

ПОСТРОЕНИЕ КАНАЛОВ СВЯЗИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНЫМИ РОБОТАМИ: ОПЫТ ПРАКТИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ

Д.И. Воронков (НПП "Цифровые решения"), С.Д.Заводсков (ФГУП "РНИИ КП"),
А.В.Руткевич (НПП "Цифровые решения"),
М.В.Синельникова, В.Б.Стешенко, (ФГУП "РНИИ КП"),
Г.В.Шишкин (НПП "Цифровые решения")

Современные мобильные роботы становятся информационно нагруженными. Условия применения накладывают необходимость установки различных типов сенсоров, систем технического зрения, аппаратуры локации и навигации. Естественно, возрастают требования к каналу передачи информации от робота к оператору, его надежности и пропускной способности. В статье отражен опыт авторов по проектированию систем передачи данных для мобильных роботов на примере проводных и беспроводных каналов. Рассмотрены особенности построения схем, выбор элементной базы, вопросы унификации и комплексирования.

Особенностью любого робототехнического комплекса является малая серийность при необходимости обеспечения передачи самых различных данных от робота к оператору, при этом конфигурация и объем этих данных зачастую необходимо адаптивно подстраивать под каждую конкретную реализацию. Рассмотрим два типа каналов связи для управления мобильными роботами: на основе волоконно-оптической линии связи (ВОЛС) и радиоканалы с различной пропускной способностью.

В основе исследуемых систем лежат следующие принципы построения: формирование единого информационного транспортного потока; платформенная организация; унифицированные конструктивные решения; разнообразие интерфейсов. Такой подход позволяет повышать качество и надежность канала связи, оперативно изменять число и вид источников информационного сигнала, обеспечивать конструктивную и логическую совместимость.

Канал управления мобильным роботом на основе ВОЛС

Основное назначение этого изделия — построение каналов связи и управления удаленными объектами, в том числе подвижными (промышленными роботами, глубоководными аппаратами, обслуживаемыми и необслуживаемыми станциями). Особенностью является передача по оптоволоконному кабелю несвязанных между собой аналоговых сигналов и цифровых интерфейсов, различных по своей природе и структуре без взаимного влияния друг на друга. Это аналоговые видеосигналы, сеть Ethernet, последовательные интерфейсы RS-232/422/485 и др. Для различных применений возможно быстрое изменение состава и числа интерфейсов за счет использования модульных конструкторских и программных решений.

Для увеличения числа видеопотоков, передаваемых по одному оптоволокну, реализовано аппаратное сжатие видеосигнала по стандарту JPEG2000. Коэффициент сжатия можно регулировать программно.

Это позволяет оперативно управлять качеством видеосигнала, передаваемого по ВОЛС, и за счет этого менять число видеоканалов, а также число и пропускную способность других интерфейсов.

Входные/выходные интерфейсы реализованы как с использованием стандартных протоколов, так и применены открытые входы, что позволяет организовать передачу по ВОЛС сигналов с нестандартных шин данных, применяемых для внутриблочного обмена.

Ограничением состава и числа интерфейсов является скорость работы по оптоволоконной линии связи. Максимальная скорость передачи данных по ВОЛС составляет 10 Гбит/с. Дальность ВОЛС определяется выбором оптических приемопередатчиков (мощностью передатчиков и чувствительностью приемников) и затуханием в оптоволоконном кабеле; варьируется от десятков метров до сотни километров. Опционально все входы/выходы системы могут иметь гальваническую развязку.

Пример реализации системы передачи данных по ВОЛС для связи и управления глубоководным аппаратом представлен на рис.1. Система обеспечивает прием и передачу следующих интерфейсов:

• параллельная 8-разрядная синхронная шина данных, обеспечивающая однонаправленный непрерывный режим передачи со скоростью 64 Мбит/с;

• однонаправленный канал RS-422 со скоростью передачи 1 Мбит/с;

• однонаправленная двухразрядная шина данных с уровнями сигнала TTL, со скоростью передачи данных 1 Кбит/с;

• двунаправленный порт RS-232 со скоростью передачи и приема до 115 Кб/с;

• интерфейс Fast Ethernet 100 Мбит/с;

• два канала видео (PAL, SECAM, NTSC) с аппаратным сжатием.

Структура информационных потоков системы представлена на рис. 2. Модуль MUL устанавливает-

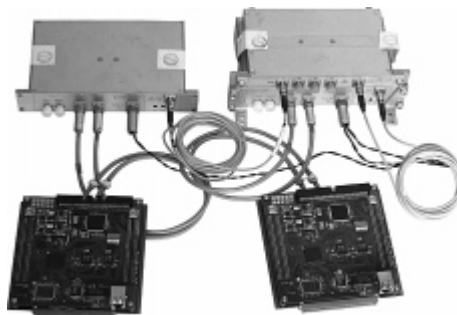


Рис. 1

ся на работе, модуль DMUL входит в состав пульта оператора.

Использованы отечественные оптические приемопередатчики разработки ЗАО "Техномаш-ВОС". Вероятность ошибок в каналах обеспечивается не хуже 10^{-10} . При увеличении скорости передачи по ВОЛС возможно увеличение пропускной способности текущих каналов (например, реализация Gigabit Ethernet) или добавление новых каналов.

Отличительной особенностью платформы DS-M-1000 является возможность работы с цифровым видеосигналом, для чего на плате установлены две микросхемы видеокодеков, обеспечивающие аппаратную компрессию/декомпрессию видеоинформации. Каждая микросхема может выполнять как функции сжатия (с регулируемым коэффициентом), так и функцию декомпрессии.

Цифровая вычислительная платформа выполнена на шестислойной печатной плате с размещенной на ней ПЛИС XILINX VIRTEX-II 1000. Для высокоскоростной передачи данных на плате предусмотрены два интерфейса: 64 порта ввода/вывода и порт FAST Ethernet.

Порты ввода/вывода подключены непосредственно к ПЛИС и вынесены на разъемы, расположенные по периферии платы. Благодаря тому, что в разъемах кроме сигнальных проводников в большом числе присутствуют и земельные контакты, повышается помехоустойчивость подключаемых интерфейсов, что крайне важно для высокоскоростных стандартов (LVTTTL, LVDS, LVPECL и др.). Порты могут быть использованы как одна или несколько параллельных шин данных нужной разрядности, а также каждый порт может использоваться как линия с последовательной передачей данных.

Рассмотрим способы формирования потоков данных. Для передачи дискретных данных по оптическим каналам связи используется цифровое кодирование. Потенциальные коды имеют узкую полосу частот, что является их преимуществом, но страдают появлением постоянной составляющей и потерей синхронизации при передаче длинных серий одинаковых элементов или групп. Для борьбы с этим явлением применяют логическое кодирование, то есть замену длинных последовательностей элементов, приводящих к постоянному потенциалу, другими последовательностями. Для логического кодирования характерны методы избыточных кодов и скремблирования. В системах ВОЛС в основном используется так называемое преобразование 8/10В (избыточный код).

Избыточные коды основаны на разбиении исходной последовательности бит на порции (символы). Затем каждый исходный символ заменяется новым, ко-

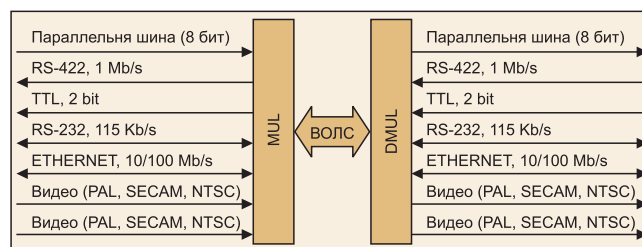


Рис. 2. Система передачи данных по ВОЛС для связи и управления глубоководным аппаратом

торый имеет большее число бит, чем исходный; в данном случае логический код 8/10В заменяет исходные символы длиной в 8 бита на символы длиной в 10 бит. Так как результирующие символы содержат избыточные биты, то общее число битовых комбинаций в них больше, чем в исходных. Поэтому в результирующем коде 8/10В можно отобрать 256 таких комбинаций, которые не содержат большого числа одинаковых символов, а остальные считать запрещенными кодами. Кроме устранения постоянной составляющей и придания коду свойства самосинхронизации (битовая синхронизация) избыточные коды позволяют приемнику распознавать искаженные биты.

Недостатком цифрового кодирования 8/10В является уменьшение пропускной способности канала на 20%, например, если пропускная способность информационного канала равна 622 Мбит/с, то скорость действительных данных равна 497 Мбит/с.

Кроме битовой синхронизации на физическом уровне между приемником и передатчиком применяется так называемая канальная синхронизация. Битовый поток разбивается на кадры (пакеты). Канальный

уровень оперирует пакетами данных и обеспечивает синхронизацию между приемником/передатчиком на уровне пакетов. В обязанности приемника входит распознавание начала пакета (например, по заголовку) и распознавание границ-полей пакета.

Данные внутри пакета обычно защищают циклическим избыточным кодом (CRC), который вычисляется для некоторого блока данных и передается в конце пакета. При приеме пакета независимо вычисляется CRC для того же блока данных и сравнивается с полученным кодом. В случае совпадения кодов существует большая вероятность, что пакет передан без искажений. При использовании кода CRC₃₂ (размер 32 бита) вероятность пропустить изменение данных составляет всего $1/232 (2 \cdot 10^{-10})$. Очевидно, что затраты на заголовок и циклический избыточный код незначительно уменьшит пропускную способность

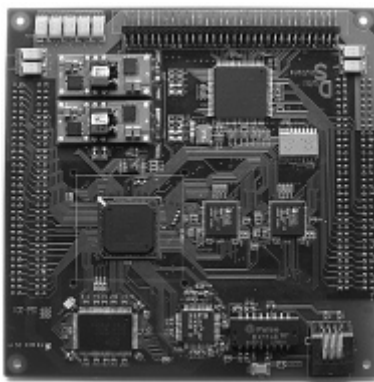


Рис. 3. Внешний вид цифровой вычислительной платформы DS-M-1000

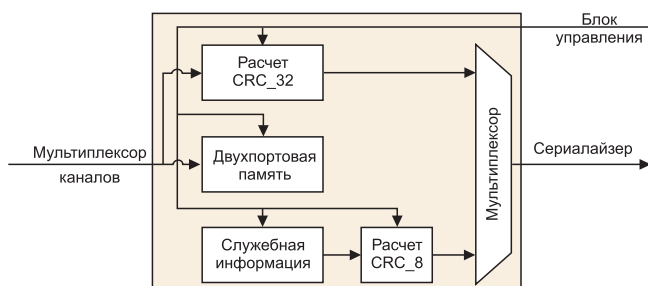


Рис. 4. Структурная схема блока формирования пакета

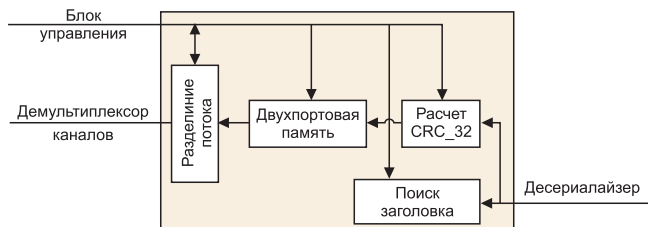


Рис. 5. Структурная схема блока распознавания пакета

информационного канала (чем больше размер пакета, тем меньше затраты на "служебную" информацию в процентном отношении).

В системах управления роботами на базе ВОЛС разумно использовать цифровой избыточный код 8/10В, данные передавать пакетами фиксированной длины (пакет состоит из заголовка и блока данных, для защиты пакета оптимально использовать циклический избыточный код CRC_32).

Рассмотрим структуру блока формирования пакета (рис. 4). Информационный пакет состоит из заголовка и блока данных. Формирование пакета начинается с заголовка. Блок управления записывает информацию о номере информационного пакета, номере блока гидроакустических данных и другую служебную информацию в блок служебной информации. Затем полученные данные поступают на вход блока, где считается 8-битный циклический избыточный код (блок расчет CRC_8). Полностью сформированный заголовок с выхода блока расчета CRC_8 подается на мультиплексор. На входы блоков двухпортовой памяти и расчета поступает поток 8-битных данных.

Двухпортовая память используется для промежуточного хранения данных (необходима для синхронизации потоков данных внутри блока формирования пакета). Циклический избыточный 32-битный код на весь блок данных информационного пакета вычисляется в блоке расчет CRC_32. Блок управления синхронизирует работу всех внутренних структур блока формирования пакета. С выхода блока 8-битный поток полностью сформированного пакета поступает в сериалайзер.

Распаковку и демультимплексирование потока осуществляет блок распознавания пакета (рис. 5). Поток 8-битных данных с блока десериалайзер поступает на вход блока распознавание пакета. Блок поиска заголовка анализирует поток данных, поступающий из блока десериалайзер: на каждом такте синхросигнала считает

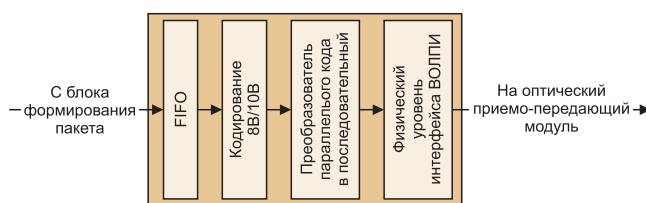


Рис. 6. Структурная схема сериалайзера

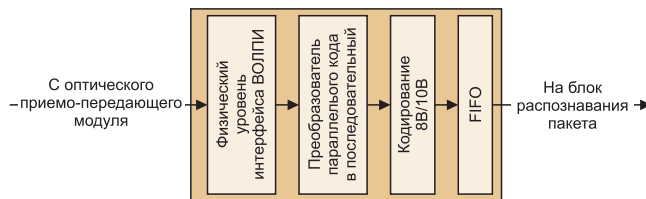


Рис. 7. Структурная схема десериалайзера

циклический избыточный код CRC_8 от подряд идущих трех байт и сравнивает полученный результат с четвертым байтом, если байты совпадают, то данные четыре байта с определенной степенью вероятности считаются заголовком информационного пакета, последующие 996 байт считаются блоком данных.

После определения заголовка пакета блок поиск заголовка передает сигнал блоку расчет CRC_32, который запускает расчет циклического избыточного кода CRC_32, получившийся в данном блоке при расчете CRC_32 от 992 байт с четырьмя последующими байтами, если результат совпадает то пакет с определенной степенью вероятности считается действительным.

Двухпортовая память используется в качестве промежуточного буфера, где хранятся предполагаемые данные информационного пакета. Если расчетная контрольная сумма CRC_32 совпала с полученной, то блок разделение потока считывает данные из двухпортовой памяти.

Блок разделение анализирует служебные данные полученного пакета со служебными данными пакета предыдущего. Если номер полученного пакета больше либо равен номеру предыдущего, и если время между двумя соседними пакетами больше либо равно времени передачи информационного пакета, то такой пакет подается на блок демультимплексор. Служебные данные передаются в блок управления для последующего анализа. Блок управления синхронизирует работу всех внутренних структур блока распознавания пакета. Сериалайзер осуществляет преобразование поступающих на него 8-разрядных данных в последовательный код для передачи по ВОЛПИ (рис. 6). В соответствии со схемой кодирования 8/10В блоки данных из 8 бит преобразуются в блоки данных из 10 бит. Некодированная информация разбивается на блоки по 8 бит: А, В, С, D, Е, F, G, H, плюс контрольная переменная Z. Последняя может принимать значение D в случае обычных символов данных (D-типа) или К в случае специальных символов (K-типа). Эта информация преобразуется в соответствии с правилами 8/10В в так называемый передаваемый код из 10 бит: a, b, c, d, e, i, f, g, h, j. Прави-

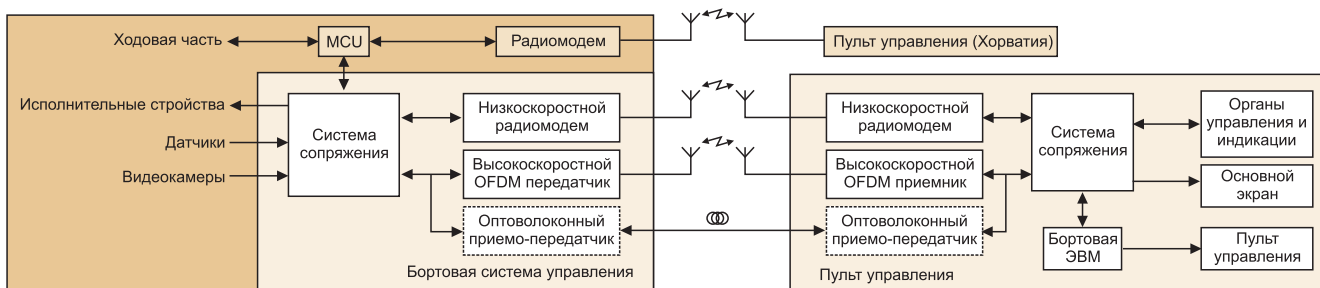


Рис 8. Структурная схема системы управления

ла, в частности, предусматривают, что передаваемый символ D-типа должен содержать не менее четырех нулей и единиц, причем число идущих подряд нулей или единиц не должно быть больше четырех. Каждый имеющий смысл передаваемый символ имеет свое обозначение $Zxx.u$ в соответствии со следующим соглашением: Z – контрольная переменная; xx – десятичное значение двоичного числа, составленного из битов E, D, C, B, A; а u – десятичное значение двоичного числа, составленного из битов H, G, F. Так, например, передаваемый символ для специального (K-типа) байта 10111100 обозначается как K28.5.

Каждый байт данных или специальный символ имеет два (возможно, одинаковых) передаваемых кода, т. е. каждый передаваемый символ имеет два представления, в частности K28.5 может быть представлен и как десятибитовая последовательность 0011111010, и как 1100000101. Какое из двух возможных представлений будет выбрано для передачи, зависит от значения "текущего дисбаланса" (Running Disparity, RD). Двоичный параметр RD вычисляется на основании баланса 0 и 1 в подблоках передаваемого символа. "1" соответствует сигналу с большей оптической мощностью (для оптических каналов) или сигналу с большим напряжением на контакте "+", чем на контакте "-" (в случае медных линий). Текущий дисбаланс вычисляется после первых шести битов каждого передаваемого символа и затем после последних четырех его битов. Дисбаланс может быть положительным (больше единиц, чем нулей) или отрицательным (больше нулей, чем единиц). Такая схема призвана обеспечить равенство нулей и единиц с течением времени (т. е. сформировать так называемый уравновешенный код).

Десериалайзер осуществляет выделение из однобитного потока 8-разрядных данных и тактового сигнала (рис. 7). В него входят: схема восстановления данных; преобразователь последовательного кода в параллельный; преобразователь, осуществляющий декодирование 8/10B; выходной блок обработки очереди FIFO. Схема восстано-

вления данных выделяет из последовательного однобитного потока, поступающего на десериалайзер, тактовый сигнал и 10-битные блоки данных. Далее производится преобразование последовательного кода в параллельный и декодирование из 10-битных блоков данных в 8-битные.

Помимо задач управления по проводным или оптоволоконным каналам все более актуальным становится передача информации с видеокамер и иных источников больших объемов информации по беспроводным радиоканалам. Рассмотрим пример построения такой системы.

Система управления самоходным мобильным роботом (СУ СМР)

СУ СМР предназначена для управления мобильным роботом с помощью пульта управления (рис. 8). Ее бортовая часть подключается к штатной системе управления мобильным роботом через последовательный интерфейс и не нарушает работу штатного пульта управления. Бортовая система управления осуществляет: прием и обработку команд управления от пульта управления (ПУ); формирование команд управления; обработку и передачу сигналов датчиков; управление исполнительными механизмами; передачу изображения с видеокамер в ПУ.

Обмен информацией с ПУ осуществляется по трем независимым цифровым каналам: низкоскоростному радиоканалу, высокоскоростному однонаправленному радиоканалу и оптоволоконному каналу. Низкоскоростной радиоканал предназначен для передачи команд управления и низкоскоростных данных в ПУ. Высокоскоростной радиоканал предназначен для передачи видеоизображения и высокоскоростных данных от/в ПУ. Оптоволоконный канал предназначен для работы в условиях отсутствия радиосвязи и по своим функциям заменяет оба радиоканала.

Пульт управления конструктивно выполнен в металлическом корпусе, в котором размещены органы управления, экраны отображения информации, система управления, радиопереда-

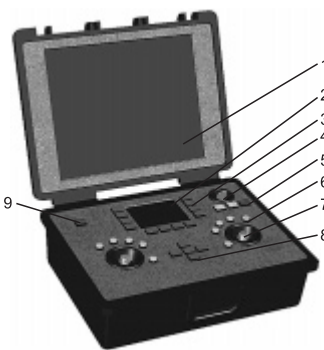


Рис. 9. Пульт управления, где 1 – основной экран пульта управления; 2 – дополнительный экран; 3 – функциональные клавиши; 4 – ключ включения системы; 5 – кнопки управления основными системами робота; 6 – клавиши переключения режимов работы джойстиков, управления механизмами; 7 – джойстики управления; 8 – клавиши навигации и изменения параметров на дополнительном и основном экране; 9 – кнопка аварийной остановки

ющее оборудование и аккумуляторная батарея (рис. 9). В качестве органов управления используется набор кнопок и два джойстика.

На основном экране отображается информация с видеокamer, режимы работы, навигационные данные, а также информация о состоянии систем робота. Дополнительный экран предназначен для отображения назначения функциональных клавиш, функции которых могут изменяться в зависимости от режима работы. Кроме этого, на дополнительном экране может отображаться информация о состоянии систем робота и режимах работы.

Для предотвращения несанкционированного доступа к пульту управления его включение осуществляется с помощью механического или электронного ключа.

Управление движением робота и его механизмами осуществляется с помощью джойстиков. Режимы работы джойстиков переключаются с помощью кнопок, расположенных рядом с ними. Для уменьшения размеров джойстики и ключ запуска находятся в углублениях передней панели. Корпус ПУ обеспечивает в закрытом состоянии защиту IP67, в открытом – IP54.

В настоящее время завершается разработка и изготовление опытного образца блока управления многофункциональным робототехническим комплексом пожаротушения. Он состоит из платы управления робототехническим комплексом; платы коммутации;

блока управления по кабелю. Плата управления робототехническим комплексом обеспечивает обмен данными между противопожарным роботом и пультом управления посредством внешних блоков приема/передачи. Передача данных может осуществляться по одному из двух радиоканалов (штатному или дополнительному) либо по кабельному каналу, который имеет наивысший приоритет.

Плата коммутации аудио- и видеосигналов обеспечивает мультиплексирование видео- и аудиосигналов. Блок управления по кабелю осуществляет связь между робототехническим комплексом и пультом посредством кабельного соединения (две витых пары).

Таким образом, в статье рассмотрены основные способы построения перспективных каналов передачи информации для мобильных робототехнических комплексов.

Список литературы

1. *Стешенко В.Б.* Оценка производительности новых семейств ПЛИС Altera для применения в системах связи с ОФДМ // Цифровая обработка сигналов. 2005. №3.
2. *Стешенко В.Б.* Алгоритмы цифровой обработки сигналов: реализация на ПЛИС // Электронные компоненты, 2006. №6.
3. *Стешенко В.Б.* EDA. Практика автоматизированного проектирования радиоэлектронной аппаратуры. М.: "Нолидж", 2002.

Воронков Д.И. — руководитель проекта, Руткевич А.В. — исполнительный директор, Шишкин Г.В. — главный конструктор НПП "Цифровые решения",

Заводсков С.Д. — зам. начальника отдела разработки СБИС, Синельникова М.В. — инженер — исследователь, Стешенко В.Б. — канд. техн. наук, начальник отдела разработки СБИС ФГУП "РНИИ КИ".

Контактный телефон (495) 778-97-04. E-mail: info@dsol.ru Http://www.dsol.ru

АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОЙ ЛИНИЕЙ МЕХОБРАБОТКИ ИЗДЕЛИЙ

**О.Г. Тюрин, В.Т. Стадник, С.К. Никифоров (ООО фирма "Пластик Энтерпрайз")
Б.Г. Месежник (Пермский завод им. С.М. Кирова)**

Приведены результаты разработки и внедрения системы управления робототехнической линией мехобработки изделий сложной конфигурации. Описаны принципы построения, функции, структура и ее практическая реализация на современных технических и программных средствах автоматизации.

Робототехнические линии (РТЛ) мехобработки изделий в машиностроении призваны решать важные государственные задачи социально-экономического характера, прежде всего, — повышение производительности и облегчение труда работников отрасли. Особенно актуальна необходимость их создания в потенциально опасных производствах при обработке изделий сложной конфигурации, где на первый план, наряду с указанными, выходят также задачи вывода людей из опасных зон обслуживания и исключения субъективного человеческого фактора при принятии управленческих решений. В этой связи, РТЛ по существу являются высокоавтоматизированными технологическими комплексами, в которых определяющая роль отводится их органично встроенной составляющей — системе управления (СУ). Рассмотрим конкретный пример промыш-

ленной реализации СУ РТЛ на одном из производств Пермского завода им. С.М. Кирова.

Краткая характеристика объекта управления

РТЛ мехобработки изделий из пожаро-взрывоопасных материалов состоит (рис. 1) из трех однотипных технических комплексов (ТК), смонтированных в отдельных помещениях (технологических кабинах). В состав каждого ТК входят два станка, автооператор, подводящий и отводящий транспортеры, оборудование стружкоудаления и пожаротушения. Токарные, фрезерные и сверлильные операции осуществляются последовательно на шести станках или их части по специальным циклограммам в зависимости от типа изделий. С помощью транспортеров они подаются в ТК и передаются в следующую кабину. Автооператор