиям по надежности и безопасности, поскольку от ее работоспособности непосредственно зависит безопасность пассажиров.

Серьезным ограничением при выборе средств автоматизации является режим работы транспортного комплекса, ограничивающий непрерывное время работы по модернизации и последующему тестированию АСДУ несколькими ночными часами, что практически исключает возможность одновременного обновления всех компонентов. Поэтому система должна обеспечивать возможность постепенной интеграции с существующей разнородной аппаратно-программной средой и поэтапного переключения функций с поддержкой режима одновременной работы заменяемой и новой частей в течение опытной эксплуатации.

Большинство из этих условий может быть выполнено с минимальными издержками лишь в том случае, если АСДУ является модульным, легко расширяемым и динамически конфигурируемым комплексом, разработанным в соответствии со стандартами открытых систем, то есть, согласно определению международного стандарта IEEE POSIX 1003.0, реализует открытые спецификации интерфейсов, служб и форматов данных, достаточные для того, чтобы обеспечить: возможность переноса прикладных систем, разработанных должным образом, с минимальными изменениями на широкий диапазон систем; совместную работу с другими прикладными системами на локальных и удаленных платформах; взаимодействие с пользователями в стиле, облегчающем последний переход от системы к системе [2].

Структура и функции АСДУ

Разработанная АСДУ движением поездов представляет собой трехуровневую структуру, состоящую из комплекса автоматизированных рабочих мест (АРМ) и программируемых логических контроллеров (ПЛК), распределенных на значительном пространстве и работающих в

темпе реального технологического процесса [3]. Система объединяет распределенную микропроцессорную систему и маршрутно-релейные централизации (МРЦ) на каждой станции (рис. 1).

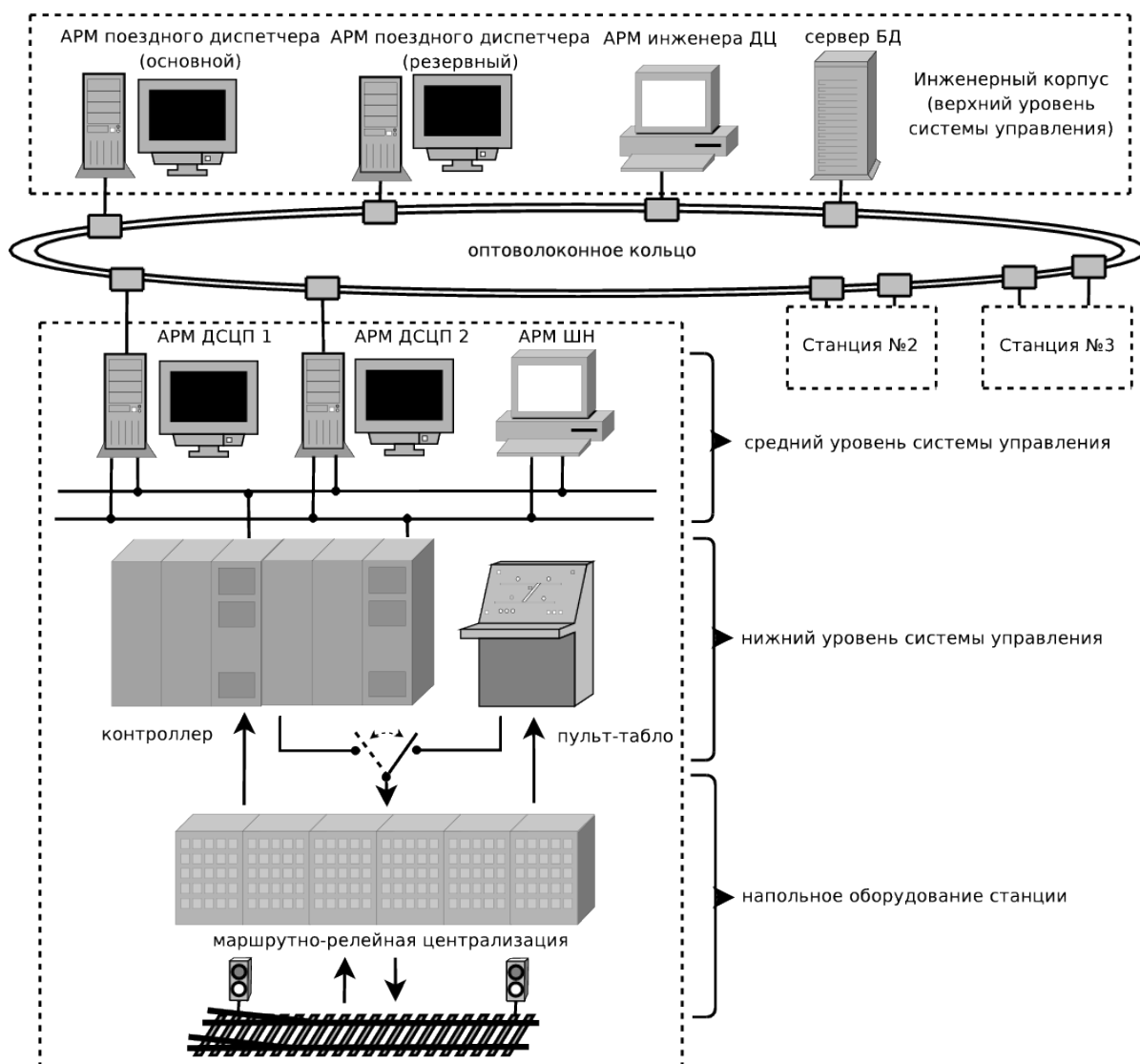


Рис. 1: Архитектура АСДУ

Верхний уровень системы включает в себя оборудование, расположенное на центральном посту управления: основной и резервный АРМ поездного диспетчера, АРМ дежурного инженера диспетчерская централизация (ДЦ) и сервер базы данных.

Средний уровень — расположенные на станциях рабочие места дежурных по станциям (АРМ ДСЦП) и рабочие места электромехаников (АРМ ШН).

Нижний уровень — программируемый логический контроллер (ПЛК), выполняющий функции устройства сопряжения с объектом и реализующий алгоритмы управления напольным оборудованием.

Аппаратура верхнего и среднего уровней объединена двойным оптоволоконным кольцом, обеспечивающим необходимую скорость и надёжность доставки данных. Автоматизированные рабочие места на каждой станции связаны с программируемым логическим контроллером и между собой посредством локальной станционной сети с резервированием. Для обеспечения непрерывного управления движением на время сервисного обслуживания или в случае выхода

из строя микропроцессорной части системы, предусмотрен переход на традиционную схему с использованием пульт-табло, полностью отключающее ПЛК от каналов управления.

Управление движением поездов осуществляется либо с автоматизированных рабочих мест поездного диспетчера с центрального поста, либо с расположенных на станциях АРМ дежурных по станции, при этом АСДУ обеспечивает выполнение следующих основных функций [4]:

- обработка информации и представление оператору состояния технологических объектов на станциях линии метрополитена в режиме реального времени;
- предоставление оператору средств управления технологическими объектами (задание маршрутов приема и отправления, режимов автодействия, перевод стрелок, открытие пригласительных сигналов и т. д.);
- контроль правильности действий оператора и поддержка системы статических и динамических подсказок, проверка возможности исполнения введенных команд (свободность стрелочной секции и незамкнутость стрелки в маршруте при попытке перевода стрелок, отсутствие установленных враждебных маршрутов, свобода путей и стрелочных секций при задании маршрута и т. п.);
- многоуровневое динамическое разграничение доступа к управлению различными групп операторов с привязкой к контролируемым системам;
- протоколирование действий оперативного персонала, внешних событий и функционирования аппаратуры МРЦ;
- просмотр в динамическом режиме состояния устройств автоматики и поездной ситуации на станции за любой период времени, включая режим реального времени;
- доступ к технологической информации с любого АРМ электромеханика в пределах системы.

Программное обеспечение

Программное обеспечение АСДУ [4] состоит из множества различных компонентов (ПО контроллера, ПО системы резервирования, ПО сервера базы данных и т. п.), среди которых особое место занимает многоплатформенная открытая модульная SCADA-система (Supervisory Control And Data Acquisition - диспетчерское управление и сбор данных), разработанная в лаборатории нечетких технологий ИАиЭ СО РАН для создания многоуровневых программных комплексов повышенной надежности и быстродействия [5].

Данная SCADA-система обеспечивает функционирование АСДУ в соответствии с предложенной в рамках проекта архитектурой, существенным отличием которой от классической схемы с иерархией «основной-резервный» является параллельная рассылка копий команд управления по нескольким независимым каналам (более подробное описание архитектуры см. в [6]).

Помимо исполнения основной задачи системы (надежной и своевременной передачи информации о поездной ситуации со станции на рабочие места дежурных и команд управления в обратном направлении), отдаваемые оператором команды должны анализироваться программным обеспечением с целью выявления несогласованных и потенциально опасных действий, способных привести к нештатной или аварийной ситуации.

Для соблюдения данного требования каждое действие диспетчера анализируется независимо друг от друга тремя различными подсистемами. На первом этапе проверку осуществляет программное обеспечение АРМ поездного диспетчера, которое, в отличие от ПО АРМ дежурного по станции, обладает базовой информацией о состоянии всей линии метрополитена и, в частности, о положении каждого участвующего в движении поезда в данный момент времени.

Затем получившая подтверждение команда пересылается на конкретную станцию метрополитена, где анализируется функционирующим на АРМ дежурного по станции модулем логики, в распоряжении которого находятся более полные сведения о состоянии контролируемого участка линии. На данном этапе производятся установленные регламентом проверки, связанные с безопасностью движения, такие как проверка свободности участков пути, проверка отсутствия установленных враждебных маршрутов и т. п.

На следующем этапе команда поступает в контроллер, где анализируется согласно ограниченному с целью снижения объема вычислений и повышения быстродействия набору наиболее актуальных проверок, чем обеспечивается оперативная реакция на изменение поездной ситуации. Наконец, на заключительном этапе команда, проверенная программным обеспечением всех уровней, преобразуется контроллером в выходные сигналы для исполнительного оборудования.

Таким образом, многоуровневый анализ действий диспетчера производится несколькими подсистемами, которые реализованы независимыми разработчиками с использованием различных языков программирования (АРМ ДЦХ: *Pascal*, АРМ ДСЦП: *C/C++/Python*, ПЛК: *LD/FBD/ST*), чем обеспечивается необходимый уровень диверсификации.

В рамках данного проекта разработано программное обеспечение АРМ дежурного по станции, электромеханика, инженера центрального поста, а также стыковочных модулей, обеспечивающих интеграцию с существующим программно-аппаратным комплексом метрополитена и расширяющих информационную поддержку служб принципиально новыми функциональными возможностями, позволяющими более эффективно и с меньшими усилиями решать существующие задачи. В частности, инженеру диспетчерской централизации и электромеханикам службы СЦБ (Сигнализация, Централизация, Блокировка) предоставлены автоматизированные рабочие места на всех станциях и центральном посту, позволяющие в реальном времени контролировать состояние обеспечивающего безопасность движения поездов оборудования метрополитена и оперативно принимать решения, а также анализировать предысторию событий и действий операторов службы управления движением.

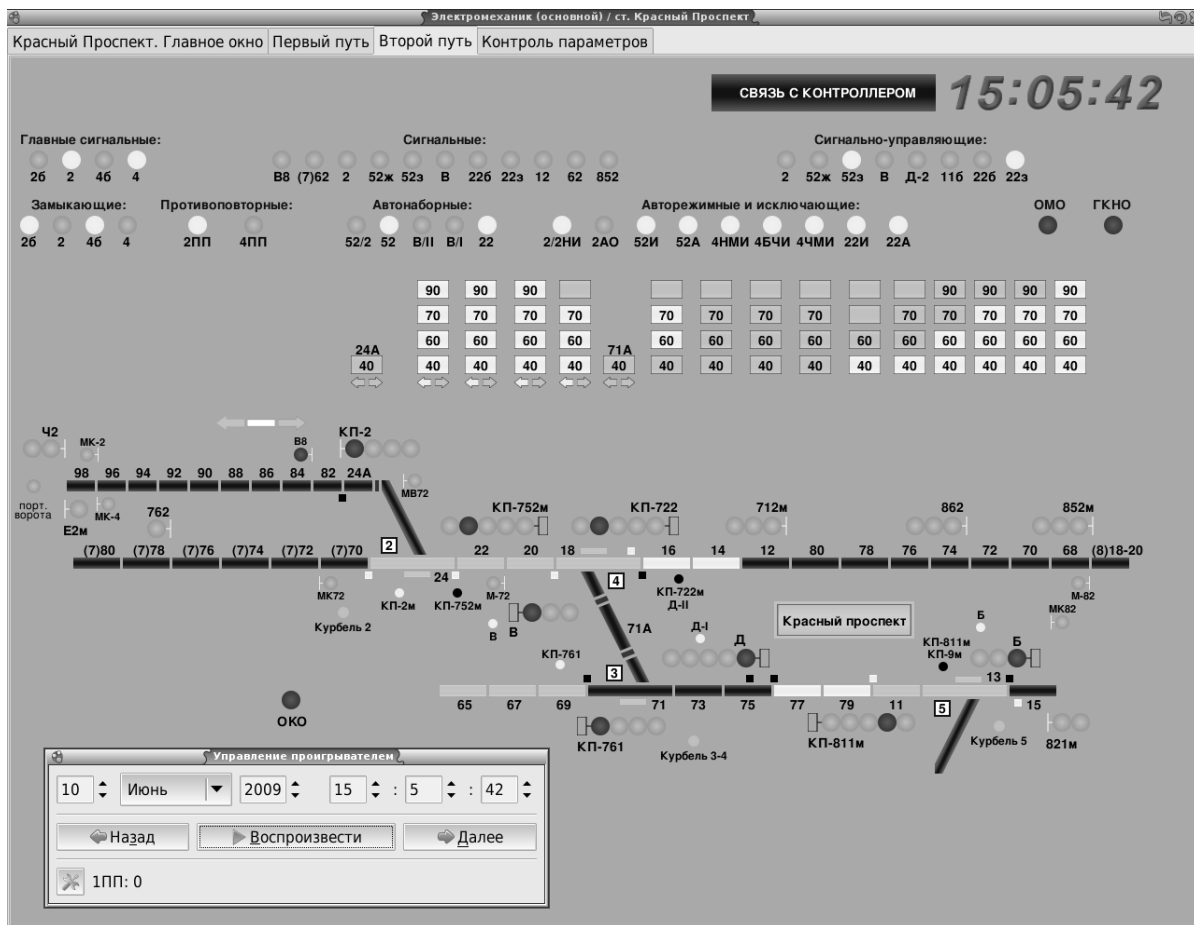


Рис. 2: Видеокادر АРМ электромеханика ст. "Красный проспект"

В качестве иллюстрации на рис. 2 приведен один из видеокладов пользовательского интерфейса АРМ электромеханика станции «Красный проспект» в режиме отображения и анализа

происходящих в реальном времени либо сохранённых в базе данных событий, таких как изменения состояния оборудования (реле, сигналов, рельсовых цепей и т. п.), а также действий дежурного по станции.

В качестве базовой программной платформы используется созданная на основе операционной системы GNU/Linux универсальная конфигурация ПО АРМ, не содержащая коммерческих программ и компонент с закрытым исходным кодом и настроенная на автоматический запуск единственного приложения с правами пользователя, не допускающими модификации программного обеспечения или данных системы. Общий размер программы, модулей, сообщений, конфигурационных и графических файлов составляет 1–1.5 МВ дискового пространства; во время исполнения программа занимает около 20 МВ оперативной памяти. Предусмотрены также конфигурации для бездисковых машин с загрузочным CD или USB диском.

Измерительная подсистема

Одной из важнейших задач при разработке современных сложных автоматизированных систем управления является создание средств, обеспечивающих их работоспособность и поддержание заданного уровня надежности проекта в процессе эксплуатации. Основной тенденцией в этой области является переход от методов периодического контроля состояния элементов системы, основанного на статистических данных, к непрерывному мониторингу её узлов. В настоящее время обслуживание систем метрополитена производится в соответствии с графиком технологического процесса. Переход к обслуживанию по фактическому состоянию элементов и подсистем позволяет рациональнее использовать человеческие и материальные ресурсы, упрощает процесс слежения за изменениями состояния системы, прогнозирования и анализа неисправностей.

Для решения задачи мониторинга состояния оборудования разработана подсистема [7], которая обеспечивает измерение аналоговых сигналов и анализ накопленных данных с целью выявления трендов параметров и оценки остаточного ресурса устройств, таких как стрелочные электроприводы, реле, светофорные лампы и др., позволяя тем самым решить задачу автоматического контроля состояния напольного оборудования, а также диагностировать и предупредить возможные неисправности.

Моделирующий комплекс

По существующему регламенту перед вводом системы в опытную эксплуатацию должна быть проведена комплексная отладка технических и программных средств в лабораторных условиях.

С этой целью в рамках работы по созданию автоматизированной системы диспетчерского управления движением поездов Новосибирского метрополитена разработан моделирующий стенд [8]. В состав стенда входит программно-аппаратный комплекс, осуществляющий моделирование аппаратуры маршрутно-релейной централизации и напольного оборудования станции, программируемый контроллер, а также автоматизированные рабочие места оперативного и эксплуатационного персонала (рис. 3).

Аппаратная часть данного комплекса представляет собой систему, включающую компьютер, моделирующий напольное оборудование, программируемый логический контроллер, имитирующий МРЦ, а также коммуникационные подсистемы. Информационные входы проверяемой АСДУ соединены с дискретными выходами ПЛК-модели (около 300-500 сигналов, в зависимости от моделируемой станции метрополитена), а управляющие выходы АСДУ соединены с дискретными входами ПЛК-модели (порядка 100 сигналов).

Программное обеспечение моделирующего комплекса разработано на основе описанной выше SCADA-системы и реализует необходимые для тестирования АСДУ ситуации, такие как движение поездов, включение/выключение светофоров, перевод стрелок, а также неисправности оборудования (перегорание лампы светофора, потеря контроля стрелки, ложную занятость рельсовой цепи и т. п.).

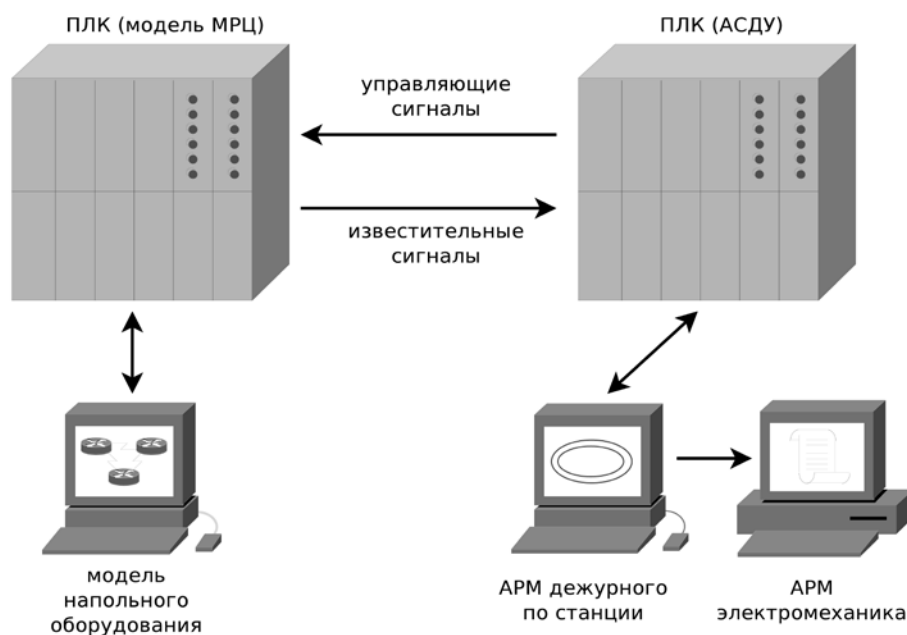


Рис. 3: Схема моделирующего стенда

Моделирующий комплекс позволяет тестировать программное и аппаратное обеспечение разрабатываемой АСДУ до начала монтажа оборудования на станции, а также при необходимости воспроизвести и проанализировать ситуации, происходившие на реальных станциях метрополитена.

Функциональные возможности моделирующего стенда позволяют использовать его в качестве тренажера для оперативного и эксплуатационного персонала.

Заключение

К настоящему моменту разработанная система успешно функционирует на станциях «Березовая роща», «Площадь Гарина—Михайловского», «Заельцовская», «Красный проспект», «Золотая нива», «Сибирская», «Студенческая» и «Площадь Маркса», а также на АРМ дежурного электромеханика в инженерном корпусе; работы в рамках запланированной модернизации системы управления движением поездов Новосибирского метрополитена завершены.

Литература

1. *Абрамов А.И., Белоконь С.А., Васильев В.В., Золотухин Ю.Н., Коглер Р.Р., Марков С.Ф., Михеев Ю.И., Плотников В.М., Соболев М.А., Филиппов М.Н., Ян А.П.* Автоматизированная система диспетчерского управления движением поездов на Дзержинской линии Новосибирского метрополитена // В кн. Труды VII Международной конференции «Проблемы управления и моделирования в сложных системах», 27 июня–1 июля 2005 г., Самара. — 2005. — С. 157–161.
2. *James Issak, Kevin Lewis, Kate Thompson, and Richard Straub.* Open System Handbook: A Guide to Building Open Systems. — The IEEE Standards Press, 1994.
3. *Золотухин Ю.Н., Коглер Р.Р., Михеев Ю.И.* Микропроцессорная система управления движением поездов. // Метро и тоннели. 2005. 6. С. 10-11.
4. *Белоконь С.А., Васильев В.В., Филиппов М.Н.* Программное обеспечение автоматизированной системы диспетчерского управления Новосибирского метрополитена // 7-ая международная конференция памяти ак. А.П. Ершова. Перспективы систем информатики. 15-19 июня 2009 г., Новосибирск, изд. ИСИ СО РАН, С. 52-56.
5. *Белоконь С.А., Филиппов М.Н.* Метод построения многоплатформенной открытой модульной SCADA-системы // Вестник НГУ. Серия: Физика. — 2008. — Т. 3, выпуск 1. — С. 115–125.

6. Белоконь С.А., Васильев В.В., Золотухин Ю.Н., Мальцев А.С., Соболев М.А., Филиппов М.Н., Ян А.П. Автоматизированные системы диспетчерского управления объектами повышенной опасности // Автометрия. 2011. 47, №3. С. 73-83.
7. Maltsev A.S., Sobolev M.A., Yan A.P. On the question of building an open system of automated diagnostics for Novosibirsk subway // In: Proc. of the IASTED International Conference «Automation, Control, and Applications» (ACIT 2010), June 15–18, 2010, Novosibirsk. — 2010. — Pp. 174–177.
8. Белоконь С.А., Васильев В.В., Золотухин Ю.Н., Филиппов М.Н., Ян А.П. Отладка автоматизированной системы диспетчерского управления путем моделирования маршрутно-релейной централизации станции метро // 7-ая международная конференция памяти ак. А.П. Ершова. Перспективы систем информатики. 15-19 июня 2009 г., Новосибирск, изд. ИСИ СО РАН, С. 52-56.