



РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕМ ГОРОДСКОГО ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА МОСКВЫ

В.И. Шустов, Д. Г. Конотоп (ООО "НПА Вира Реалтайм"),
В.В. Бакланов, А.Л. Кузнецов (ООО "ИндаСофт"),
М.Ф. Афанасьев, Л.Л. Футлик (ГУП "Мосгортранс")

Рассматриваются структура, особенности, выполняемые функции системы централизованного управления электроснабжением (СЦУЭ) городского электротранспорта (ГЭТ) Москвы. Описываются этапы ввода системы в эксплуатацию.

Введение

Разрабатываемая в настоящее время СЦУЭ ГЭТ предназначена для автоматизированного диспетчерского контроля и управления всеми существующими электротяговыми подстанциями (ЭТП) городского наземного транспорта Москвы. В настоящее время электроснабжение трамвайно-троллейбусных линий осуществляется с помощью 187 ЭТП, в перспективе их планируется увеличить до 250.

В связи со сложностью и большим объемом работ в данном проекте, его реализация распределена по времени примерно на 5 лет. В настоящее время в разработке и внедрении участвуют несколько предприятий, основную часть работ выполняют: генеральный подрядчик – ООО "НПА Вира Реалтайм" и "ИндаСофт". По состоянию на октябрь 2003 г. в опытной эксплуатации СЦУЭ находятся 15 ЭТП.

Разрабатываемый ПТК должен обеспечить решение следующих *основных задач*:

1. замена физически изношенных и морально устаревших телемеханических установок ЭСТ-62 на 187-и действующих ЭТП новым современным телемеханическим оборудованием MOSCAD [1] на базе микропроцессорной программируемой техники фирмы Motorola. Данное оборудование использует высоконадежную аппаратуру передачи данных по радиоканалу и/или проводным линиям связи с возможностью их автоматического резервирования;

2. централизация управления тяговыми подстанциями посредством использования одного центрального ДП (ЦДП) вместо 10-ти районных ДП (РДП). Основой специализированного ПО для диспетчерского управления и контроля технологического оборудования является SCADA-система iFIX и ПО iHistorian фирмы GE Fanuc

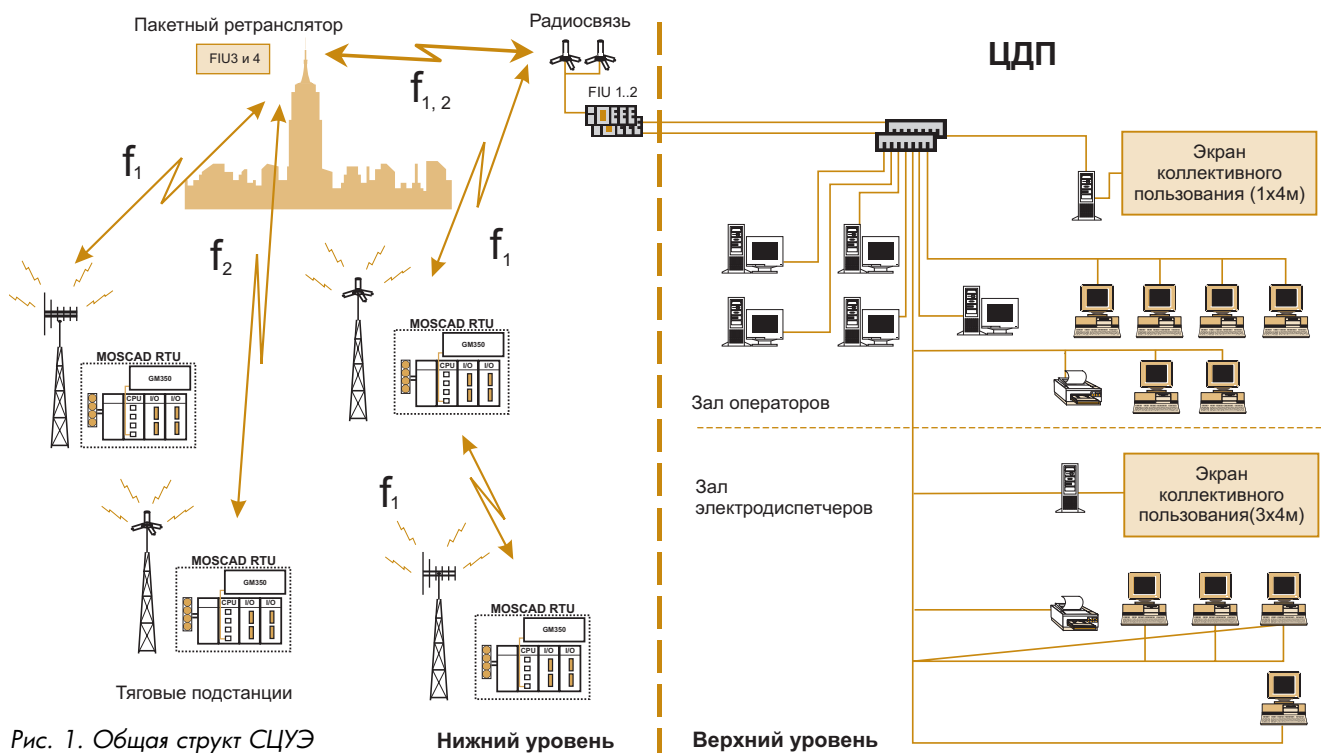


Рис. 1. Общая струк СЦУЭ

Недостаточно только иметь хорошие средства автоматизации, главное - грамотно объединить их в единую систему.

Журнал "Автоматизация в промышленности"

(Intellution) [2, 3]. Повышение эффективности управления технологическим объектом за счет использования надежного и проверенного современного оборудования;

3. снижение эксплуатационных затрат на обслуживание системы, обусловленное централизацией управления, высоким качеством и надежностью используемого оборудования, а также гибкостью системы, которая позволяет за короткий срок проводить, при необходимости, изменение конфигурации и настройки аппаратуры и программных средств.

Структура СЦУЭ ГЭТ

Структурно СЦУЭ ГЭТ включает верхний, нижний уровни управления и систему радиосвязи (рис.1).

К *верхнему уровню* относятся программные и аппаратные средства, предназначенные для:

- предоставления необходимой информации операторам и электродиспетчерам в ЦДП, поступающей на мониторы и экраны коллективного пользования в виде анимации видеокадров, сообщений, видео и звуковой сигнализации;
- организации ЧМИ для управления объектами и информационными системами;
- сохранения полученной информации в виде архива данных с возможностью его последующей обработки и анализа;
- обеспечения бесперебойного функционирования ПТК (достигается посредством использования источников бесперебойного питания и функций горячего резервирования программно-технических средств);
- организации выдачи отчетов, оперативных журналов и другой документации, необходимой для эффективного управления технологическим объектом.

К *нижнему уровню* относятся программные и аппаратные средства, предназначенные для:

- организации физического интерфейса с технологическим оборудованием;
- получения информации от сигнализирующих и измерительных устройств;
- предварительной обработки и передачи полученных сигналов на верхний уровень;
- получения заданных значений и команд от оборудования верхнего уровня;
- реализации алгоритмов локального управления на базе полученных заданий, команд и входных сигналов с выдачей управляющих сигналов на исполнительные устройства.

К *средствам радиосвязи* относятся программные и аппаратные средства, предназначенные для организации своевременной и достоверной передачи информации между верхним и нижним уровнем.

Центральный диспетчерский пункт СЦУЭ ГЭТ

Диспетчерское управление электроснабжением городского электротранспорта состоит из двух административных подразделений, персонал которых находится в отдельных залах на соседних этажах.

Первое подразделение – электродиспетчеры, на которых возлагаются функции:

- обеспечения взаимодействия между эксплуатационными подразделениями энергохозяйства, участвующими в ремонтных и восстановительных работах при аварийных ситуациях и плановых ремонтах;
- разрешения выполнения работ на тяговых подстанциях по наряду (распоряжению) в случае поступления сигнала с ЦДП о снятии подстанции с телеуправления;
- организации и руководства устранением повреждений в целях быстрее восстановления движения на линии;
- согласования ремонтных работ оборудования тяговых подстанций, контактной и кабельной сети;
- оперативной связи с диспетчерским аппаратом предприятия управления движением и внешними организациями такими, как Мосэнерго, Мосгорсвет и другими, влияющими на электроснабжение ГЭТ, передачу текущей и обобщенной информации руководству предприятия энергохозяйства.

Второе подразделение – оперативный персонал ЦДП, расположенный на соседнем этаже. Персонал состоит из четырех операторов и двух старших операторов. Старший оператор обеспечивает контроль над работой операторов, перераспределение подстанций по АРМ операторов и, в случае необходимости, замены оператора.

Операторы ЦДП обеспечивают:

- непрерывный контроль функционирования и технического состояния оборудования ЭТП, входящих в сектор ответственности;
- оперативное управление коммутационным оборудованием ЭТП с целью ликвидации последствий аварийных повреждений и восстановления нормального режима электроснабжения.

Управление всеми подстанциями распределено по четырем АРМ операторов и двум АРМ старших операторов (условно по двум зонам Москвы), а также трем АРМ электродиспетчеров. Все АРМ, включая АРМ инженера АСУ, оснащены двумя ЖК-мониторами, где левый используется для оперативного мониторинга и управления, а правый для информационно-справочной системы. В соответствии с техническими требованиями к проекту, зал диспетчеров оснащается экраном коллективного пользования Varco размером 3x4 м, а зал операторов – экраном 1x4 м. Режим работы СЦУЭ – круглосуточный.

В зале операторов находятся АРМ инженера АСУ, четыре резервируемых сервера (в перспективе шесть), аппаратно-резервированный сетевой сервер с архивом технологических параметров (iHistorian-сервер) и СУБД (MS SQL-сервер), а также два резервированных коммутатора и сетевой принтер.

Для повышения надежности работы оборудования и защиты информации на серверах, АРМ и сетевых соединениях все оборудование питается от источника бесперебойного питания (ИБП), на двухпроцессорном сетевом сервере применен RAID-массив пятого уровня, горячая замена жестких дисков и блока питания, используются пары сетевых карт с резервированием на аппаратном уровне и топология сетевых соединений, приведенная на рис. 2, что позволяет за минимальное время автоматически восстанавливать соединения при обрыве любого соединения или неисправности сетевого оборудования.

Основные функции ПТК ЦДП

- Оперативное диспетчерское управление оборудованием ЭТП.
- Автоматическое получение, накопление, анализ и распределение информации о функционировании технологического оборудования и ПТК СЦУЭ с использованием двух экранных систем коллективного пользования.
- Анимация и регистрация текущего положения и состояния управляемого оборудования.
- Автоматическое звуковое и визуальное оповещение операторов и электродиспетчеров ЦДП о выходе оборудования и параметров управляемых объектов за пределы нормального состояния в соответствии с разделением контролируемых объектов по секторам ответственности.
- Формирование и отображение на мониторах АРМ диагностики состояния оборудования и рекомендаций действий оператору и диспетчеру с помощью системы "Советчик".
- Учет электроэнергии, преобразованной ЭТП, и формирование отчетной документации с последующей передачей ее в электроинспекционный отдел.
- Формирование отчетной документации, отображающей качество работы СЦУЭ в целом и качество функционирования отдельных ЭТП и оборудования.
- Архивизация и просмотр протоколов действий операторов, переключений оборудования и записей регистраторов быстрых событий при срабатывании защиты.
- Управление информационной базой руководящей документации диспетчерского персонала ЦДП и документации об изменении состава технических средств тяговых подстанций, контактной и кабельной сети.
- Управление библиотекой технических характеристик оборудования.
- Архивизация и обработка статистических данных о числе и видах отказов устройств автоматики, телемеханики и других технических средств.

Описание программного обеспечения ПТК ЦДП

Используемый для построения верхнего уровня состав программных пакетов фирмы Intellution включает:

- iFIX Professional SCADA Pack Developer Unlimited – АРМ инженера АСУ (1 ед.);

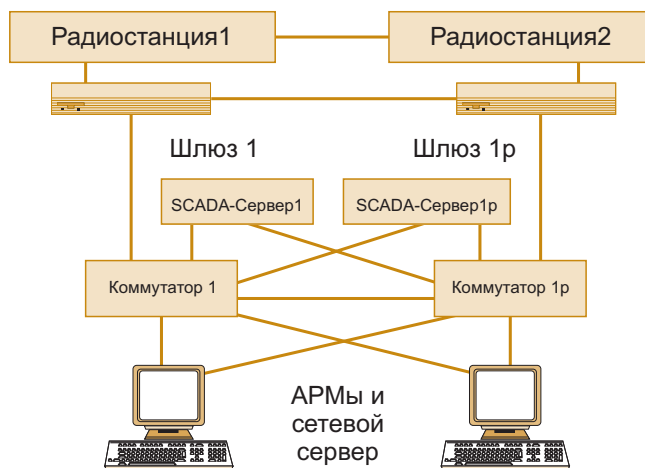


Рис. 2. Топология сетевого и аппаратного ПТК

- iFIX Professional SCADA Pack Runtime Unlimited – 2 пары резервированных серверов (4 ед.);
- iClient Runtime – АРМы операторов и диспетчеров (10 ед.);
- iClient ReadOnly – узлы экранных панелей Varco (2 ед.);
- iHistorian Server на 50 000 переменных – архив технологических параметров (1 ед.).

Общее число контролируемых параметров и команд управления, заявленное в технических требованиях, постоянно увеличивается и превысило уже 50 000 сигналов.

В данном проекте все ПО, включая iFIX, работает под управлением ОС Windows 2000. Пакет iFIX – это полностью интегрированное семейство программных продуктов для промышленной автоматизации, основанное на открытой компонентной технологии. Такой подход облегчает взаимодействие между задачами оперативного и информационного уровня, а также между компонентами iFIX и приложениями третьих фирм.

Пакет iFIX позволяет наращивать и модернизировать систему СЦУЭ ГЭТ в соответствии с ростом числа ЭТП, не останавливая процесса мониторинга и управления установленного оборудования при сохранении его структуры и основных функций элементов.

Основные характеристики iFIX, позволяющие удовлетворить требования заказчика:

- горячее резервирование SCADA-серверов, обеспечивающее в случае отказа переключение на резервный сервер или на резервную ЛВС;
- эффективная работа с тревогами и многоуровневая система защиты;
- возможность использования средств защиты Windows 2000 и работа в качестве сервиса Windows 2000;
- распределенная БД позволяет с любого АРМ оператора получить доступ к информации на любом сервере, в том числе одновременно получать информацию с нескольких серверов и управлять оборудованием, подключенным к этим серверам;
- поддержка передовых современных технологий и стандартных механизмов обмена данными таких, как:

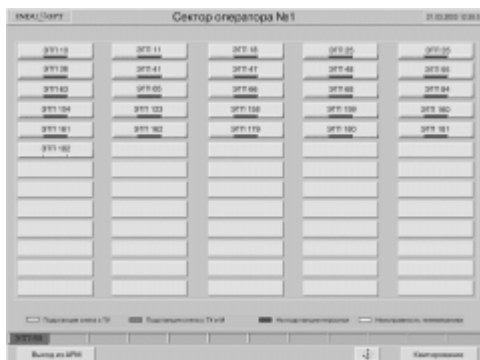


Рис. 3

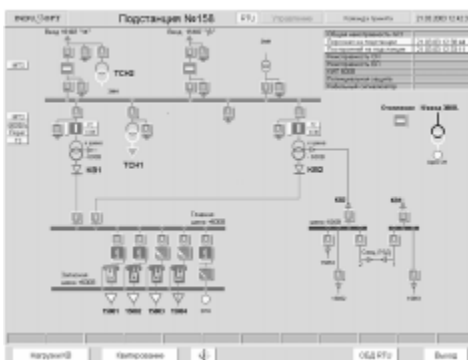


Рис. 4

DDE, SQL ODBC, COM/DCOM, OLE DB, OPC, ActiveX. Используя ODBC драйверы, можно обмениваться данными с реляционными БД, например, Access, SQL Server, Oracle и др., а также предоставлять информацию для генератора отчетов Seagate Crystal Reports;

- архивирование и просмотр данных истории, трендов истории и РВ;
- встроенная в ActiveX Controls технология защиты Secure Containment;
- поддержка встроенного языка программирования Visual Basic for Applications (VBA) фирмы Microsoft;
- возможность составления расписания действий по событиям или по времени.

Все события, связанные с изменением состояния оборудования ЭТП, защит, команд операторов и квитанций об их прохождении регистрируются в журналах на АРМ и в архиве с использованием iHistorian-сервера. Встроенные в iFIX программы позволяют просматривать отфильтрованные выборки событий и строить отчеты с помощью надстройки *Excel Add-in* на каждом АРМ.

Целый ряд новых требований вызвал необходимость доработок существующих решений, это:

- управление в режиме исполнения на АРМ старшего оператора правами на ТУ операторов;
- резервирование коллекторов iHistorian;
- автоматическая синхронизация времени на верхнем и нижнем уровне;
- для снижения трафика радиоканалов все сигналы от каждой ЭТП передаются в виде нескольких форматированных таблиц с меткой времени.

На рис.3 в качестве примера представлен мнемозэкран сводного меню АРМ оператора, на рис.4 – мнемозэкран одной из ЭТП, вызванной на АРМ.

Система радиосвязи и телемеханики

Архитектура связи представляет собой радиально-зональную структуру (рис.1). Передача данных происходит по двум независимым симплексным радиоканалам, что позволило разделить все RTU системы не только на логические группы, но и физические (группы R2/x и R3/x). Внутри каждой физической группы выделены логические – радиозоны – с узловым контроллером (ретранслятором). Такой узел выбирается из условия радиовидимости

сти всех RTU данной радиозоны и узлового контроллера соседней. Это позволяет осуществлять ретрансляцию пакетов данных между контроллерами, находящимися в непосредственной радиовидимости. Такой подход построения радиосети просто необходим в условиях городской застройки, и он является неотъемлемой частью протокола MDLC.

На ЦДП находятся два контроллера MOSCAD FIU, которые обеспечивают физическую связь верхнего уровня с контроллерами нижнего уровня, и два шлюза IP Gateway, которые преобразовывают MDLC пакеты в пакеты IP для SCADA-системы iFIX. Для оптимизации потока данных по радиоканалу и полного резервирования сетевого оборудования каждый FIU дублирует принятую от RTU информацию, направляя ее по двум IP потокам в Ethernet.

Шкаф телемеханики РЛТ-ТМ-Э03 является базовым элементом нижнего уровня в построении системы локальной автоматизации и диспетчеризации ЭТП. Он выполнен в конструктиве 800x1200x300 мм со степенью защиты IP65 и содержит необходимые места для крепления контроллера MOSCAD, радиостанции GM350, блоков питания и аккумуляторной батареи емкости 25 Ач, блоков опторазвязки и разъемных соединений.

Основой шкафа является контроллер MOSCAD, который является базовым удаленным терминальным устройством (RTU) для построения SCADA-систем от компании Motorola. Это интеллектуальное устройство на базе 32/16 разрядного микропроцессора MC68302 с RISC архитектурой. Контроллер состоит из бесперебойного источника питания, модулей центрального процессора и ввода/вывода, размещенных на одной или нескольких материнских платах, а также средств передачи данных (в этом проекте – радиостанция). Основное преимущество данного типа контроллера – сочетание в нем пакетного связанного контроллера и ПЛК. Такой тандем позволяет освободить системных инженеров и программистов от решения проблем связи и сконцентрировать все свои усилия на разработке логики работы системы.

В пакетном контроллере связи реализован фирменный протокол MDLC (Motorola Data Link Communications), который полностью отвечает рекомендациям ISO (содержит все семь уровней) и специально адаптирован для передачи данных по радио. Благодаря этому каждый RTU может передавать данные как самостоятельно, так и служить узлом для ретрансляции данных от других RTU. Подробно свойства этого протокола описаны в [1]. Вот лишь наиболее важные из них:

- оперативные данные внутри системы могут быть переданы между любыми RTU;
- с помощью специализированного набора программ ToolBox возможна удаленная загрузка приложения, конфигурация и диагностика любого RTU в системе.

Важной особенностью шкафа телемеханики является единое ПО для всех объектов ЭТП. Такой подход был достигнут благодаря формализации алгоритмов управления и параметров телеметрии для каждого типа оборудования на ЭТП. Благодаря такому подходу структура клемных соединений и передаваемых данных диспетчеру определяется лишь последовательностью в перечне механизмов управления ЭТП, который без труда способен задать персонал средней квалификации. Этот перечень прописывается в контроллер, что определяет логику его работы, а также передается верхнему уровню системы для правильной трактовки принимаемых данных и формирования команд управления.

Контроллер шкафа телемеханики способен управлять следующими механизмами: масляными выключателями (МВ); кремневыми выпрямителями (КВ); запасными и линейными выключателями (ЗВ и ЛВ); разъединителями и переключателями запасных шин (РЗШ и ПЗШ); секционными выключателями (СВ); секционными разъединителями (ЗРЗД); выключателем отопления.

При этом по каждому типу оборудования регистрируется присущая для него информация: положение, состояние, величина тока и т.д. Также контроллер способен "отслеживать" состояния отдельных дискретных сигналов, наличие которых слишком специфичны для каждой ЭТП таких, как состояние двери, наличие/отсутствие защит или других отдельных сигналов и передавать их на верхний уровень.

Контроллер выполняет как одиночные, так и групповые команды оператора. При приеме команды от оператора проверяется не только правильность выдачи команды, но и ее достоверность, что исключает выполнение несанкционированных команд. На каждую принятую команду ПЛК отправляет подтверждение о приеме с кодом возврата, который подтверждает выполнение команды или содержит причину отказа (ошибку). Каждый RTU генерирует 12 различных кодов возврата.

Помимо функций передачи телеметрических данных и выполнения команд оператора контроллер самостоятельно следит за работой ЛВ, отработывая алгоритмы автоматического повторного включения (АПВ) и токовременной защиты (ТВЗ).

Алгоритм АПВ производит повторное включение ЛВ при его отключении от перегрузки или по другой причине. Основная задача состоит в безопасном включении ЛВ, для этого реализуются серии нескольких включений через различные временные интервалы, задаваемые отдельно для каждого ЛВ технологом. При этом учитываются особенности эксплуатации ЛВ.

Алгоритм ТВЗ позволяет избежать работы фидерной линии на короткозамкнутую нагрузку. С АРМ технолога по каждому ЛВ, как и в предыдущем случае, вводятся уставки, которые определяют нагрузку на данном направлении. При этом автоматика позволяет через ЛВ кратковременно отдавать большие токи, особенно это важно в моменты пуска подвижного состава, и для предотвращения длительных перегрузок, которые приводят к повреждению токоподводящих линий.

Для оптимизации загрузки канала связи в SCADA-систему передаются только устойчивые, с точки зрения алгоритмов, состояния ЛВ, а "быстрые" изменения состояний и токов накапливаются в буфере и передаются в архив ЦДП для последующего анализа оператором после завершения всего цикла работы защиты. Благодаря такому механизму появилась возможность вести статистику работы ЛВ и правильно выбирать технологические параметры алгоритмов по каждому ЛВ.

Прошло около года с начала опытной эксплуатации первой ЭТП в составе СЦУЭ. Сейчас на ЦДП введена первая очередь оборудования: три сервера, два АРМ операторов и один АРМ инженера АСУ. Идет наращивание функций ПТК верхнего уровня, продолжается последовательное подключение контроллеров и ЭТП к централизованному управлению. Все эти работы производятся без остановки электрооборудования транспорта, без прерывания мониторинга и управления подстанциями, подключенными ранее. Это важная характеристика системы, полный ввод в эксплуатацию которой растянут на несколько лет. На момент написания статьи к ЦДП подключено 15 ЭТП. Опыт эксплуатации системы за этот период позволяет надеяться на дальнейшее успешное завершение проекта.

Список литературы

1. *Конотоп Д. Г.* Интеграция системы обнаружения утечек с системой MOSCAD на продуктопроводе Сургут-Ю. Баллык // Промышленные АСУ и контроллеры. 2001. №11
2. *Альперович И.В.* SCADA-пакет iFIX в XXI веке // Там же. 2002. №1
3. *Толмасская И.И., Терлецкий М.Ю.* Два ноль в пользу iHistorian // Автоматизация в промышленности. 2003. №4.

Шустов В.И. — главный инженер,

Конотоп Д. Г. — руководитель группы по разработке программных средств локальной автоматизации ООО "НПА Вира Реалтайм",

Бакланов В.В. — канд. техн. наук., руководитель проектов АСУТП,

Кузнецов А.Л. — руководитель проектов АСУТП ООО "ИндаСофт",

Афанасьев М.Ф. — директор,

Футлик Л.Л. — начальник отдела "Автоматики и телемеханики"

ДГУП "Энергохозяйство" ГУП "Мосгортранс".

Контактные телефоны: (095) 334-88-80, 742-68-80