

## Лекция 9

### 1. Автономные системы автоведения электропоездов, пассажирских и грузовых поездов.

### 2. Системы телемеханического управления ЭПС.

1

Системы автоматического управления движением пассажирских поездов (САУ ПП) делятся на одно- и двухконтурные. Одноконтурные САУ ПП осуществляют выбор позиции управления  $N$  электровоза в зависимости от рассогласования  $\Delta T$  между фактическим временем хода по контрольному участку и программным. Каждой позиции управления соответствуют определенные позиции контроллеров и тормозных кранов. В двухконтурных САУ ПП вычисляется требуемая скорость движения в зависимости от рассогласования  $\Delta T$  (первый контур), а затем в соответствии с вычисленной скоростью регулятором скорости (второй контур) выбирается позиция управления.

**Одноконтурные САУ ПП.** Системы автоматического управления пассажирскими поездами с одним контуром управления (рис. 10.14) состоят из объекта управления  $OU$ , регулятора времени хода  $PВ$ , программного блока  $ПБ$ , исполнительного элемента  $ИЭ$  и тормозного блока  $ТБ$ . Объект управления – поезд имеет управляемую величину  $T(s_k)$  – время хода по контрольному участку пути. На поезд оказывает влияние возмущающее воздействие  $F_B$ , препятствующее реализации заданного времени хода. Регулятор времени хода  $PВ$ , состоящий из чувствительного элемента времени хода  $ЧЭ_t$ , элемента сравнения времени хода  $ЭС$  и управляющего элемента  $УЭ$ , предназначенного для выработки управляющего воздействия.

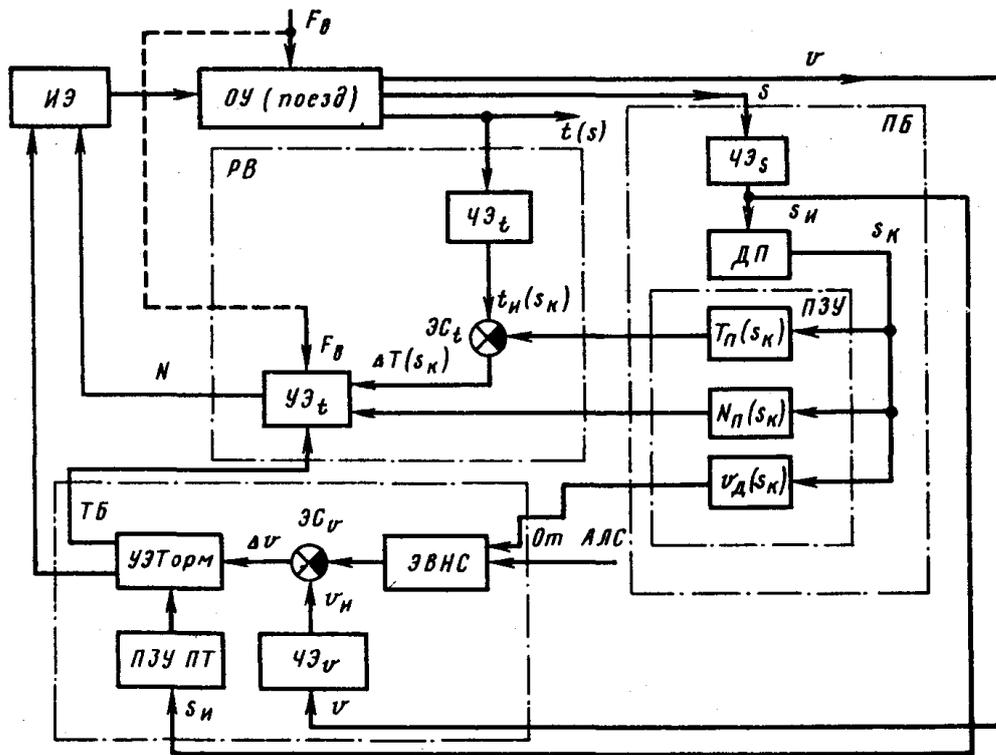


Рис. 10.14

Чувствительный элемент  $ЧЭ$  преобразует величину  $t$  в цифровой код в определенных точках пути  $s_k$ , где  $k=0, 1, 2, \dots$ . Поэтому на выходе  $ЧЭ$  будет дискретная функция дискретного аргумента  $t_n(s_k)$  в то время, как на входе – непрерывная функция непрерывного аргумента  $t(s)$ . При этом  $\Delta s_k = s_k - s_{k-1}$  – длина  $k$ -того контрольного участка, по которому задано время хода.

Таким образом,  $ЧЭ$  осуществляет дискретизацию управляемой величины  $t$  по пути.

Элемент сравнения  $ЭС$  реализует операцию вычитания и определяет рассогласование между измеренным значением и заданным программным временем хода:

$$\Delta T(s_k) = t_n(s_k) - T_n(s_k).$$

Управляющий элемент  $УЭ$ , реализует закон управления, осуществляя преобразование  $\Delta T(s_k)$  в номер  $N$  позиции управления; он выбирает номер ходовой позиции или нулевую позицию (выбег). Если номер позиции управления выбирается только в зависимости от рассогласования по управляемой величине  $\Delta T(s_k)$ , то САУ ПП относится к классу автоматических систем с управлением по отклонению. Если  $N$  определяется в зависимости от  $F_B$  и  $\Delta T(s_k)$ , то управление осуществляется как по отклонению, так и по

возмущению. В этом случае САУ ПП относится к классу автоматических систем с комбинированным управлением.

Исполнительный элемент *ИЭ* непосредственно воздействует на цепи локомотивной автоматики, получая информацию от *УЭ<sub>т</sub>*, или тормозного блока *ТБ*.

Программный блок *ПБ* служит для хранения программ движения поезда и состоит из чувствительного элемента пути *ЧЭ* дискретизатора пути *ДП* и постоянных запоминающих устройств *ПЗУ* программ движения. На рис. 10.14 приведены блоки основной программы времени хода от пути по контрольным участкам  $T_n(s_k)$ , программы номера позиции и режима ведения поезда (тяга или выбег)  $N_n(s_k)$  и программы допустимых скоростей  $v_d(s_k)$ . Программы  $T_n(s_k)$  и  $v_d(s_k)$  необходимы в любых автономных САУ ПП. Программа  $N_n(s_k)$  используется для улучшения качества управления в ряде автономных САУ ПП. Дискретизатор пути *ДП* программного блока определяет границы контрольных участков.

Тормозной блок *ТБ* осуществляет прицельное торможение у платформ, уменьшение скорости по сигналам автоматической локомотивной сигнализации (АЛС) и в случае превышения поездом значения  $v_d$ . Он состоит из чувствительного элемента скорости *ЧЭ<sub>v</sub>*, элемента выбора наименьшей ограничивающей скорости *ЭВНС*, элемента сравнения скорости *ЭС<sub>v</sub>*, постоянного запоминающего устройства программ торможения *ПЗУ ПТ* и управляющего элемента торможения *УЭТорм*.

Элемент *ЧЭ* осуществляет измерение скорости и преобразование ее в цифровой код. *ЭВНС* выбирает наименьшее значение скорости из поступающих значений из *ПЗУ* и по сигналам *АЛС*. Выбранная скорость сравнивается с измеренной в *ЭС<sub>v</sub>*, где реализуется операция вычитания. Рассогласование по скорости  $\Delta v$  поступает на *УЭТорм*, который в зависимости от значения  $\Delta v$  формирует сигнал перехода на выбег. Этот сигнал поступает на *УЗ* и является для него приоритетным. В том случае, когда переход на выбег не обеспечивает необходимого уменьшения скорости, *УЭТорм* формирует сигнал торможения, поступающий в исполнительный элемент *ИЭ*. Траектория торможения (в том числе и до полной остановки) задана в *ПЗУ ПТ*.

Функции тормозного блока могут быть реализованы системами безопасности, в частности, системой автоматического управления торможением САУТ. Поэтому *ПБ* и *ТБ* относятся к дополнительным устройствам САУ ПП; без них, как и без основных, работоспособность системы автоведения не может быть обеспечена.

Основным контуром управления является контур регулирования времени хода. САУ ПП, которые реализуют один из законов управления  $N(\Delta T_k)$ ,  $N(\Delta T_k, F_v)$ , являются одноконтурными.

По числу программ движения поезда одноконтурные САУ ПП делятся на одно-, двух- и трёхпрограммные; в число программ не входят программы  $v_d(s_k)$  и тормозные программы, так как они не влияют на выбор закона управления временем хода. Однопрограммные одноконтурные САУ ПП имеют основную программу движения  $T_n(s_k)$  и реализуют закон управления

$$N = N_s + \Delta N(T_k),$$

где  $N_s$  – базовая позиция управления;  $\Delta N(T_k)$  – количество дополнительных позиций управления, выбираемых *УЭ*, для компенсации отклонения  $\Delta T_k$ .

Двухпрограммные одноконтурные САУ ПП имеют программы движения  $T_n(s_k)$ ,  $N_n(s_k)$  и реализуют следующие законы управления:

$$N = N_{ni}(\Delta T_k, s_k) \text{ и } N = N_n(s_k) + \Delta N(\Delta T_k),$$

где  $N_{ni}(\Delta T_k, s_k)$  – вариант *i*-того номера программной позиции на *k*-том контрольном участке, выбираемый *УЭ*, в зависимости от  $\Delta T_k$ .

Структурные схемы одно- и двухпрограммных одноконтурных САУ ПП можно получить, воспользовавшись рис. 10.14.

Трёхпрограммные одноконтурные САУ ПП хранят программы движения  $T_n(s_k)$ ,  $N_n(s_k)$ ,  $v_n(s_k)$  и реализуют закон управления:

$$N = N_n(s_k) + \Delta N(\Delta T_k, \Delta v_k),$$

где  $\Delta v_k = \Delta v(s_k)$  – рассогласование по скорости в конце *k*-того контрольного участка.

**Двухконтурная САУ ПП.** Структурная схема двухконтурной САУ ПП (рис. 10.15), помимо устройств *ПБ* и *ТБ*, аналогичных применяемым в одноконтурной САУ ПП, содержит регулятор времени хода *РВ*, отличный от используемого в одноконтурных системах, и регулятор скорости *РС*.

Регулятор времени хода *РВ* определяет рассогласование по времени  $\Delta T(s_k)$  и преобразует его в заданное значение скорости  $v_3(s_k)$ , которое определяется в сумматоре скорости *СМ<sub>v</sub>* как алгебраическая сумма программного значения скорости  $v_n(s_k)$  и  $\Delta v[\Delta T(s_k)]$  вычисляемого в *УЭ*.

Регулятор скорости *РС*, состоящий из чувствительного элемента скорости *ЧЭ<sub>v</sub>*, элемента сравнения скоростей *ЭС<sub>v</sub>*, управляющего элемента *УЭ* предназначен для поддержания с требуемой точностью заданного уровня скоростей  $v_3(s_k)$ . Чувствительный элемент *ЧЭ<sub>v</sub>* преобразует непрерывную функцию скорости непрерывного аргумента *t* в цифровой эквивалент  $v_n(nT_v)$ , где  $n=0,1,2, \dots$ ;  $T_v$  – шаг дискретизации

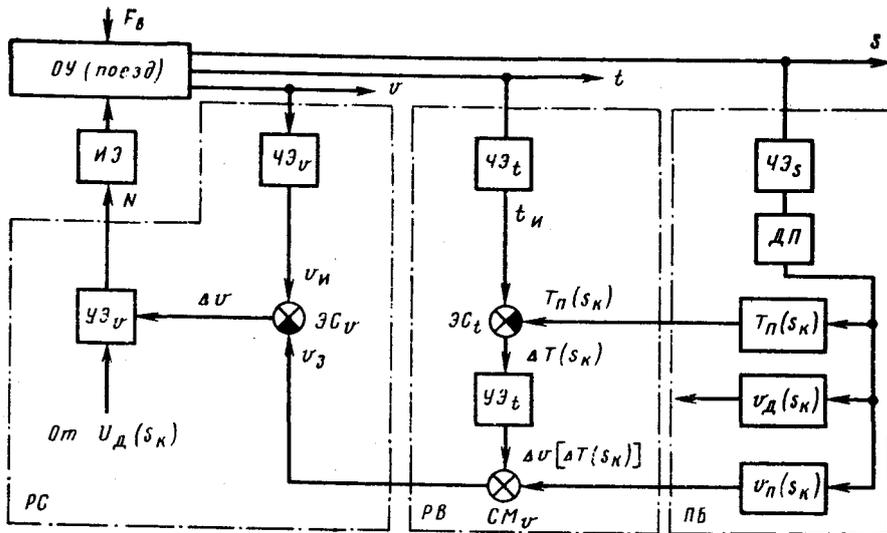


Рис. 10.15

по времени. Элемент сравнения ЭС<sub>v</sub> определяет рассогласование между измеренной  $v_n$  и заданной  $v_3$  скоростями движения:  $\Delta v = v_n - v_3$ . Управляющий элемент УЭ<sub>v</sub> выбирает управляющее воздействие (для электровозов с дискретным управлением силой тяги это номер позиции  $N$  контроллера) в зависимости от  $\Delta v$ . Таким образом, регулятор скорости реализует закон управления  $N(v_3)$ . Исполнительный элемент ИЭ связывает регулятор скорости с цепями

управления тягового привода.

Наличие в САУ ПП регулятора скорости позволяет сделать регулятор времени двухконтурных систем универсальным для локомотивов всех типов. На ряде современных пассажирских электровозов регулятор скорости входит в состав локомотивной автоматики. Наличие двух программ  $T_n(s_k)$  и  $v_n(s_k)$ , необходимых для функционирования рассмотренной двухконтурной САУ ПП, позволяет отнести эту систему управления к классу двухпрограммных. В том случае, когда УЭ<sub>v</sub> вычисляет значение заданной скорости  $v_3$  как оператор над  $\Delta T(s_k)$ , не используя информацию о программной скорости, двухконтурные САУ ПП переходят в разряд однопрограммных систем.

Основной задачей, реализуемой **централизованной системой автоведения поездов метрополитена** (ЦСАВПМ), является выполнение планового графика движения при компенсируемых возмущениях. В условиях сбоя движения, когда возмущения таковы, что ресурсов нагона и уменьшения длительностей стоянок недостаточно для выполнения графика движения (некомпенсируемые возмущения), в системе автоведения под контролем диспетчера пересчитывается плановый график движения так, чтобы максимально обеспечить провозную способность линии. При условии выполнения планового или пересчитанного графика движения система автоведения должна так осуществлять управление, чтобы обеспечить минимизацию расхода энергии на тягу поездов.

ЦСАВПМ содержит два функциональных контура управления. Верхний функциональный контур реализует вычисление длительностей стоянок и времени хода для всех поездов данной линии. Входной информацией в этом контуре является программа (график) движения поездов, измеряемыми величинами – время прибытия и отправления поездов со станций и (или) время прохождения контрольных точек. Выходные величины – вычисленные длительности стоянок и время хода.

Нижний функциональный контур реализует вычисленные верхним контуром длительности стоянок, время хода поездов и дополнительно осуществляет прицельное торможение и оборот состава в тупиках. Под прицельным торможением понимается как выполнение заданных скоростных ограничений в фиксированных координатах пути под контролем систем обеспечения безопасности движения, так и остановка поезда на станции и в оборотных тупиках с требуемой точностью.

В соответствии с расположением аппаратуры система автоведения содержит следующие уровни: центральный пост управления (ЦПУ); систему передачи дискретной информации «ЦПУ – станция», «станция – ЦПУ»; станционное устройство (СУ); систему передачи дискретной информации с СУ на поезд и с поезда на СУ; поездное устройство управления.

**Алгоритмы управления движением поездов на линии метрополитена.** Контур верхнего уровня, получая информацию о движении поездов, определяет рассогласование между параметрами исполненного и заданного графиков, вычисляет требуемые длительности стоянок и время хода по перегону. В системах автоматического управления движением поездов метрополитена нашли применение графиковые, интервальные и графико-интервальные алгоритмы.

В **графиковых** алгоритмах с первоочередным использованием ресурса стоянки отклонение времени прибытия поезда на станцию от графикового компенсируется изменением длительности стоянки. Отклонение времени отправления поезда со станции от графикового компенсируется изменением времени хода поезда по перегону. При этом ограничениями являются минимальная длительность стоянки, которая определяется как время, необходимое для высадки и посадки пассажиров (обычно 15 с), минимальное время хода поезда по перегону, минимальный интервал попутного следования поезда, задаваемый системами обеспечения безопасности движения.

**Интервальные** алгоритмы так же, как и графические, делятся на алгоритмы с первоочередным использованием ресурса длительности стоянки, с неизменной длительностью стоянки и с первоочередным использованием ресурса времени хода.

При интервальном алгоритме с первоочередным использованием ресурса стоянки ее длительность изменяется для компенсации отклонения интервала по прибытии, а время хода – для компенсации отклонения интервала по отправлению.

При интервальных алгоритмах с неизменной длительностью стоянки ликвидация отклонения исполненного графика от планового осуществляется только изменением времени хода поезда по перегону.

При интервальном алгоритме с первоочередным использованием ресурса времени хода сначала используется изменение времени хода. Если ресурс по уменьшению времени хода исчерпан, изменяется длительность стоянки.

Интервальные алгоритмы непосредственно не привязывают движение поезда к астрономическому времени.

**Графико-интервальные** алгоритмы формируют управления, используя информацию об отклонениях графического и фактического времени прибытия и отправления поездов, а также информацию об отклонениях интервалов по прибытии и отправлению. Рассмотрим один из алгоритмов этой группы. При допустимых отклонениях исполненного графика от планового применяется графический алгоритм с первоочередным использованием ресурса длительности стоянки. Если интервал по отправлению сзади идущего  $(n+1)$ -го поезда с  $(j-1)$ -й станции больше заданного, определяемого из условий недопустимости сверхнормативного скопления пассажиров на  $j$ -той станции из-за опоздания  $(n+1)$ -го поезда, то  $n$ -ый (впереди идущий поезд) принудительно «выбывается» из графика и задерживается на  $j$ -той платформе на фиксированное время. Таким образом уменьшается время, в течение которого на платформе  $j$ -той станции отсутствует поезд. Управляющее воздействие на изменение времени хода для принудительно задержанных поездов не формируется. Опоздававший  $(n+1)$ -ый поезд должен реализовать минимальное время хода.

Системы **автоведения электропоездов** САВПЭ разработаны с упреждающим тяговым расчётом и перераспределением времени хода по участку с целью минимизации расхода энергии на тягу. В памяти системы автоведения заложено время хода по участку от начальной до конечной станции. В процессе движения система автоведения получает информацию с частотно-импульсного датчика о скорости и пройденном расстоянии, таймер микроконтроллера вычисляет оставшееся до конечной станции время хода, исключая длительности стоянок. Микроконтроллер распределяет время хода между впереди лежащими перегонами так, чтобы уменьшить расход энергии на тягу. Эта задача решается циклически (время цикла 1 с). Упреждающий тяговый расчет реализуется также циклически для определения точки перехода на выбег из условия выполнения расчётного времени хода до первой остановки электропоезда.

После перехода на выбег упреждающий тяговый расчет производится для того, чтобы определить, требуется ли дополнительное включение тяговых двигателей. При необходимости дополнительного включения вычисляется его координата. После чего тяговый расчет выполняется для определения точки перехода на выбег.

Циклически осуществляемый тяговый расчёт дает возможность в начале каждого нового цикла вводить измеренные координаты движения (расстояние, скорость, оставшееся до остановки время хода). Так по существу, реализуется обратная связь в цифровой системе автоведения.

2

Телемеханика — отрасль науки и техники, охватывающая теорию и технические средства контроля и управления объектами на расстоянии с применением специальных преобразователей сигналов для эффективного использования каналов связи.

Применительно к ЭПС системы телемеханики используют для:

– управления дополнительными электровозами в соединенных поездах;

– электровозами-толкачами и маневровыми электровозами;

– передачи командной информации на электровоз о скорости надвига состава на сортировочных горках;

– управления ЭПС во время его испытаний в критических по условиям безопасности ситуациях;

– передачи информации в централизованных системах автоведения.

Системы телеуправления применяют при территориальном удалении распорядительных устройств от объектов управления. При этом возможны следующие системы телеуправления, принцип построения которых для цепей прямой связи поясняют схемы рис. 10.16.

**Системы местного управления** (рис. 10.16а), в которых задающий сигнал  $g$  без всякого изменения попадает по линиям связи в устройство управления УУ.

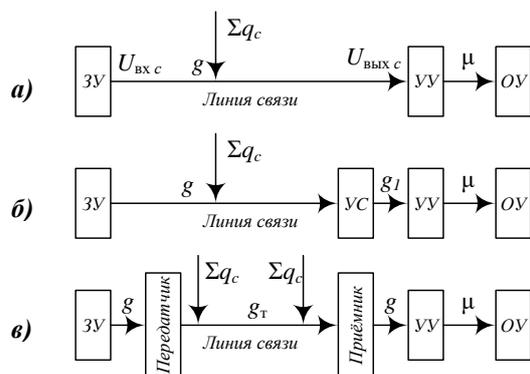


Рис. 10.16

На сигнал  $g$  (а также на любой другой аналогичный распорядительный сигнал) в линии связи воздействуют возмущения  $\Sigma q_c$ . Уровни многих из них находятся в прямой зависимости от протяженности линий связи  $l_c$ . В частности, для электрических сигналов в виде напряжений  $U$  возмущением будет и падение напряжения  $\Delta U_c$  в линии связи. Так,

$$U_{\text{вых } c} = U_{\text{вх } c} - \Sigma \Delta U_c = U_{\text{вх } c} - i_c \Sigma r_{i0} l_i,$$

где  $U_{\text{вх } c}$ ,  $U_{\text{вых } c}$  – значения напряжения сигнала соответственно на входе и выходе линий связи;  $i_c$ ,  $r_{i0}$ ,  $l_i$  – соответственно ток сигнала, удельные (на единицу длины) сопротивления участков линии связи и их протяженность.

От длины линий связи зависит также значение индуктированных в них напряжений помех и ряд других возмущений. Поэтому такая система пригодна только при линиях связи небольшой длины. В линиях связи большой протяженности сигналы будут недопустимо искажаться, а уровень их мощности снижается.

**Дистанционная система управления** (рис. 10.16б), предусматривающая обязательное усиление сигналов  $g$  усилителями УС, включёнными на выходе линий связи. Дистанционным является управление ЭПС по системе нескольких (многих) единиц. В качестве усилителей здесь используют приводы электромеханических элементов и другие аналогичные устройства. Хотя в дистанционных системах распорядительные сигналы и усиливаются, но в линиях связи они подвергаются таким же искажениям, как и в местных системах. Поэтому и здесь рас стояние  $l_c$  не может быть значительным.

**Система телеуправления** – телемеханического управления (рис. 10.16в), которая предусматривает передачу распорядительных сигналов с помощью специальных передатчиков и приемников, т.е. устройств, предназначенных для передачи информации на любые расстояния. Передатчики осуществляют преобразование поступающих сигналов  $g$  в сигналы другой физической природы  $g_t$ , обладающих наиболее высокой помехоустойчивостью. Приемники преобразуют сигналы  $g_t$  в сигналы исходного вида  $g$ . С помощью телеуправления можно решать ряд задач, неразрешимых при других системах управления. Отметим лишь те из них, которые имеют наиболее существенное значение применительно к управлению локомотивами и движением поездов:

- объединение в общую систему сопряженного автоматического управления нескольких однородных объектов, например всех локомотивов, выполняющих поездную работу на каком-то участке, узле, направлении. Такая система должна обеспечивать согласованность (синхронность) следования всех поездов, в результате чего повышается пропускная способность участка, узла, дороги. Именно в этом заключена может быть наибольшая эффективность телеуправления, особенно если его внедряют на участках с предельным использованием пропускной способности;

- объединение в общую систему комплексного управления нескольких подсистем разнородных по характеру. В этом случае целесообразно автоматизировать такие функционально связанные подсистемы, как локомотивное хозяйство, организация движения, система тягового электроснабжения. Именно на этом принципе должна строиться единая автоматическая система управления транспортным процессом, назначение которой – оптимизация всего транспортного процесса;

- обеспечение диспетчерского воздействия на работу сложных комплексных систем и отдельных объектов, входящих в эти системы. Под диспетчерским воздействием понимают дискретную и, как правило, дистанционную настройку, как всей системы, так и ее отдельных элементов. Диспетчерское воздействие может осуществляться в системах, состоящих из самых различных объектов, в том числе и неавтоматизированных. На железнодорожном транспорте диспетчерское управление применяют очень широко.

Примером может быть система диспетчерской централизации, при которой дистанционное автоматическое связывание сочетается с неавтоматическим управлением объектами – поездами. Широкое внедрение в современное диспетчерское управление вычислительной и вычислительно-управляющей техники, а также современных средств передачи информации постепенно превращают его в систему комплексного автоматического телеуправления (автотелеуправления); перенос распорядительных устройств автоматики, наиболее чувствительных к воздействию возмущений, с ЭПС на центральный пост управления. При этом можно полностью исключить воздействие на них механических процессов (толчков, вибраций), нестабильности температур и напряжений. В условиях центрального поста нет таких жёстких габаритных ограничений, как при размещении оборудования на ЭПС, что позволяет, в частности, существенно повысить помехозащищенность распорядительных устройств автоматики. Может быть значительно повышен уровень обслуживания этих устройств.

В системах местного и дистанционного управления для каждого вида передаваемых распорядительных сигналов требуется отдельная физическая линия связи (например, отдельный поездкой провод). В системах телеуправления передатчики осуществляют кодирование сигналов – преобразование их в импульсные или высокочастотные. При этом для каждой системы сигналов нет необходимости в отдельной физической линии связи, достаточно лишь выделить определённый диапазон несущих частот для каждой из них или как-то иначе подразделить эти системы сигналов, т.е. выделить для них каналы связи. По одной физической линии, связи можно организовать большое число каналов связи.

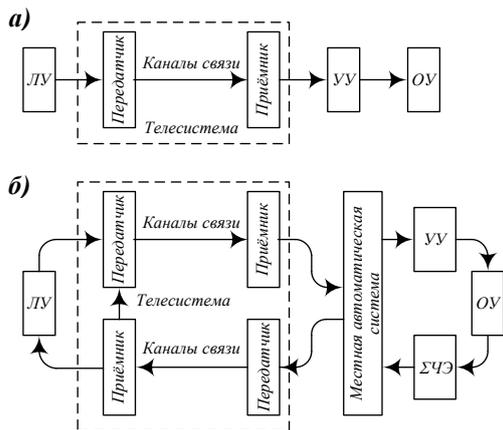


Рис. 10.17

электроподвижного состава.

– **системы телеизмерения (ТИ)** осуществляют передачу из мерительной информации. В частности, такой информацией является результат измерения тока управляемого на расстоянии электровоза, его скорости, напряжения на токоприемнике, давления в тормозной магистрали и т.д.

– **системы телеконтроля (ТК)** являются частным случаем телеизмерения и телесигнализации. В этих системах на контролируемом пункте осуществляется измерение контролируемой величины и сравнение результата измерений с допустимым значением параметра. Информация о нахождении измерительного параметра в поле допуска или о выходе этого параметра за допустимые значения передается на пункт управления по тракту телесигнализации.

– **системы телерегулирования (ТР)** реализуют управление на расстоянии объектами с бесконечным множеством состояний на базе систем ТУ-ТС-ТИ.

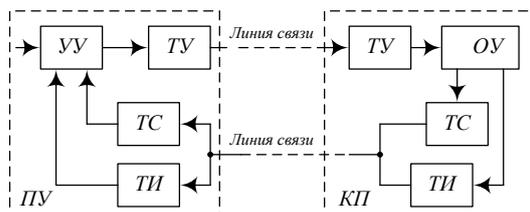


Рис. 10.18

Информация о состоянии объекта управления ОУ (рис. 10.18) по тракту ТС-ТИ передается с контролируемого пункта КП на управляющее устройство УУ пункта управления ПУ. Устройство управления, получив информацию о состоянии ОУ и сравнив его с внешней информацией (в частности, это может быть программа управления), вырабатывает управляющее воздействие и передает его по тракту ТУ на объект управления контролируемого пункта. По существу, получаем замкнутую систему автоматического управления на расстоянии. В автоматических системах управляющее устройство реализуется, как правило, на базе средств вычислительной техники.

В автоматизированных системах роль управляющего устройства играет диспетчер (или машинист головного локомотива при телерегулировании вспомогательным локомотивом в составе соединенного поезда).

– **системы передачи данных (СПД)** используются для обмена дискретной информацией между уровнями управления. В частности, аппаратура передачи данных (АПД) обеспечивает передачу информации между уровнями централизованной системы автоведения, реализованной на базе типовых средств вычислительной техники.

Линия связи – физическая среда, по которой передаются сигналы. Под сигналом понимают физический носитель сообщения для передачи телемеханических сигналов используются линии связи: проводные, световодные, радиотракт, контактная сеть. В случае передачи по одной линии связи различных сигналов реализуется уплотнение линии связи, т. е. создание нескольких каналов связи.

**Система телеуправления ЭПС** – наиболее перспективное направление развития комплексных систем управления ими. В большинстве случаев, автоматизировав управление одиночными локомотивами; нельзя полностью решить задачу автоматизации процесса движения поездов на участке или направлении. Для повышения пропускной и провозной способности необходима сопряженная автоматизация всех локомотивов и управление ими как единой системой. Такую задачу можно решать только, применяя автотелеуправление локомотивами и движением поездов. Эффект телеуправления тем выше, чем больше пассажи или грузопотоки на участке.

Структура систем автотелеуправления зависит от целей, поставленных при их создании. В простейшем случае система может предусматривать автоматическое сопряженное управление движением поездов в пределах участка или линии без использования обратных связей и без корректировки движения. Подобные разомкнутые системы простейшего телеуправления возможны лишь тогда, когда результаты воздействия всех возмущений могут быть компенсированы изменением продолжительности стоянки на

В системах телеуправления возможно применение односторонней и двусторонней связи. При односторонней связи (рис. 10.17а) возможно только управление по разомкнутому циклу, т.е. только получение на ПУ информации о ходе каких-либо процессов на КП. В более распространенных системах с двусторонней связью (рис. 10.17б) передаются распорядительные сигналы как прямой, так и обратной связи от чувствительных элементов ЧЭ. На КП имеется обычно своя местная система автоматики и устройства управления УУ для каждого объекта ОУ.

В соответствии с назначением обычно различают:

– **системы телеуправления (ТУ)** осуществляют передачу информации в виде команд на включение и отключение агрегатов электроподвижного состава, на изменение уставок различных регуляторов.

– **системы телесигнализации (ТС)** передают дискретную информацию о состоянии агрегатов

промежуточных и конечных остановочных пунктах. Систему можно эффективно применять только, если продолжительность стоянки  $t_c > \Delta t_n$ , где  $\Delta t_n$  – отклонение времени движения на перегоне. Это возможно, когда уровень возмущений сравнительно невелик (особенно, если невелики колебания нагрузки). Поэтому система пригодна для отдельных линий метрополитена и некоторых видов промышленного электрического транспорта.

В подобной разомкнутой системе телеуправления (рис. 10.19) используются только сигналы  $TU$ , подаваемые от центрального поста к объектам управления.

На центральном посту управления программное устройство  $ППУ$  выдает в зависимости от времени задающие сигналы  $g_n(t)$ , которые поступают в контрольно-сдвигающее устройство  $КСУ$ , обеспечивающее смещение их во времени для различных поездов. При этом

$$g_{n1}(t) = g_{n2}[t - (\Delta t_1 + \Delta t_2)] = g_{nn}(t - \sum_{j=1}^{n-1} \Delta t_j)$$

где  $\Delta t_j$  – заданные интервалы следования поездов; обычно  $\Delta t_1 = \Delta t_2 = \dots = \Delta t_i = \Delta t$ .

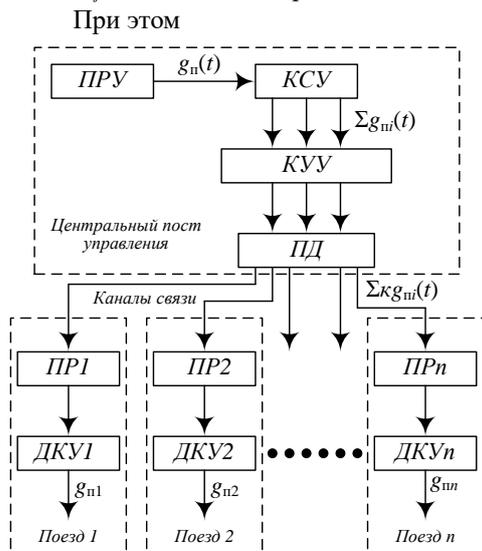


Рис. 10.19

на перегоне  $t_{пф}$  можно рассматривать как случайную величину, близкую к значению этого времени  $t_n$ , определяемому графиком. При правильном выборе  $t_n$  его можно считать математическим ожиданием величины  $t_{пф}$ .

Отклонения процессов движения представлены на рисунке тонкими линиями. В рассматриваемой системе время стоянки  $t_c$  представляет собой тот ресурс регулирования, за счет которого компенсируются все неточности управления и все воздействия возмущений. Этот ресурс не безграничен, так как всякое увеличение времени стоянок вызывает снижение участковой скорости  $v_c$ :

$$v_c = L / (\Sigma t_n + \Sigma t_c),$$

где  $L$  – длина участка;  $\Sigma t_n$ ,  $\Sigma t_c$  – общие времена соответственно движения на перегонах и стоянок в пределах участка.

При телеуправлении возможны два предельных случая корректирования режимов работы локомотивов и движения поездов: первый – корректирование распространяется на все управляемые поезда, второй – на их ограниченное число, в предельном случае на один поезд. В этих случаях необходима различная рабочая информация, различна и структура цепей обратной связи. В первом случае это должна быть какая-то обобщенная информация, например об изменении общих грузопотоков на линии, во втором – достаточна информация о фактическом продвижении каждого поезда (по соответствующим цепям обратной связи).

**Системы диспетчерского автоматического телеуправления локомотивами.** Повышенный уровень возмущений и многорежимность работы электровозов предъявляют к системам телеуправления особые требования. В этом случае наиболее приемлемы системы диспетчерского автоматического телеуправления. Это иерархические системы, в которых индивидуальное (бортовое) автоматическое управление локомотивом дополнено сопряженным диспетчерским управлением совокупностью поездов.

Пройдя через кодирующее устройство  $KУУ$ , сигналы  $\Sigma g_{ni}(t)$  через передатчик  $ПД$  и каналы связи поступают на поезда в виде кодов  $\Sigma \kappa g_{ni}(t)$ . Здесь их воспринимают приемники  $ПП1 \dots ППn$  и после декодирования в декодирующих устройствах локомотивов  $ДКУ1 \dots ДКУn$  они поступают в систему управления локомотива в виде задающих сигналов  $g_{n1} \dots g_{nn}$  (поездных).

На элементе графика движения поездов при такой разомкнутой системе телеуправления (рис. 10.20) жирными линиями показаны нитки планового графика, который при правильном выборе исходных показателей можно считать математическим ожиданием процесса движения поездов. Здесь интервал между поездами  $\Delta t$  постоянный (жесткий) и задается заранее.

Под влиянием возмущений фактическую продолжительность движения

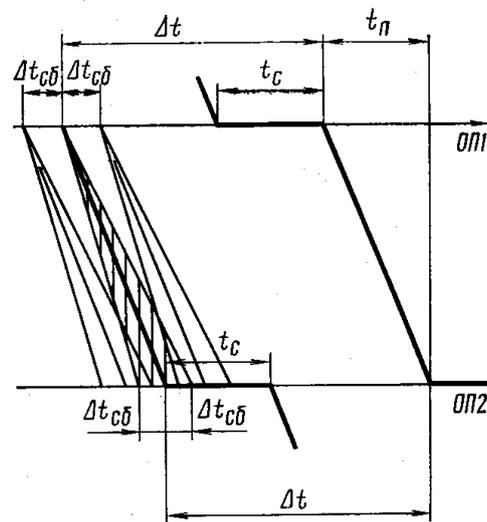


Рис. 10.20

Под диспетчерским управлением, которое может быть и неавтоматическим, понимают дискретную настройку систем управления от дельными объектами по общим законам сопряженного управления. На железнодорожном транспорте часто такое управление сводится к ускорению или замедлению продвижения отдельных поездов для оптимизации перевозочного процесса.

В дальнейшем будем рассматривать только системы диспетчерского управления, в которых широко применяются современные средства автоматики и телеуправления. Такое управление следует осуществлять прежде всего на локомотивах с широким применением САУ различного назначения и систем автомашиниста. В перспективных системах необходимо также использовать такие возможности систем диспетчерского управления, как сопряженное автоуправление не только раз личными объектами, но и различными системами или подсистемами. Такая система предусматривает индивидуальное автоматическое управление объектами (локомотивами), корректируемое в соответствии с задачами, стоящими перед всей сопряженной системой участка, дороги, направления, узла.

В связи с этим нет необходимости осуществлять непрерывную телесвязь между локомотивами и центральным постом управления. Эта связь может быть спорадической и устанавливаться на очень короткие промежутки времени. Возможно применять различные средства связи, но представляется, что в рассматриваемых условиях наиболее целесообразна периодическая связь между локомотивами и фиксированными напольными постами связи.

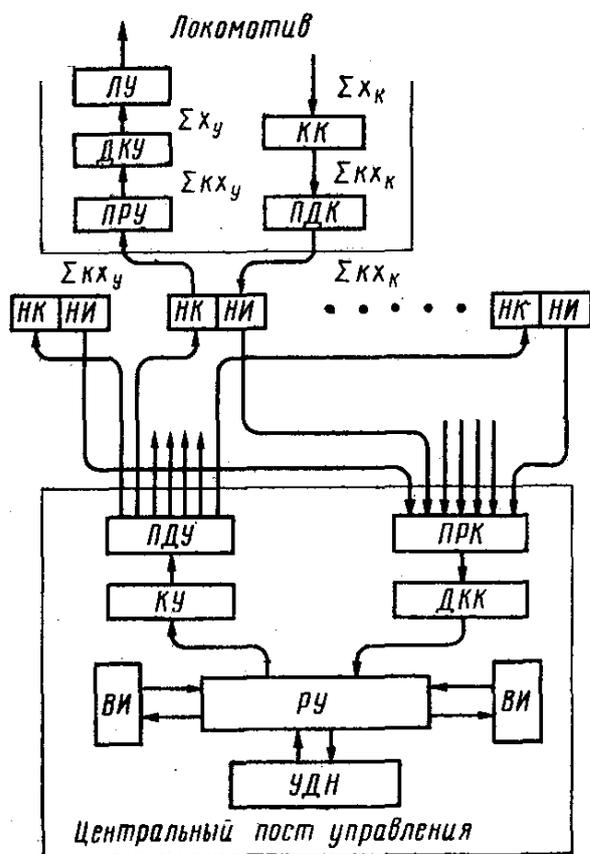


Рис. 10.21

необходимость непрерывного или периодического диспетчерского наблюдения, для чего должен быть предусмотрен специальный пульт УДН.

Сигналы ТУ с РУ поступают в кодирующее устройство КУ и затем передатчиками ПДУ передаются на посты ПК, а отсюда в виде кодированных сигналов управления  $\Sigma k_x$  – на локомотив в момент установления связи между ним и НК. На локомотиве сигналы принимаются приемником ПРУ и после декодирования в устройствах ДКУ в виде поступают в логическое устройство ЛУ, предназначенное для ввода их в систему САУ или САУ локомотива с целью настройки соответствующих подсистем.

Объем передаваемой информации ТУ и ТИ зависит от того, какие задачи ставятся, перед системой диспетчерского управления. Он может быть небольшим, если необходимо, например, лишь воздействовать на процесс продвижения поездов. Объем информации значительно расширяется, если наряду с этим ставятся дополнительные задачи, относящиеся, например, к оптимизации режимов работы локомотивов. Вследствие периодичности использования каналы связи будут в такой системе обладать большой избыточностью. Возможны некоторые способы ее снижения. Например, можно использовать одни и те же каналы связи для нескольких напольных постов.

Например, связь между локомотивами и постом осуществляется дискретно через напольные посты контроля ПК и информации НИ (рис. 10.21), в принципе они могут быть территориально не связаны, однако по ряду причин целесообразно их совмещать. Через эти посты между ЦПУ и локомотивами устанавливается двусторонний обмен сигналами ТУ и телеконтроля ТК (в некоторых случаях возможно и сигналами ТИ).

На локомотиве сигналы телеконтроля (а также телеизмерений)  $\Sigma x_k$  в кодирующих устройствах КК кодируются в сигналы  $\Sigma k_x$ , а затем с помощью передатчика ПДК передаются на напольные посты НИ. Вследствие дискретности связи соответствующая информация должна в устройствах КК, ПДК и НИ предварительно накапливаться.

На ЦПУ кодированные сигналы принимаются приемниками ПРК и декодируются в декодирующих устройствах ДКК. В дальнейшем как рабочая информация эти сигналы поступают в решающее устройство РУ, создавая цепь обратной связи.

Решающее устройство РУ может иметь двустороннюю связь с внешними источниками информации ВИ, представляющими собой другие сопряженные системы (на пример, систему тягового электроснабжения). Очевидно РУ должно представлять собой устройство, способное выполнять вычислительные и логические операции, обладающее достаточно большим объемом памяти. Не исключена

В принципе система, приведённая на рис. 10.21, позволяет решить все основные задачи автоматического телеуправления электровозами, а также задачи сопряженного управления различными транспортными системами.

**Система автоведения поездов Ленинградского метрополитена.** Опоздание поездов на метрополитене вызывается обычно задержками на станциях, так как при децентрализованном питании контактного рельса обеспечивается хорошая стабильность питающего напряжения, а изменение веса поезда в зависимости от наполнения вагонов пассажирами в достаточной мере компенсируется авторежимом.

Если поезд прибывает к номинальной точке перехода на выбег с некоторым опозданием  $\Delta\tau_0$ , то для компенсации этого опоздания переход на выбег надо произвести позднее, увеличив длительность режима тяги на время  $\Delta T_d$ . Таким образом, корректировка осуществляется по времени.

Рассмотрим кривые движения поезда по некоторому перегону (рис. 10.22). Линии 0-1-4-5 и 0-1'-4'-5' изображают зависимости  $v(S)$  и  $t(S)$  при номинальном режиме движения, соответствующем заданному времени хода поезда  $T_{пр}$ , а линии 0-2-3-5 и 0'-2'-3'-5' – при отправлении поезда с предыдущей станции с опозданием  $\Delta\tau$  и прибытием на следующую станцию точно по расписанию. В точке номинального перехода на выбег (точка 1) поезд будет иметь опоздание  $\Delta\tau_0$ .

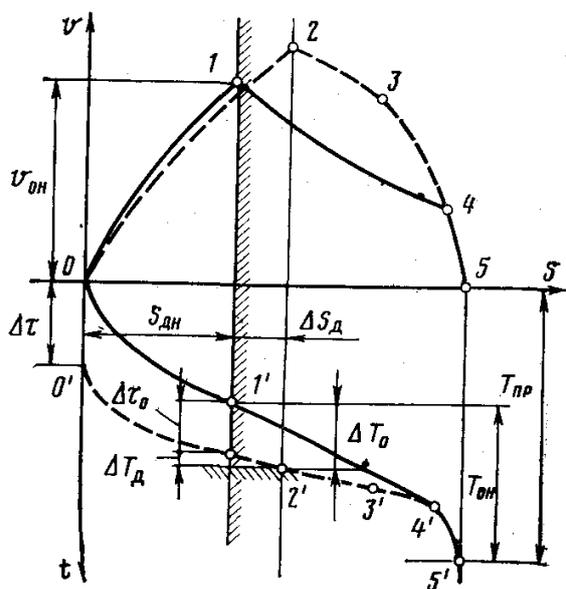


Рис. 10.22

электромагнитной индукции.

Центральный пункт управления выдает сигналы программного времени отправления поездов с конечных и промежуточных станций, а также сигналы программного времени проследования поездами контрольных точек на перегонах в соответствии с графиком движения.

Данные о программном времени отправления поездов с конечных станций закодированы в устройстве ввода программы  $VB$  центрального поста управления  $ЦПУ$  (рис. 10.23). Суточная программа зафиксирована в нескольких вариантах (на обычный день, выходной день, часы пик и пр.). На  $ЦПУ$  имеется не менее двух  $VB$ , в одном из которых происходит считывание программы, а на другом может быть заблаговременно установлена и отстроена замещающая программа; поэтому одну программу можно заменить другой практически мгновенно и в любой момент времени. Устройство ввода выдает сигналы отправления нечетных поездов с конечной станции  $A$  в моменты времени  $t_1, t_3, t_5, \dots$  и четных с конечной станции  $\Gamma$  в моменты  $t_2, t_4, t_6, \dots$  (рис. 10.24). При параллельном графике движения поездов времена  $T_{AA'}, T_{AB}, T_{AB'}, T_{AB}, T_{AB'}$  от момента отправления с промежуточных станций  $B$  и  $B'$ , а также до момента проследования контрольных точек  $A', B', B'$  на перегонах одинаковы. Это же относится и к временам  $T_{\Gamma\Gamma'}, T_{\Gamma B}, T_{\Gamma B'}, T_{\Gamma B}, T_{\Gamma B'}$  для четных поездов.

Сигналы программного отправления поездов с конечных станций передаются в путевые устройства (шкафы автоведения) этих станций и одновременно в программно-задающую машину  $ПЗМ$  (см. рис. 10.23). Она вырабатывает для соответствующих промежуточных станций и перегонов выходные сигналы, сдвинутые относительно входных на интервалы времени  $T_{AA'}, T_{AB}, T_{AB'}, T_{AB}, T_{AB'}$ .

Путевые устройства предназначены для передачи сигналов управления на поезда. Вдоль пути на деревянных досках уложена одновитковая петля из изолированного провода, которая питается от отдельного генератора высокой частоты. Значение передаваемых сигналов определяется частотами генераторов. Так, для передачи сигналов «Ход», «Торможение», «Открытие правых дверей», «Открытие левых дверей» используют частоты 20, 25, 32, 42 кГц. Эти устройства принято называть программами.

Переход на выбег в номинальном режиме осуществляется в точке 1 на расстоянии  $S_{дн}$  от начала перегона при скорости  $v_{0н}$ , время выбега и торможения  $T_{0н}$ . Если необходимо нагнать опоздание  $\Delta\tau$ , переход на выбег осуществляется в точке 2. Зависимость между величиной  $\Delta\tau_0$  и дополнительным временем работы двигателей  $\Delta T_d$  линейна и определяется уравнением (10.5).

Для реальных перегонов зависимости  $\Delta T_d(\Delta\tau_0)$  могут несколько отличаться от прямой линии вследствие влияния переломов профиля в пределах участка пути  $\Delta S_0$  а также некоторого изменения  $K_s$  и  $K_v$  по мере удаления от точки номинального перехода на выбег. Однако эта нелинейность несущественна.

Система состоит из центрального пункта управления, путевых устройств и поездного оборудования. Передача команд с центрального пункта управления на путевые устройства производится по кабельным линиям связи, а сигналов от путевых устройств к поездному оборудованию – путем

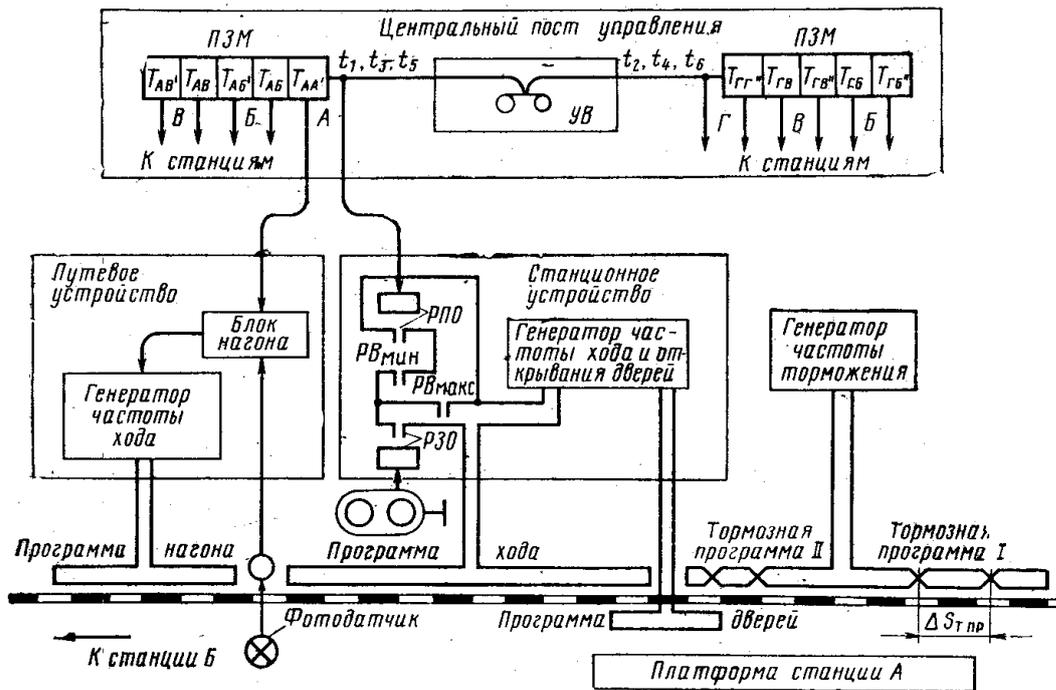


Рис. 10.23

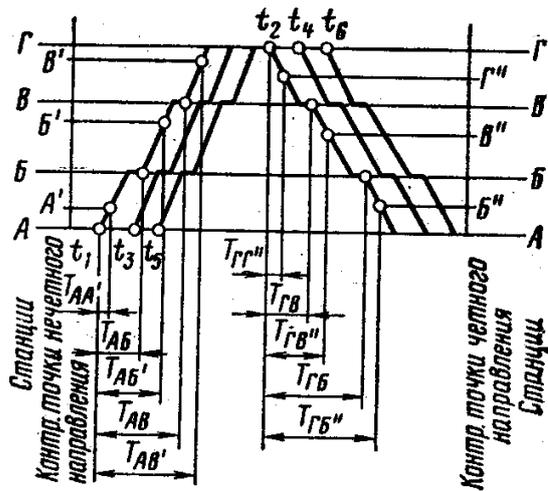


Рис. 10.24

одновременно с сигналом с центрального поста о программном времени. Программа нагона не включается и поезд, дойдя до конца программы хода, переходит на выбег.

Если поезд имеет опоздание, то сигнал фотодатчика поступает в блок нагона несколько позже сигнала с центрального поста. Блок нагона измеряет промежуток времени между этими сигналами  $\Delta t_0$ , устанавливает дополнительное время включения двигателей  $\Delta T_d$  и на это время подключает генератор частоты хода к программе нагона. Величина  $\Delta T_d$  определяется в зависимости от  $\Delta t_0$  по уравнению (10.5).

Служебное торможение осуществляется реостатным тормозом под контролем токового реле торможения. При скоростях ниже 10...15 км/ч он замещается пневматическим тормозом.

На подходе к станции включается двухступенчатая система прицельного торможения с последовательными программами.

Тормозная программа выполнена в виде одновитковой петли с многократным перекрещиванием и постоянно подключена к генератору частоты торможения. Шаг перекрещивания

$$\Delta S_{т пр} = v_3 \Delta t_3,$$

где  $v_3$  – скорость, определяемая по программной кривой рис. 10.7 для каждой точки пути;  $\Delta t_3$  – эталонное время.

При движении поезда вдоль тормозной программы в приемных катушках индуктора наводится переменная ЭДС, которая резко падает до нуля в точках перекрещивания петли. Поэтому сигналы

Сигнал отправления поезда поступает в программу хода, если включились следующие реле: РПО под действием сигнала программного отправления, поступи с ЦПУ, реле РВ\_{мин} при фактическом времени стоянки поезда на станции, превышающем установленный минимум, и

реле РЗО при разрешающем сигнале выходного светофора. В случае, когда сигнал программного отправления по каким-либо причинам не поступит, контактами реле РВ\_{макс} генератор частоты хода будет подключен к программе хода после того, как время фактической стоянки поезда превысит установленный максимум. Поездное оборудование воспримет сигнал от программы хода и поезд отправится.

В конце программы хода расположен фотодатчик, фиксирующий момент проследования поездом контрольной точки. Он состоит из фотоприемника с фоторезистором и светильника, расположенного на противоположной стороне пути. Проходя мимо контрольной точки, поезд прерывает луч света, направленный на фотоприемник, в результате чего срабатывает реле, включенное в цепь фоторезистора. Если поезд следует без опоздания, то сигнал фотодатчика о фактическом проследовании поезда через контрольную точку приходит

торможения имеют импульсный характер. Преобразователь этих сигналов сравнивает длительность импульсов, поступающих на его вход, с эталонным временем и при их равенстве выдает команду на включение первой ступени автоматического реостатного торможения. Также выдаются команды на включение второй ступени торможения.

Кроме того, эта система автоматически осуществляет подтормаживание поезда на затяжных спусках, торможение поезда перед запрещающим сигналом, открывание и закрывание дверей вагонов и станций закрытого типа и оборот поезда в тупиках конечных станций. Функции машиниста сводятся к включению системы и контролю за её работой.

**Система автоведения поездов Московского метрополитена.** Система (рис. 10.25) построена по иерархическому принципу трёхступенчатого телеуправления.

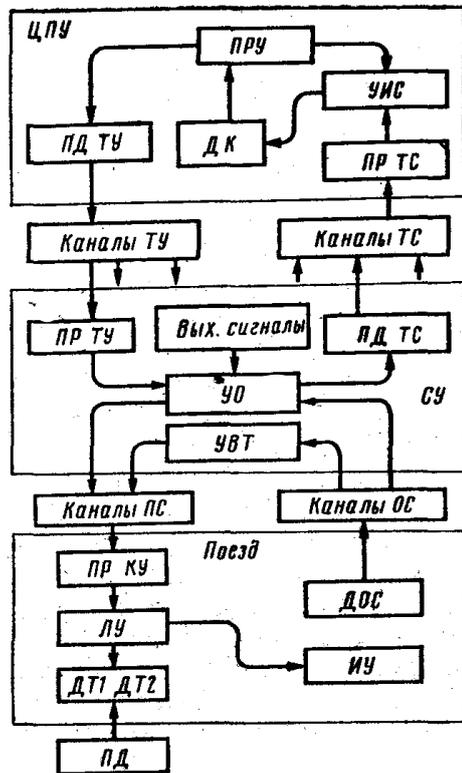


Рис. 10.25

Высшая ступень управления продвижением поездов – центральный пост управления ЦПУ, задающий программу движения поездов на линии как совокупность интервалов попутного следования, стоянок и времен хода по перегонам. Эти сигналы, вырабатываемые на ЦПУ программным устройством ПРУ, через передатчик ПД ТУ по каналам связи ТУ подаются на вторую ступень управления – в станционные устройства СУ. Каждое СУ управляет поездами одного направления движения на одном перегоне, формируя команды, подаваемые на них по каналам прямой связи ПС с помощью индуктивных датчиков прямой связи. Для этого в состав СУ входит устройство управления отправлением поездов УО и устройство выключения тяговых двигателей (тяги) УВТ. От них на поезд поступают команды отправления, выключения двигателей, открытия дверей в др.

Система управления поезда представляет собой третью ступень; она воспринимает команды с помощью приемников ПР КУ, откуда через логическое устройство ЛУ они поступают в исполнительные устройства ИУ. Помимо команд от СУ, на поезд подаются также команды от пассивных датчиков ПД и датчиков торможения ДТ1, ДТ2, т. е. напольных элементов, установленных на перегоне и выдающих постоянные сигналы. В рассматриваемой системе с помощью таких элементов выдаются сигналы торможения и сигналы, необходимые для отключения тяговых двигателей устройством отключения тяговых двигателей.

Оно представляет собой простейшее вычислительно-управляющее устройство и выдает команду на отключение тяговых двигателей при выполнении условия

$$T_{пр} - T_{дi} > T_{0i},$$

где  $T_{пр}$  – программное время хода по рассматриваемому перегону;  $T_{дi}$  – время хода от предыдущей станции до  $i$ -того путевого датчика;  $T_{0i}$  – расчетное время хода на выбеге по оставшейся части перегона, если тяговые двигатели выключить у  $i$ -того датчика.

Путевые датчики располагают так, чтобы расчетное время движения на выбеге при отключении тяговых двигателей у  $i$ -того датчика было на 1 с меньше, чем при отключении их у предыдущего ( $i - 1$ ) датчика, т. е.

$$T_{0i} = T_{0i-1} - 1 \text{ или } T_{0i} = T_{01} - (i - 1),$$

где  $i$  – количество пройденных путевых датчиков;  $T_{01}$  – расчетное время хода на выбеге при отключении тяговых двигателей у первого датчика.

Тогда

$$T_{пр} - T_{дi} \geq T_{01} - (i - 1) \text{ или } T_{пр} - T_{01} \geq T_{дi} - (i - 1)$$

Контроль за выполнением последнего неравенства осуществляет программное вычислительное устройство отключения тяговых двигателей УВТ а помощью каналов обратной связи ОС. При этом УВТ выдаёт по каналу ПС сигнал на отключение тяговых двигателей, который поступает на поезд, после прохождения через ближайший путевой индукционный датчик.

Алгоритм отключения тяговых двигателей поясняют кривые движения поездов  $t(L)$  на перегоне между станциями А и Б (рис. 10.26). Здесь Г – кривая движения для средних расчётных условий (соответствует графику движения); О – для поезда, отправленного со станции А с опозданием, а прибывшего на станцию Б в назначенное время для поезда Г тяговые двигатели должны быть включены на участке пути от станции А до точки  $L_r$ , а от этой точки и до станции Б поезд должен двигаться с

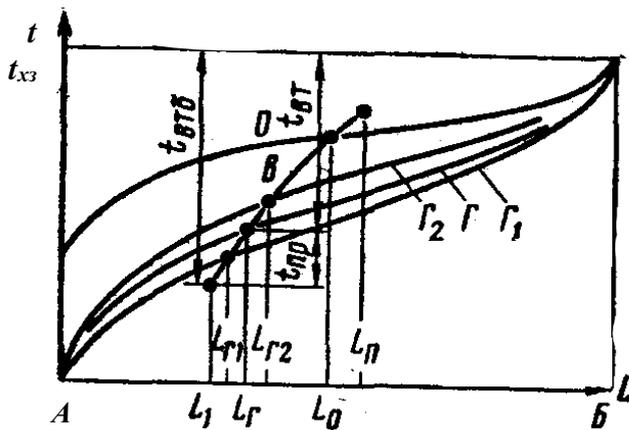


Рис. 10.26

выключаться тяговые двигатели при различных условиях. Точка  $L_1$  определена из условия минимальной допустимой скорости прибытия поезда на станцию Б, а точка  $L_p$  соответствует условиям ограничения по максимальной допустимой скорости движения или условиям рационального расхода энергии.

Время  $t_{пр}(L)$  можно определить как

$$t_{вт} = t_{втб} - t_{пр}(L). \quad (10.16)$$

Функцию  $t_{пр}(L)$  можно назвать функцией вагона и определять по графику  $B$ . Величина  $t_{втб}$  (как видно из рис. 10.26) – максимальное значение  $t_{вт}$  соответствующее точке  $L_1$ . Из выражения (10.16) получим уравнение, положенное в основу алгоритма работы УВТ

$$t - (t_{xz} - t_{втб}) - t_{пр}(L) = 0. \quad (10.17)$$

УВТ выдает команды на выключение тяговых двигателей, когда левая часть уравнения (10.17) меньше или равна нулю. Если поезд имеет ходовые характеристики более благоприятные (кривая  $\gamma_1$  на рис. 10.26), чем расчётный (кривая  $\gamma$ ), то его двигатели будут выключены при значении  $L_{\gamma_1} < L_\gamma$ . Увеличение продолжительности выбега в этом случае компенсирует ускоренный разгон поезда при включённых тяговых двигателях. При худших ходовых характеристиках поезда (кривая  $\gamma_2$ ) двигатели будут выключены позже в точке, соответствующей  $L_{\gamma_2} > L_\gamma$ , что также компенсирует отклонение ходовых характеристик поезда. Таким образом, принятый принцип построения алгоритма обладает свойством в какой-то мере автоматически компенсировать отклонения в процессе движения поездов, которые вызываются отклонениями их ходовых характеристик: различиями в нагрузке, разницей в диаметрах бандажей колесных пар и другими причинами.

В тех случаях, когда эти различия велики и их нельзя полностью компенсировать таким путем (например, для поездов из вагонов различных серий), соответствующие коррективы вводят в процессе работы УВТ. Для этого предусматривается подача в УВТ сигналов специальными датчиками ДПВ, информирующими о серии вагонов поезда.

Рабочую информацию о выполнении функции  $t_{пр}(L)$  можно получить, если в промежутке между точками  $L_1$  и  $L_p$  установить напольные датчики (ДВ-ДОС) в такой последовательности, чтобы для любой точки пути количество их от точки  $L_1$  было пропорционально  $t_{пр}$  для этой точки. Сигналы этих датчиков позволяют корректировать время хода поездов на перегонах.

Программы торможения поездов на станциях – трёхступенчатые, обеспечивающие разомкнутую систему прицельного торможения. Для них использованы пассивные путевые датчики, представляющие собой пакеты шихтованной стали. При проходе над таким датчиком катушки поездного индуктора резко возрастает ее индуктивное сопротивление и снижается ток в цепи катушки. Возникающие при этом в приемных устройствах поезда сигналы имеют импульсный характер.

Команда начала ступени торможения выдается, когда продолжительность импульса соответствует эталонному времени.

Станционные устройства связаны с ЦПУ цепью обратной связи, в которую входят передатчик, каналы и приемники ТС, устройства исполнительных сигналов УИС и диспетчерского контроля ДК.

**Автономные системы автоведения и системы автоведения для электровозов и электропоездов.** Централизованные системы автоведения поездов позволяют в полной мере решать задачу автоматического управления совокупностью поездов на участке. Для осуществления таких систем, работающих по принципу телеуправления, требуется большое число каналов связи. Экономически оправдано применение централизованных систем лишь при значительном числе однотипных поездов на участке. Иногда, особенно при небольших объёмах движения, более выгодно использовать системы автономного автоведения поездов. Применять автономные системы целесообразно и в условиях скоростного движения поездов.

Повышение скоростей движения и усложнение оборудования требует освобождения машиниста от всё большего числа операций управления и передавать их автоматическим системам. При этом управление

выключенными двигателями. Для поезда О тяговые двигатели необходимо выключать на большем расстоянии от станции А в точке  $L_0$ . На основе расчётов для каждого перегона и опытной проверки, учитывая различные вероятностные условия движения поездов, можно получить зависимость  $t_{вт}(L)$  представленную в виде кривой  $B$ . Она определяет необходимые точки выключения тяговых двигателей при условии, что рассмотренные поезда придут на станцию Б вовремя. Здесь величина  $t_{вт}$ , равна разности между  $t_{xz}$  и ординатами кривой  $B$ .

Точки  $L_1$  и  $L_p$  соответствуют границам участка, на котором должны

тяговыми процессами ЭПС обычно сводится к регулированию скорости движения. Автоматическая система выполняет все операции переключений в цепях управления ЭПС при пуске, торможений или для поддержания скорости на заданном уровне. Наиболее совершенные из подобных систем – системы «автомашинист» – выполняют сложные функции управления. Они обеспечивают соблюдение графика движения, осуществление целевого (прицельного) торможения, воздействие на процессы движения по сигналам АЛС (об изменении скорости). В ряде случаев на эти системы возлагают также функции автоматической оптимизации режимов работы локомотивов по каким-то определённым показателям, например, по минимальному расходу энергии на тягу.

В состав системы управления высокоскоростного ЭПС (рис. 10.27а) входят элементы, обеспечивающие подчиненное регулирование скорости  $v$ . Это регулятор тока  $PT$  и регулятор скорости  $PC$  с датчиком тока  $ЗТ$ , определяющим задаваемый ток  $I_3$  в зависимости от рассогласования по скорости  $\Delta v$ . Рассогласование определяется как разница заданной  $v_3$  и фактической  $v$  скоростей:  $\Delta v = v_3 - v$ . Значение  $v_3$  устанавливается как наименьшее из трех возможных:  $v_{3,км}$ ,  $v_{3,0}$  и  $v_{3,цт}$  (рис. 10.27б). Здесь  $v_{3,км}$  – предельное значение (ограничение) скорости, задаваемое машинистом с помощью контроллера управления КМ;  $v_{3,0}$  – ограничение скорости, задаваемое блоком ограничений скорости, реализующим постоянные ограничения, заранее заложенные в него, а также ограничения, вызываемые показаниями АЛС;  $v_{3,цт}$  – переменное ограничение скорости, задаваемое блоком целевого торможения автомашиниста. Этот блок вырабатывает зависимость скорости поезда от тормозного пути, обеспечивающего остановку поезда в заданном месте – у платформы или перед сигналом.

Блоки ограничений скорости и целевого торможения работают по сигналам счетчика пройденного пути, который непрерывно вычисляет путь, пройденный поездом, производя интегрирование сигналов скорости, поступающих от датчика скорости ДС. В автомашинисте имеется также блок перехода на выбег, который в соответствии со временем хода по перегону, заданным программой движения,

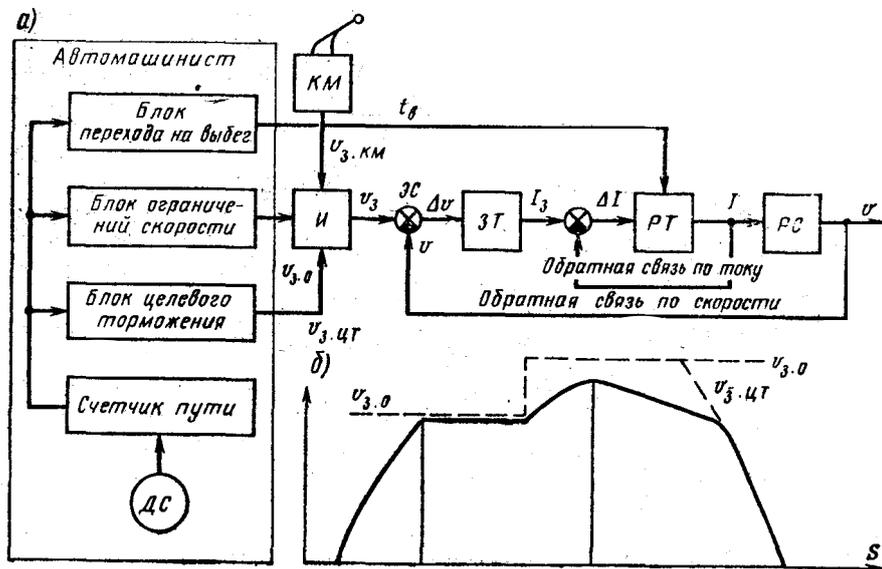


Рис. 10.27

определяет необходимые моменты отключения тяговых двигателей, например, перед остановками или перед элементами пути, на которых ограничена скорость движения поездов.

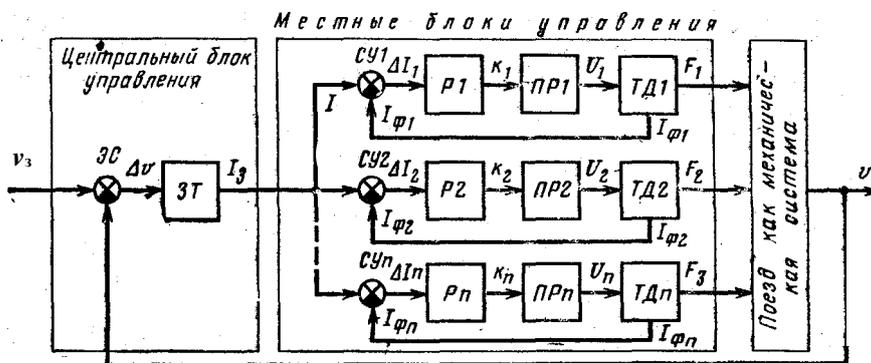


Рис. 10.28

Независимо от отмеченных ограничений скорости, задаваемых автомашинистом, машинист может по своему усмотрению снижать скорость поезда с помощью контроллера КМ. Этим удовлетворяются основные требования обеспечения безопасности движения, так как машинист может реагировать на любые

непредвиденные ситуации, которые могут возникнуть при движении поезда, не вызывая реакции автомашиниста.

В рассмотренную комплексную систему может входить двухконтурная система регулирования режимов работы тяговых двигателей (рис. 10.28). Ее внешний контур (центральный блок управления) имеет

один канал, по которому передаются сигналы  $v$ ,  $\Delta v$ ,  $I_3$  – общие для всех групп тяговых двигателей. Внутренний контур разделён на столько одинаковых параллельных каналов, сколько имеется групп тяговых двигателей  $ТД1...ТДn$ .

Кроме тяговых двигателей, в каждый канал входят: исполнительные элементы в виде преобразовательных устройств  $ПР1...ПРn$ , блоки управления ими  $Р1...Pn$ , выполняющие функции элементов управления, элементы сравнения  $СУ1...СУn$ , выявляющие рассогласование по току в каждом канале  $\Delta I_1 ... \Delta I_n$ . Общий задающий сигнал  $\Delta I$  для всех каналов и отдельное регулирование по каждому каналу обеспечивают равномерное распределение нагрузки между группами тяговых двигателей.

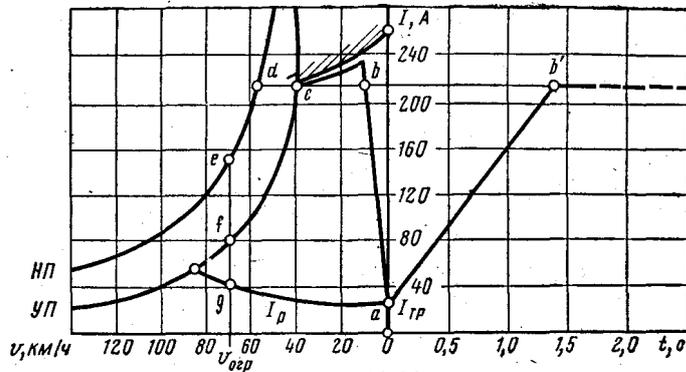


Рис. 10.29

Пока не достигнуто ограничение по скорости  $v_{огр}$  происходит разгон поезда, диаграмма которого приведена на рис. 10.29. Участок  $0a$  соответствует включению тяговых двигателей при токе  $I_{тр}$ , обеспечивающем трогание поезда с места;  $ab$  – постепенному нарастанию тока до предельного значения с интенсивностью, соответствующей интенсивности нарастания ускорения в пределах не выше  $0,5...0,6 \text{ м/с}^3$ ;  $bc$  – стабилизации пускового тока до момента выхода на естественную характеристику полного поля; эта стабилизация может быть заменена программным регулированием,

обеспечивающим изменение пускового тока в соответствии с его ограничением по условиям сцепления;  $cd$  – стабилизации пускового тока регулированием возбуждения, которая может быть заменена программным регулированием тока, обеспечивающим постоянство силы тяги;  $de$  – разгону по естественной характеристике при наибольшем ослаблении возбуждения до заданного ограничения по скорости;  $efd$  – снижению тока сначала путем усиления возбуждения, затем снижением напряжения двигателей до тех пор, пока сила тяги не сравняется с сопротивлением движению поезда и не установится постоянная скорость  $v_{огр}$ .

Рассмотренные системы автоведения с автономным управлением свойственны большинству скоростных локомотивов: электровозов и электропоездов. В частности, подобные системы применены на скоростном электровозе постоянного тока ЧС200 и скоростном электропоезде ЭР200.

На электровозе ЧС200 в качестве исполнительных элементов использован реостатный контроллер, осуществляющий также переключение группировок тяговых двигателей, и импульсный преобразователь для плавного регулирования возбуждения. Эти элементы используют как в режиме тяги, так и при реостатном торможении. Подобные исполнительные элементы применены и на электропоезде ЭР200, но импульсные преобразователи здесь использованы не только для плавного регулирования возбуждения, но и для плавного межступенчатого регулирования сопротивления пускового реостата. Практически для стабилизации скорости используют только зону ходового регулирования, т.е. регулирование возбуждения путём его ослабления. При этом пусковые реостаты полностью выведены. При нескольких группировках тяговых двигателей и глубоком ослаблении возбуждения эта зона охватывает почти весь используемый диапазон скоростей, свойственных скоростному движению.

Функциональная схема системы автоведения электровоза ЧС200 (рис. 10.30) представляет собой разновидность систем описанных ранее.

Машинист воздействует на систему, прежде всего задавая ограничение скорости  $v_p$  с помощью набора кнопок  $Kn$ , выполняющих роль кнопочного контроллера управления. Переключатель  $П$  позволяет машинисту задавать предельные значения пускового и тормозного тока. Функции системы «автомашинист» выполняет комплект блоков  $Б1...Б4$ . Блок  $Б1$  осуществляет вычисление отклонения от заданного времени хода; блок  $Б2$  хранит заданный график движения и заданные ограничения скоростей. Блок  $Б4$  управляет целевым торможением в соответствии с сигналами, поступающими через приемные катушки  $КПр$  на дешифратор  $Дш$  АЛС, а также с сигналами бесконтактных точечных (путевых) датчиков  $ДП2...ДП4$ . Последние подают сигналы в характерных точках пути, соответствующих остановочным пунктам, началу участков с ограничениями скорости, и служат точками корректировки пройденного пути. Такая корректировка необходима потому, что основная информация о пройденном пути вырабатывается в систем автоведения в результате интегрирования сигналов скорости  $v_s$ , поступающих от скоростемера  $Ск$ . При этом всегда могут возникать некоторые накапливающиеся неточности, например, в результате даже незначительной пробуксовки колесных пар. Поступление в систему сигналов от датчиков  $ДП$  позволяет корректировать необходимую информацию именно в те моменты, когда требуются точные данные о месте расположения поезда. Приблизительно такое же значение для работы блока  $Б4$  имеют сигналы, поступающие от дешифратора АЛС, которые также дублируются индикатором  $Инд$ .

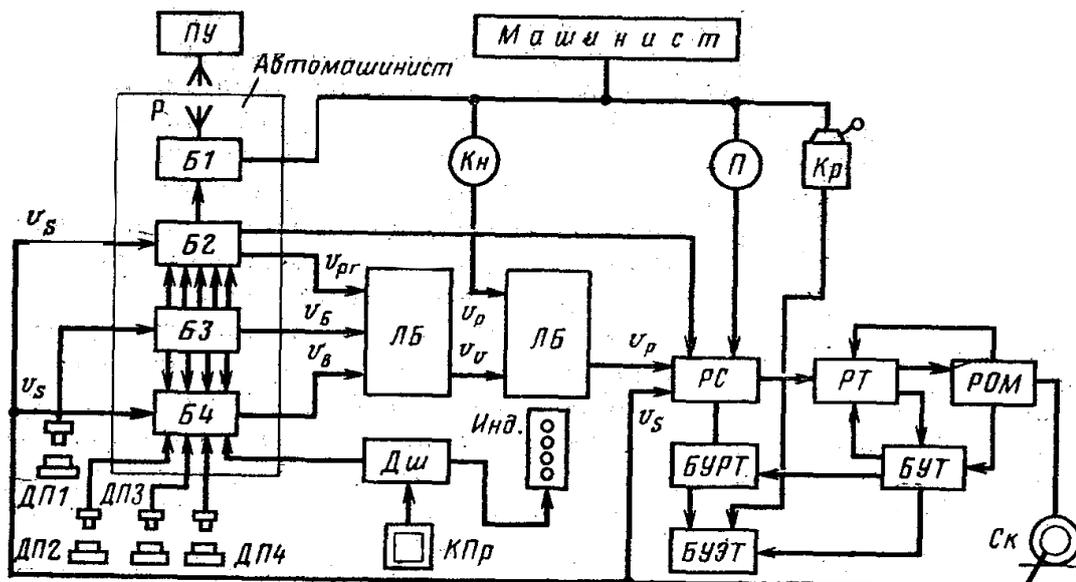


Рис. 10.30

Блок *Б3* осуществляет считывание сигналов блоков *Б2* и *Б4* и выдаёт сигналы ограничения скорости  $v_6$  на логический блок *ЛБ*. Здесь этот сигнал сравнивается с аналогичными сигналами  $v_{pr}$  и  $v_b$ , поступающими непосредственно от блоков *Б2* и *Б4* и из них выбирается сигнал, соответствующий наименьшему значению скорости  $v_n$ . В логическом элементе *ЛБ* ограничение скорости может быть откорректировано непосредственно машинистом. Блок *ЛБ* представляет собой комплект логических элементов *И*, выбирающих после минимальное значение заданной скорости из нескольких значений поступающих от различных блоков.

В блок *Б1* поступают в качестве сигналов, корректирующих место нахождения поезда, сигналы точечных путевых датчиков *ДП1*, расположенных на границе станций. Эти сигналы корректируют момент запуска считывающего устройства блока *Б3* в начале каждого перегона.

На регулятор скорости *РС* поступают сигналы блока *ЛБ*, задающие ограничения скорости, а также от блока *Б2* сигналы начала выбега (отключения тяговых двигателей). В свою очередь блок *РС* выдает задающие сигналы на регулятор тока *РТ*, а также на блоки управления реостатным тормозом *БУРТ* и электропневматическим *БУЭТ*.

Система автоматического управления тормозами предусматривает обеспечение правильной последовательности применения обоих видов тормозов с учетом ограничения мощности реостатного тормоза. Блок управления тормозами *БУТ* осуществляет их необходимое замещение в зависимости от сигналов, подаваемых в него регулятором *РТ* и регулятором ограничения мощности *РОМ*. Такая система позволяет исключить перегрузку тяговых двигателей при работе их в режиме электрического торможения без ущерба для процесса торможения. Кроме того, по условиям обеспечения безопасности движения, машинист может непосредственно управлять электропневматическим тормозом с помощью крана машиниста *Кр*.

С помощью разъёмного соединения *Р* система автоведения подключена к контрольному пульту на посту управления *ПУ*, что позволяет машинисту контролировать работу системы «автомашинист», а также вносить некоторую начальную информацию для корректирования работы системы (например, данные о массе поезда).

Рассмотренные автономные системы получают распространение в первую очередь на электропоездах и пассажирских электровозах, где наиболее благоприятны условия для их внедрения вследствие относительной стабильности режимов работы таких локомотивов – небольших колебаний массы поезда, сопротивления движению и пр. Это также относится и к некоторым видам локомотивов промышленного транспорта.

Вместе с тем на современных электровозах все более широко применяется автоматическое регулирование отдельных процессов, особенно на электровозах, имеющих сложные преобразовательные установки: например, на электровозах с бесколлекторными тяговыми двигателями, с импульсными преобразователями и т.д. Без систем автоматического регулирования создание ряда наиболее перспективных электровозов вообще невозможно. Однако для грузовой электровозной тяги еще нет достаточно отработанных и установившихся систем автоведения.

Широкое внедрение систем автоматического регулирования создаёт предпосылки для разработки на их базе систем автоведения. Наиболее существенное значение в этом случае имеет переход от систем автоматической стабилизации к системам программного регулирования.

По своим задачам и методам программное регулирование наиболее близко к автоматическому управлению. В этом случае для создания автономной системы автоведения может оказаться достаточным лишь сопряжение отдельных систем автоматического программного регулирования, т.е. объединение их в общую систему в качестве подсистем с согласованными управляющими воздействиями. Такие условия практически имеются на электровозах бесколлекторными тяговыми двигателями, с независимым функциональным возбуждением тяговых двигателей и др. для получения наиболее рациональных характеристик здесь неизбежно применяется программное регулирование, а автоматизация сложных преобразовательных установок требует сопряжения отдельных систем регулирования. Это хорошо видно на примере электровозов 8Л80<sup>Г</sup>, ВЛ80<sup>Р</sup>, опытных образцов электровозов с асинхронными и вентильными двигателями.

В еще большей степени, чем для электропоездов и пассажирских электровозов, в грузовом движении наибольший эффект дают не автономные системы автоматического управления, а централизованные, обеспечивающие автоматизацию управления целыми участками, узлами.