

## **Безопасность и экономичность – главные черты системы управления движением поездов Казанского метрополитена**

**Белов В.П., Голынский А.П., Потапов К.Б., Гаркуша М.И., Корнев Л.Ю.**

К тысячелетнему юбилею столицы Татарстана введён в эксплуатацию Казанский метрополитен, который, по мнению министра транспорта РФ, является лучшим в России по своему уровню безопасности [1]. И это действительно так. Казанский метрополитен оснащён современными системами бесперебойного электропитания и пожарной безопасности, средствами антитеррористической защиты и борьбы с грунтовыми водами. Вместе с тем наибольший интерес у отечественных и зарубежных специалистов в области эксплуатации метрополитенов вызывает аппаратно-программный комплекс управления движением поездов.

Движущийся поезд метрополитена (**рис.1**), как известно, представляет собой не только средство для быстрого и комфортного передвижения, но и источник повышенной опасности для его пассажиров. Поэтому во всём мире к безопасности системы управления движением поездов метрополитенов всегда предъявлялись повышенные требования.



Рис.1 Поезд казанского метрополитена

Главная роль в решении этой задачи отводилась машинисту поезда. От его способности оперативно реагировать на опасные ситуации, принимать правильные решения во многом зависела жизнь и здоровье людей.

В основу построения системы управления движением поездов казанского метрополитена заложены идеи и принципы, обеспечивающие достижение высокого уровня безопасности, которые зародились в Санкт-Петербургском НИИ точной механики [2, 3, 4, 5] и прошли экспериментальную проверку в метрополитене города на Неве. Уникальность казанского метро заключается в полном отсутствии морально устаревших релейных средств управления и организации движения, которые до сих пор используются в метрополитенах нашей страны. На смену этим средствам пришли отвечающие современному мировому уровню бортовые и станционные вычислительные комплексы, способные самостоятельно обнаружить и локализовать угрозу безопасному состоянию находящихся в метрополитене людей.

Система управления движением поездов казанского метрополитена построена по иерархическому принципу и включает в себя три уровня. На верхнем уровне располагается центр диспетчерского управления (ЦДУ). С его помощью осуществляется сбор необходимой информации, её оперативный анализ и выдача управляющих команд на нижестоящий средний уровень, который включает в себя оборудование, установленное на станциях метрополитена. Нижний уровень представляет собой аппаратуру, размещённую на поездах.

### **Центр диспетчерского управления**

Всё оборудование и программное обеспечение центра диспетчерского управления разделено на две взаимосвязанные системы. Одна из них - комплексная система «Движение» (КСД) осуществляет процесс организации движения поездов метрополитена, а другая – комплексная автоматизированная система диспетчерского управления (КАСДУ) решает задачу управления внешними устройствами и имеет сертификат соответствия.

Информация о движении всех поездов, их техническом состоянии, а также о состоянии оборудования, установленного на станциях, и путевой аппаратуре передаётся на ЦДУ по дублированной волоконно-оптической связи и отображается на проекционных табло коллективного пользования. (Рис. 2)



Рис. 2 Центр диспетчерского управления

Обработка информации, поступающей в центр диспетчерского управления, производится с помощью двух специализированных вычислительных комплексов, входящих в состав соответственно КСД и КАСДУ. Каждый из этих комплексов имеет двукратное резервирование и построен на базе серверов IBM X Series (рис.3).

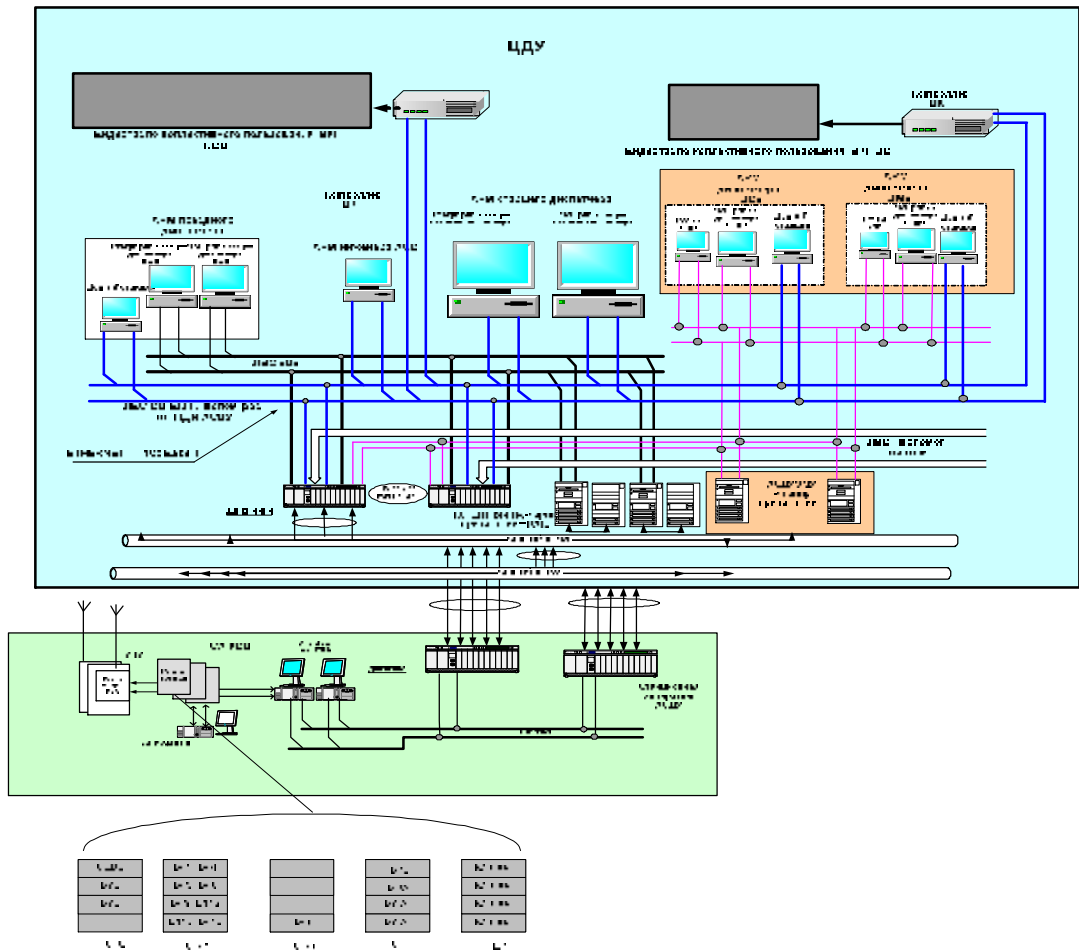


Рисунок 1. Структурная схема ЦДУ и СА КСД

Рис.3 Структурная схема ЦДУ и СА КСД

Условные обозначения и сокращения

АРМ – автоматизированное рабочее место

АРМ ДСЦП – автоматизированное рабочее место дежурного станционного поста централизации

АРМ Э/М - автоматизированное рабочее место электромеханика службы АСС

АСДУ – автоматика систем дистанционного управления

АСС – автоматика, сигнализация, связь

БУС – блок управления стрелкой

БУСФ – блок управления светофором

БФ – блок фазомодулированного рельсового индуктивного канала

ВКП – видеотабло коллективного пользования

КСД – комплексная система “Движение”

ЛВС – локальная вычислительная сеть

СА КСД – стационарная аппаратура комплексной системы “Движение”

СПД ВОЛС – система передачи данных по волоконно-оптической линии связи

СТО – стойка управления основная

СТР – стойка расширения

СТФ – стойка фазомодулированного канала

СЦВС – стационарная цифровая вычислительная система

УПУ – устройство прибытия-убытия

ЦДУ – центр диспетчерского управления

ШК – шкаф клеммных соединителей

ЭМ – электромеханическая служба

ЭС – служба электроснабжения

В состав комплексной системы «Движение» центра диспетчерского управления входят автоматизированные рабочие места (АРМы) старшего диспетчера, поездного диспетчера и инженера по автоматике, сигнализации и связи. Комплексная автоматизированная система дистанционного управления ЦДУ состоит из АРМов диспетчера энергоснабжения и диспетчера электромеханических устройств. Для контроля программного обеспечения центра диспетчерского управления используется АРМ системного программиста.

### **Станционный уровень**

На станционном уровне системы управления движением поездов казанского метрополитена находятся средства передачи информации в ЦДУ, средства связи с поездной аппаратурой и оборудованием соседних станций, стационарная аппаратура микропроцессорной централизации и АРМ дежурного по станции, которые также имеют сертификаты соответствия.

Источником информации, позволяющим однозначно определить положение поезда на линии, служит аппаратура фазомодулированного (ФМ) канала контроля рельсовых цепей. Эта аппаратура обеспечивает также передачу на поездной уровень команд о допустимых значениях скоростей поезда. Для обработки и анализа поступающей на станцию информации, решения главных зависимостей по проверке маршрутов на безопасность и выдачи управляющих воздействий на поезд, стрелки и светофоры на этом иерархическом уровне используется цифровая вычислительная система, которая состоит из трёх станционных цифровых вычислительных машин.

Кроме этого, решается комплекс задач контроля системы управления движением поездов метрополитена. В частности, контролируются параметры стрелочных переводов и светофоров, определяется техническое состояние и занятость рельсовых цепей, принимается диагностическая информация от прибывающих на станцию поездов, производится расчет и передача на поезда значений допустимых скоростей их движения. С помощью оборудования станционного уровня осуществляется обмен информацией с аппаратурой соседних станций и передача необходимых сведений в ЦДУ.

### **Поездной уровень**

Поездной уровень представляет собой оборудование и аппаратуру поездов метрополитена, обеспечивающее движение поезда с заданной скоростью на каждом участке пути, торможение поезда на станции с требуемой точностью, открытие и закрытие дверей вагонов. Отличительной особенностью поезда, применяемого на казанском метрополитене, является применение интеллектуального асинхронного тягового привода (АТП). Этот привод введён в

контур управления движением поезда в связи с рядом его преимуществ по сравнению с приводом постоянного тока. К достоинствам АТП относится значительный экономический выигрыш при его эксплуатации, а также плавность движения поезда, обусловленная его способностью более гибко управлять тягой и торможением. В результате этого появилась возможность реализации безударного алгоритма стабилизации скорости движения поезда, что необходимо для прохождения затяжных уклонов и подъемов.

Асинхронный тяговый привод не только потребляет электрическую энергию при разгоне, но и обладает способностью возвращать её при торможении, работая в режиме генератора. Наибольшую эффективность этот привод достигает при высокой частоте разгонов и торможений, что является отличительной особенностью движения поездов в метро. В результате этого метрополитен может существенно экономить потребляемую поездами электроэнергию в сравнении с приводами постоянного тока, применяемыми в большинстве российских метрополитенов.

Кроме того, релейно-контакторная система управления приводов постоянного тока требует частого обслуживания и ремонта, связанного с малыми ресурсными возможностями контактных устройств, что в свою очередь ведёт к значительным материальным затратам. Обслуживание и ремонт щеточно-коллекторных узлов представляют собой высоко затратные технологии, поскольку они являются достаточно сложными, трудоёмкими и требуют использования высококвалифицированных специалистов. Эксплуатационные расходы на техническое обслуживание асинхронного тягового привода значительно ниже за счет применения современных высоконадежных полупроводниковых приборов, которые не требуют обслуживания, а межремонтные пробеги поездов увеличены, поскольку привод имеет собственную систему диагностики и проходит настройку и периодическую проверку на специализированном стендовом оборудовании [6].

Опыт эксплуатации асинхронного привода лучшими мировыми метрополитенами свидетельствует о том, что, хотя его стоимость достаточно высока, в период эксплуатации он полностью себя окупает.

Асинхронный тяговый привод поездов казанского метрополитена изготовлен на чешском предприятии «Шкода». Он управляется специализированным компьютером, который входит в состав привода. Компьютер тягового привода с помощью CAN интерфейса связан с бортовым прибором вагонных контроллеров, который содержит ведущий и ведомый контроллеры. Этот прибор выдает команды управления на компьютер асинхронного привода и принимает диагностическую информацию о техническом состоянии АТП. Вагонные контроллеры, в свою очередь, связаны с бортовым цифровым вычислительным комплексом

(БЦВК) поезда, который получает информацию о текущей скорости движения от бортовых реверсивных датчиков скорости (рис.4). Информация о допустимой скорости на данном участке пути поступает в БЦВК от аппаратуры станционного уровня по ФМ-каналу связи рельсовых цепей, которая в своём роде является уникальной и на которую направлено пристальное внимание не только в нашей стране, но и за рубежом.

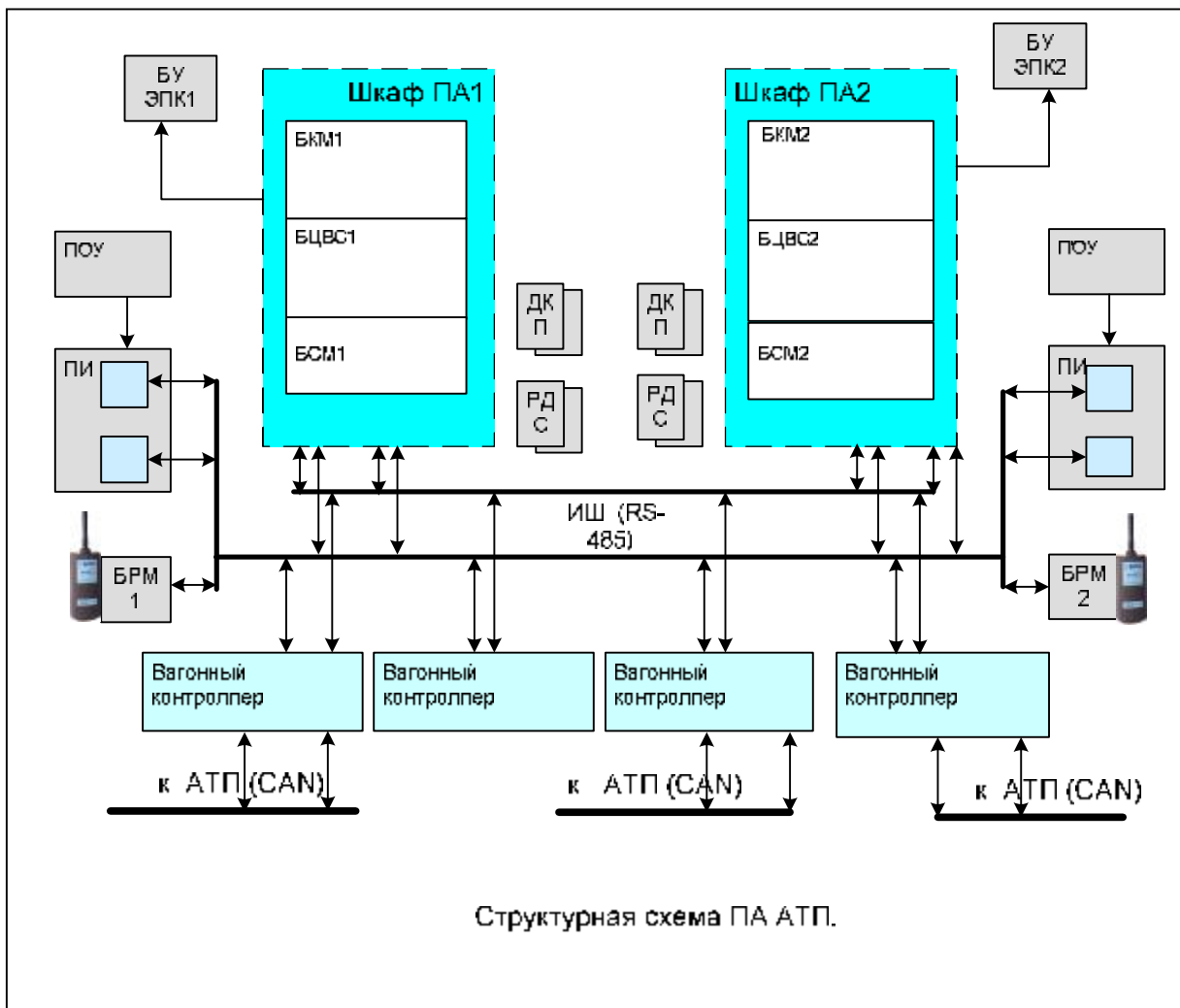


Рис. 4 Структурная схема ПА АТП

Условные обозначения:

- АТП - асинхронный тяговый привод;
- БВС - бортовая вычислительная система;
- БКМ - блок коммутации;
- БРМ - блок радиомодема;
- БСМ - блок связи;
- БУ ЭПК - блок управления электропневмоклапаном;
- ВШ - вагонная шина;
- ДКП - датчик коррекции пути;
- БЦВМ - бортовая цифровая вычислительная машина;
- ИШ - информационная шина;
- ПА - поездная аппаратура;
- ПИ - прибор индикации;
- ПОУ - прибор основного управления;
- РДС - реверсивный датчик скорости;

На каждом из моторных вагонов установлены четыре тяговых асинхронных двигателя. Благодаря достаточно высокой мощности применяемого привода (170 киловатт), удалось укомплектовать поезд казанского метрополитена, который пока состоит из четырёх вагонов, одним безмоторным вагоном.

### **Подсистема безопасности**

При разработке системы управления движением поездов казанского метрополитена главное внимание, наряду с экономичностью её эксплуатации, уделялось обеспечению высокого уровня безопасности. Эта задача решена путём использования современной высоконадежной элементной базы и применения таких методов построения системы, при которых одиночные сбои или отказы не нарушают заданного процесса функционирования системы. Причём система управления движением поездов выполняет свои функции в полном объеме без снижения уровня безопасности. В том случае, когда при возникновении отказов у системы исчерпаны все резервные её возможности, она автоматически переходит в так называемое защитное состояние [2], сохраняя при этом безопасность пассажиров поезда метро.

Исключительная важность и ответственность задачи сохранения безопасного состояния пассажиров определили необходимость выделения специальной подсистемы - функциональной подсистемы безопасности. Эта подсистема имеет составные части на всех иерархических уровнях системы управления движением поездов казанского метрополитена.

С помощью подсистемы безопасности своевременно обнаруживаются и оперативно пресекаются все возможные угрозы безопасному состоянию, которые могут возникнуть в процессе функционирования стационарной и поездной аппаратуры. К этим угрозам, в частности, относятся события, связанные с несвоевременным открытием или закрытием дверей вагонов, превышение допустимой скорости движения поезда, перевод стрелки под движущимся поездом, движение поезда по занятому пути и т.п.

Опыт разработки и эксплуатации подобных систем свидетельствует о том, что одним из эффективных способов достижения необходимого уровня безопасности является использование структурной избыточности и разветвленной системы контроля и диагностики на всех иерархических уровнях системы. Так на уровне центра диспетчерского управления все автоматизированные рабочие места являются дублированными.

На станционном уровне все блоки и устройства выполнены с применением различных видов резервирования. Например, устройство прибытия/убытия, предназначенное для фиксации факта остановки поезда и обмена информацией между станционным оборудованием и поездной аппаратурой, представляет собой двухканальное устройство, каждый канал которого является дублированным.



На поездном уровне бортовой вычислительный комплекс представляет собой четырёх машинную вычислительную систему, которая связана с периферийными устройствами тремя дублированными системными шинами. Системные шины представляют собой независимые системные магистрали передачи данных типа RS-485.

Для исключения возможного накопления отказов аппарата поезда содержит средства встроенного контроля и диагностики, с помощью которых с периодом 0,1 с проверяется правильность функционирования поездной аппаратуры. За это время происходит сравнение входной, внутренней и выходной информации от различных источников, выявляется рассогласование данных и определяется отказавший блок. По результатам работы системы контроля производится реконфигурация системы управления, то есть отключение из контура управления отказавшего блока.

В системе безопасности реализован принцип, согласно которому любой одиночный отказ не приводит к угрозе опасного состояния, при этом система управления сохраняет работоспособность. В случае возникновения такой угрозы аппаратно-алгоритмические средства системы безопасности поездной аппаратуры переводят систему в защитное неработоспособное, но в то же время безопасное состояние. Основным оперативным средством обеспечения безопасности во время движения поезда является электропневматический клапан (ЭПК), который установлен в головных вагонах поезда и срабатывание которого переводит поезд в режим экстренного торможения. При этом подсистема безопасности поезда построена таким образом, что при отсутствии заданной эффективности торможения выдаётся команда на замещение электрического торможения пневматическим.

В кабине машиниста поезда установлен прибор индикации, содержащий два канала. С помощью этого прибора машинист взаимодействует в диалоговом режиме с бортовой вычислительной системой. По запросу машиниста на прибор выводятся данные, необходимые для управления движением поезда. **(Рис.5)**



Рис.5 Пульт машиниста

При внезапном ухудшении состояния здоровья машиниста или его несанкционированных действиях предусмотрена возможность автоматического ведения поезда. При этом информация записывается в приборе сбора и регистрации (ПСР) для дальнейшей расшифровки и определения неправомерных действий машиниста.

В этом режиме поездной аппаратурой формируются и передаются команды управления асинхронными двигателями в соответствии с заданными алгоритмами автоматического ведения поезда. Во время прибытия на станцию торможение поезда производится с погрешностью его остановки, не превышающей  $\pm 1$  м.

Для решения этой задачи на каждой станции установлены уголкового отражатели. За несколько метров до подъезда к месту установки отражателя в бортовой цифровой вычислительной машине (БЦВМ) формируется управляющая команда, которая через контроллеры блока связи поступает на датчик коррекции пути (ДКП). По этой команде включается источник оптического излучения, луч света которого должен быть отражён находящимся на станции отражателем. Контроллеры блока связи фиксируют поступление от ДКП отраженного сигнала и по каналу информационной шины (ИШ) передают в БЦВМ координату отражателя. После этого контроллеры по сигналам от четырёх реверсивных датчиков скорости, уста-

новленных по два в каждом головном вагоне, начинают отсчет пути до следующего отражателя. Для регистрации наиболее важной поездной телеметрической информации используется бортовой самописец, который в отличие от авиационного прототипа получил название «серого ящика».

### **Элементная база**

При создании системы управления движением казанского метрополитена использованы ранее разработанные узлы и блоки комплексной системы «Движение» [2], например, контроллеры интерфейса и контроллеры для обработки сигналов от датчиков.

ОАО «НИИ точной механики» использует в системе «Движение» комплектующие, поставляемые такими известными фирмами как «Prosoft», «Элтех», «Ай-Ти-Си», «ПЭК», «Сател-Росс», «Хартинг». Благодаря сотрудничеству с этими фирмами удалось добиться высокого качества аппаратуры при ценах, приемлемых при бюджетном финансировании.

Из покупной элементной базы применяются платы CPU 5066 Octagon, CPU188, CPU-686 CAN, CPU-686E, UNIO –96-5, UNIO-48-5, TBI-24/0C, TBI-16/8-C, TBR8, KIB 98501 Fastwel, монтажные каркасы Octagon и Fastwel, матричные пленочные клавиатуры СК-13 и СК-14 Nikko1, LCD дисплеи LQ104V1DG51 и LQ64D343 Sharp, DC/DC преобразователи «М» серии Power One, устройство авторизации доступа DC1411-009 Dallas, радиомодемы типа SATELLINE 3AS EPIC фирмы SATEL OY и соединители Harting. Автоматизированные рабочие места станционного уровня и ЦДУ реализованы на базе промышленных рабочих станций Advantech.

В то же время применение асинхронного тягового привода в поездах казанского метрополитена и внедрение ряда усовершенствований в станционную аппаратуру привело к необходимости проведения ряда модернизаций. В частности, по сравнению с поездной аппаратурой Санкт-Петербургского метрополитена модернизирован блок БВС: плата CPU 5025A Octagon заменена на CPU-686 Fastwel, а плата 5600 Octagon - на UNIO 48-5 Fastwel. Для решения вопросов защиты аппаратуры от импульсных помех применены защитные модули типа 286-831 WAGO.

### **Заключение**

Система управления движением казанского метрополитена разработана и введена в эксплуатацию благодаря многолетнему опыту создания подобных и других (в том числе космических) систем, который накоплен в Санкт-Петербургском НИИ точной механики. В этой системе реализованы практически все современные подходы, принципы и способы достижения высокой степени безопасности пассажиров, использована отвечающая мировому уровню элементная база, учтены рекомендации и требования, приведённые в европейских и

международных стандартах в сфере безопасности. Наряду с задачей обеспечения безопасности при перевозке пассажиров, в казанском метрополитене решён комплекс задач, связанных со снижением эксплуатационных затрат и расходов на энергопотребление, сокращения штата обслуживающего персонала и улучшения условий его труда, повышения пропускной способности и комфортабельности проезда в поездах метро.

## Литература

1. По уровню безопасности казанское метро - лучшее в России, считает Игорь Левитин / Васильева Ю., Рощупкина Е. // Электронная газета Татарстана «Intertat.ru». - 28.07.2005: <http://intertat.ru/index.php?cat=r&bigoffset=0&offset=0&id=69747>.

2. Антонов Ю.В., Белов В.П., Голяков А.Д. и др. Надёжность и безопасность информационно-управляющих систем (методы оценивания и контроля). – СПб.: ОАО «НИИ ТМ», 2004. – 326 с.

3. Белов В.П., Голяков А.Д., Старков С.Я. О понятиях «надёжность» и «безопасность» технических систем с позиции разработчиков // Методы менеджмента качества, №10, 2003.

4. Белов В.П., Голяков А.Д. Терминологическая база теории безопасности //Стандарты и качество, №9, 2004.

5. Патент РФ на изобретение №2261455. Приоритет изобретения от 17 марта 2004г. Способ контроля целостности силовых линий электропитания распределенной нагрузки.

6. Ракитин А. Будущее – за асинхронным приводом. Мир метро: Петербургский метрополитен №13 (1318): <http://metroworld.ruz.net/trains/asyn.htm>.

## **Аннотация**

### **Безопасность и экономичность – главные черты системы управления движением поездов казанского метрополитена**

Рассмотрена архитектура и состав системы управления движением поездов казанского метрополитена, которая характеризуется высоким уровнем безопасности пассажиров и экономичностью эксплуатации. Эта система, в которой реализованы новейшие научные и практические достижения в области автоматизированного управления и организации движения поездов метро, представляет собой пример инновационной деятельности отечественной промышленности.

## **Safety and economical efficiency are principal features of control system for Kazan Metro train traffic**

### *Abstract*

An architecture and constituent parts of a control system for Kazan Metro train traffic, which is characterized by its high level of passenger safety and operation efficiency, are considered. This system, in which advanced scientific and practical achievements in the sphere of automated control and organization for Metro train traffic have been realized, is an example of innovative in home industry.