

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ПОЕЗДОВ НОВОСИБИРСКОГО МЕТРОПОЛИТЕНА

Золотухин Ю.Н.¹, Белоконь С.А.¹, Васильев В.В.¹, Филиппов М.Н.¹, Ян А.П.¹

¹ Институт автоматики и электрометрии СО РАН 630090, г. Новосибирск, просп. Академика Коптюга, 1. E-mail: zol@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.

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; с 2005 г. система поэтапно вводится в постоянную эксплуатацию [1]; в 2012 г. завершена модернизация существующих станций, и стартовали работы по созданию усовершенствованной микропроцессорной АСДУ для запланированного продления Дзержинской линии.

Автоматизированные системы диспетчерского управления, предназначенные для использования на объектах повышенной опасности, таких как предприятия атомной и химической промышленности, транспортные комплексы, объекты военного назначения и т. п., занимают особое место, так как нарушения в их работе представляют прямую угрозу жизни и здоровью людей.

При разработке как аппаратных средств, так и программного обеспечения (ПО) подобных систем недостаточно лишь организации дополнительного резервирования составляющих, поскольку помимо высокой надежности при работе в штатном режиме весь программно-аппаратный комплекс должен обеспечивать предсказуемо-безопасное поведение в случае выхода из строя отдельных компонентов.

Также 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.

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 [2]. Система

объединяет распределенную микропроцессорную систему и маршрутно-релейные централизации (МРЦ) на каждой станции (рис. 1).

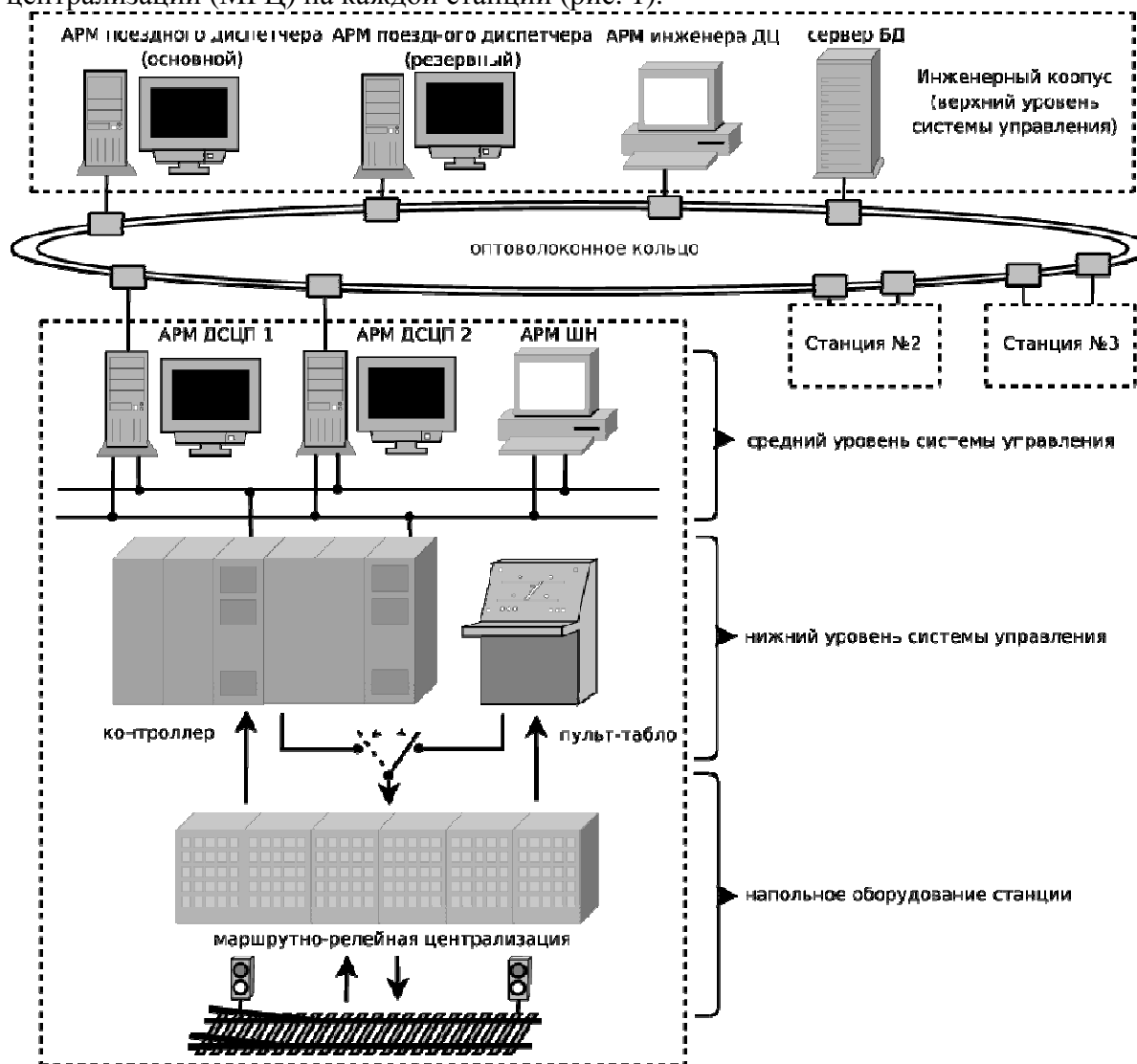


Рис. 1: Архитектура АСДУ

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 [3]:

- 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 различных 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 [3] 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 [4].

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 приведено в [5]).

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.

В рамках 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.

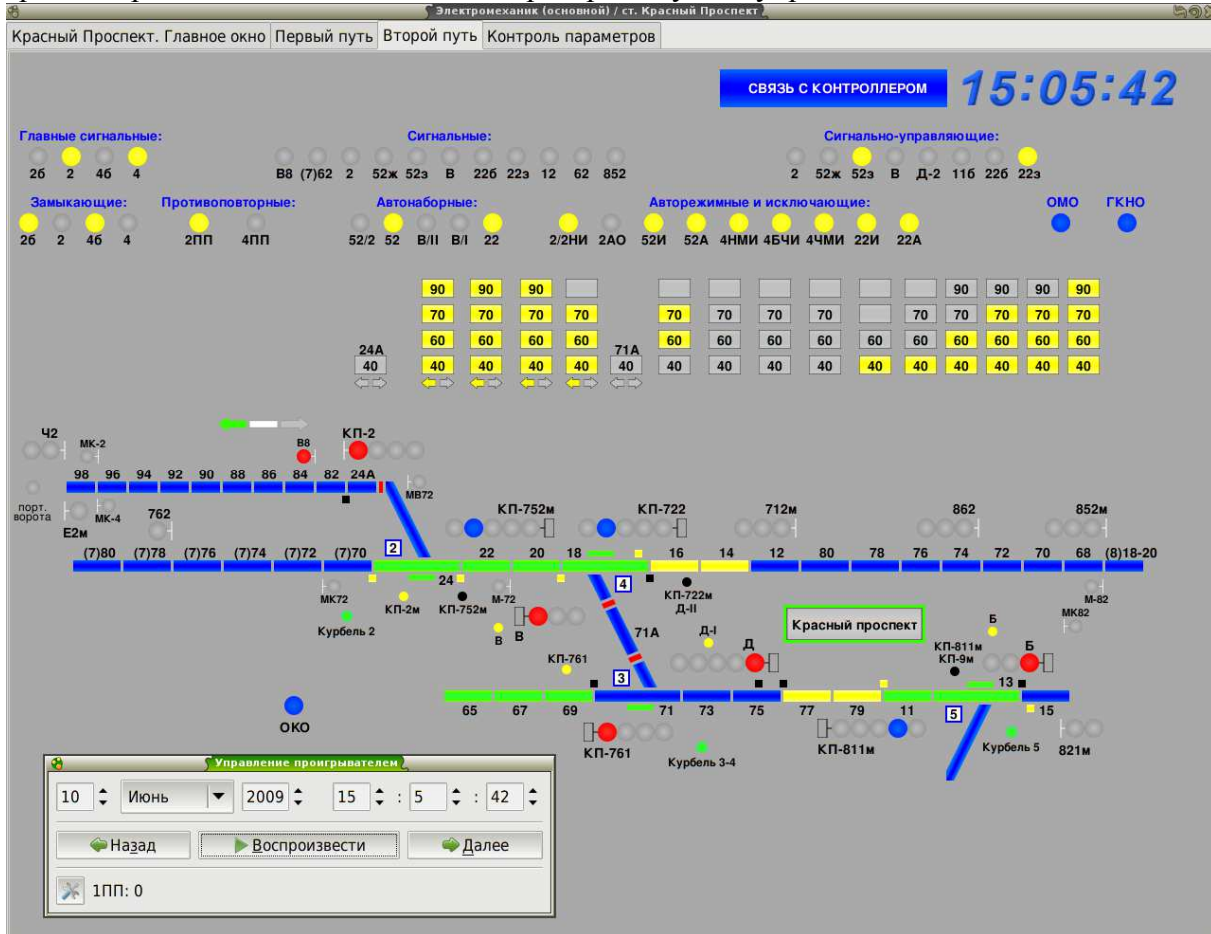


Рис. 2: Видеокادر АРМ электромеханика ст. "Красный проспект"

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.

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 специализированная подсистема [6], 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 предупреждать 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 [7]. 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.).

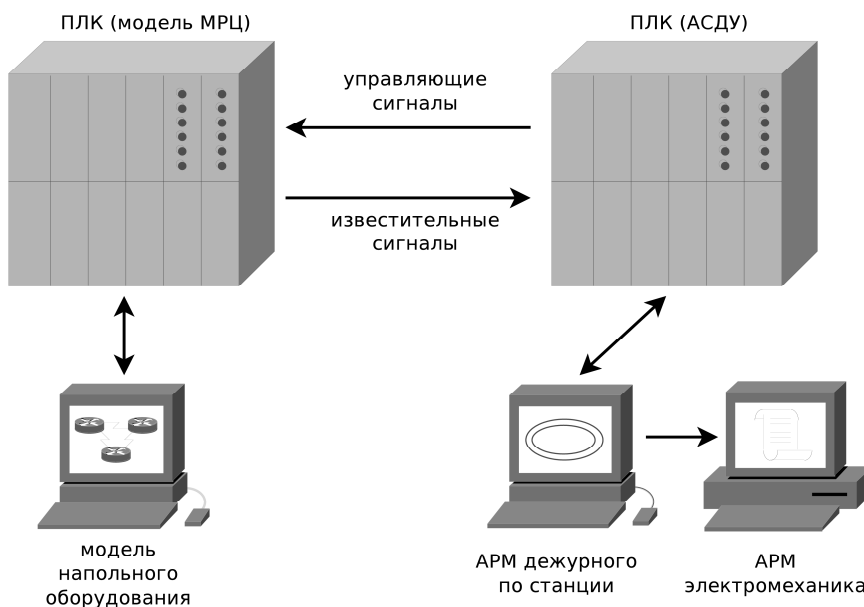


Рис. 3: Схема моделирующего стенда

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.

Микропроцессорная централизация

В рамках проекта систем управления для новых станций метрополитена разработана схема полностью микропроцессорной системы управления движением поездов. В основу концепции положено использование ядра управляющего вычислительного комплекса на базе безопасной многопроцессорной архитектуры Modicon Quantum фирмы Schneider Electric (структурная схема представлена на рисунке 4).

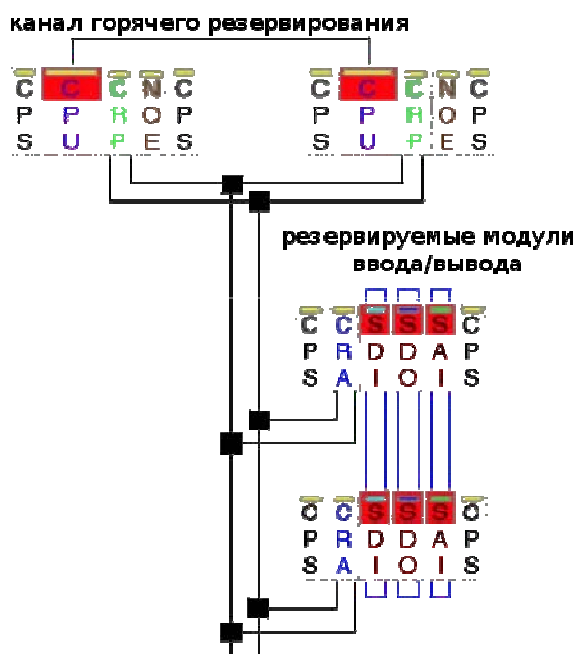


Рис. 4: Структурная схема ядра

Безопасный ПЛК серии Quantum представляет собой систему, прошедшую сертификацию организацией TÜV Rheinland Group в соответствии с требованиями стандарта IEC 61508. Программирование контроллеров выполняется при помощи инструментальной системы Unity Pro XLS, разработанной компанией Schneider Electric. Входящие в состав ядра модули сертифицированы по безопасности на уровне SIL 3 в соответствии с IEC EN 61508 (ГОСТ Р МЭК 61508-2007). Платформа автоматизации Modicon Quantum имеет сертификат соответствия РОСС FR.ME48.B02751.

Внутренняя архитектура модулей центрального процессора (ЦП) содержит дублированный канал переключения и позволяет выполнять двойной код для выявления как систематических ошибок при формировании и исполнении кода, так и случайных сбоев в модуле ЦП и ОЗУ. Контроль выполнения осуществляется при помощи встроенных в модуль ЦП двух процессоров различного типа.

Схема подключения модулей ввода/вывода обеспечивает резервирование и позволяет выявлять систематические ошибки коммутации, так и случайные внутренние сбои. Кроме того, поддерживаются функции диагностики связи с ЦП, текущего статуса, а также автоматической самодиагностики.

В случае необходимости сертификации по уровню безопасности SIL4 в соответствии с IEC EN 61508 (ГОСТ Р МЭК 61508-2007) предусмотрена возможность расширения системы аппаратными средствами НИМА (НИМах, НИMatrix), имеющими соответствующие сертификаты.

Заключение

К настоящему моменту разработанная система функционирует на станциях «Березовая роща», «Площадь Гарина—Михайловского», «Заельцовская», «Красный проспект», «Золотая нива», «Сибирская», «Студенческая» и «Площадь Маркса».

На основе представленной усовершенствованной системы микропроцессорной централизации разрабатывается АСДУ движением поездов для проектируемых станций «Гусинобродская» и «Молодежная» Новосибирского метрополитена.

Список литературы

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. Золотухин Ю.Н., Коглер Р.Р., Михеев Ю.И. Микропроцессорная система управления движением поездов. // Метро и тоннели. 2005. 6. С. 10-11.
3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. 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.