

Лекция 2.

1. Принципы управления. Уровни автоматизации технических объектов и электро-движного состава (ЭПС).
2. Классификация систем автоматического управления (САУ).
3. Классификация систем автоматического регулирования (САР) ЭПС.
4. Управление движением поезда при различных уровнях автоматизации.
5. Особенности условий автоматического регулирования и управления ЭПС.
6. Технико-экономическая эффективность автоматизации процесса управления ЭПС.

1 Управление – это целенаправленное воздействие на объект, ведущее к достижению поставленной цели, т.е. к созданию определённого состояния объекта или обеспечению определенных технико-экономических показателей объекта.

Любой процесс управления состоит из следующих операций:

- 1) получение начальной информации о цели управления;
- 2) сбор рабочей информации о состоянии объекта управления и о внешних воздействиях (возмущениях);
- 3) обработка начальной и рабочей информации, принятие решения о необходимых воздействиях на управляемый объект;
- 4) исполнение принятого решения (воздействие на управляемый объект).

Перечисленные операции характерны для всех видов управления (неавтоматического и автоматического) самыми различными процессами (технологическими, биологическими, экономическими, экологическими, социальными).

Первые операции – это логические и вычислительные действия; при неавтоматическом управлении они требуют затрат умственного труда. Их называют кибернетическими, или распорядительными.

Последняя операция управления требует затрат энергии (при ручном управлении — затрат физического труда) и называется энергетической, или исполнительской.

В автоматических системах все четыре операции управления выполняются без участия человека.

В зависимости от степени автоматизации системы управления техническими объектами относятся к одному из трёх видов: неавтоматическому, автоматизированному и автоматическому.

Неавтоматическое управление, например, электровозом сводится к тому, что машинист оценивает пройденный путь, затраченное время и достигнутую скорость (рабочая информация об объекте), сопоставляет это с длиной перегона, допустимыми скоростями и заданным временем прибытия на станцию (начальная информация), учитывает уровень напряжения контактной сети (рабочая информация о возмущениях) и принимает решение об изменении режима работы тяговых двигателей.

Распорядительные операции машиниста, связанные с приемом, анализом информации и принятием решений (сплошные стрелки на рис. 5.1), достаточно сложны. Они требуют от машиниста большого объема профессиональных знаний, навыков, внимания и быстроты реакции. Исполнительские операции машиниста (штриховые стрелки) сводятся к воздействиям на контроллер, тормозной кран и кнопочные выключатели. Эти операции достаточно просты и не требуют заметного физического труда, но при частом повторении отвлекают внимание машиниста и затрудняют выполнение распорядительных операций.

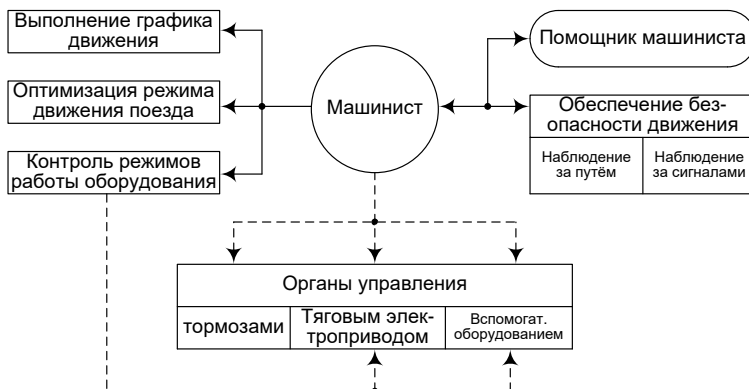


Рис. 5.1

распорядительные операции частично выполняются на основе затрат умственного труда человека.

отвлекают внимание машиниста и затрудняют выполнение распорядительных операций.

Неприменным атрибутом автоматизированного и автоматического управления является **автоматическое регулирование** режима работы какого-либо объекта системы управления при котором обеспечивается изменение регулируемой величины по заданному закону при помощи автоматического регулятора, последовательность действий которого определяется человеком. Таким образом, на этом уровне автоматизации

Автоматический регулятор подключается к объекту регулирования (ОР), связывая выход последнего (регулируемую величину) с его входом (регулирующей величиной). Таким образом, при автоматическом регулировании реализуется *замкнутая система*, т. е. система с обратной связью.

Первый в истории техники автоматический регулятор был изобретён русским механиком И. И. Ползуновым в 1765 г. Он был предназначен для регулирования уровня воды в котле его паровой машины. Широкое распространение получил центробежный автоматический регулятор, изобретенный английским механиком Дж. Уаттом в 1784 г. Пионером автоматического регулирования в электротехнике стал В. Н. Чиколев, создавший в 1869 г. автоматический регулятор для электродуговых ламп. Основателем теории автоматического регулирования является профессор Петербургского технологического института И. А. Вышнеградский, который в 1877 г. изложил основы теории регулирования паровых машин. Важную роль в развитии научных основ автоматики сыграли великие русские математики А. М. Ляпунов и П. Л. Чебышев, знаменитый ученый и инженер Н. Е. Жуковский.

На ЭПС системы автоматического регулирования (САР) традиционно применяют для управления работой вспомогательных машин (мотор-компрессора, генератора управления).

Новую область применения САР открыло использование тиристорных преобразователей на э. п. с. Первые отечественные САР появились на электровозах ВЛ80Т (впоследствии ВЛ80^с) и электропоездах ЭР22, ЭР29, ЭР2Т для автоматизации процесса торможения. Для электро ввозов однофазно-постоянного тока ВЛ80^р с рекуперативным торможением разработана САР угла запаса выпрямительно-инверторного преобразователя. Позднее были созданы САР для рекуперативного торможения электровозов постоянного тока ВЛ11.

Дальнейшим развитием автоматики ЭПС явилась САР тока и скорости движения электровоза, в которой машинист с помощью рукояток контроллера задает режим работы (тяга или рекуперация), а также значения тока и скорости движения. Эта система получила широкое распространение на локомотивах западноевропейских железных дорог, а также применяется на отечественных электровозах ВЛ85, ВЛ15.

Наиболее высокий уровень автоматизации – автоматическое управление применяют для управления разнородными САР, составляющими единую технологическую систему. В соответствии с этим под объектом управления (ОУ) понимают совокупность технических средств обеспечивающих выполнение заданных функций. Операция регулирования является частным случаем операции управления. Под объектом управления понимают технический объект, требуемый режим работы которого определяется управляющими и возмущающими воз действиями. На ЭПС объектом управления является поезд.

Системы автоматического управления ЭПС (САУ ЭПС) предназначены для автоматизации ведения поезда, включая пуск и разгон, выбор режима ведения на перегонах, торможение у платформ, с целью повышения точности выполнения графика движения. САУ ЭПС называют системами автоведения. Так как заданное время хода по перегону может быть обеспечено различными способами, перед САУ ставится задача выбора и реализации режимов управления, обеспечивающих минимальный расход энергии. САУ ЭПС являются составной частью комплексной автоматизированной системы управления движением поездов и взаимосвязаны с системами обеспечения безопасности движения и системами тягово-тормозной автоматики. Степень развития систем обеспечения безопасности и локомотивной автоматики влияет на алгоритм функционирования и сложность САУ ЭПС Точное выполнение графика движения позволяет улучшить использование пропускной способности и увеличить провозную способность железных дорог, реализовать заданное оптимальное по критерию расхода энергии распределение участкового времени хода по перегонам.

В комплексных системах автоматического управления обмен информации между движущимися локомотивами и стационарными наземными устройствами осуществляется методами телемеханики. При этом вся необходимая информация кодируется и передается по линии связи. В качестве таких линий могут быть использованы рельсовые цепи, радиосвязь, проводные линии, световоды, контактная сеть.

Приоритет в разработке САУ ЭПС принадлежит нашей стране. Первая система автоведения для пригородного поезда была разработана в научно-исследовательском институте управляющих и вычислительных машин (НИИ УВМ) в 1957 г. В дальнейшем были созданы автономные системы автоведения пассажирских поездов с электрической тягой (МИИТ), пригородных электропоездов (ВНИИЖТ), грузовых поездов с тепловозной тягой (ЛИИЖТ). В начале 80-х годов начаты разработки автономных микропроцессорных систем автоведения пассажирских поездов (МИИТ), электропоездов (ВНИИЖТ), опытная эксплуатация которых показала перспективность их внедрения на сети железных дорог.

Непрерывный рост объема пассажирских перевозок сделал актуальным создание системы автоматического управления движением поездов метрополитенов. Первая в СССР автономная система автоведения; разработанная в НИИ УВМ, испытана на Московском метрополитене в 1961 г.

Развитие микропроцессорных технических средств, повышение надежности и экономичности вычислительных комплексов сделали актуальным разработку нового поколения централизованных систем автоведения для метрополитенов. Эти работы начались в СССР в 1981 г. Отличительными чертами разрабатываемой системы автоведения являются использование типовых средств вычислительной техники и микропроцессорных систем на всех уровнях управления; более совершенные алгоритмы управления, за счет чего повышается точность выполнения графика движения и уменьшается расход энергии; расширение

функциональных возможностей систем с целью обеспечения автоматизированного диспетчерского управления линиями метрополитена; органическое объединение системы автоведения с другими подсистемами АСУ-метро.

Микропроцессорные системы управления нашли широкое применение за рубежом для управления скоростными поездами (Япония, Франция), поездами метрополитена (США, Япония, Франция), а так же электровозами (ФРГ, Франция). В частности, для скоростных электропоездов железных дорог Японии разработана система АТОМІС; на метрополитене города Лилля (Франция) используется управление движением поездов без локомотивных бригад.

Снижение умственной нагрузки при автоматизации управления не приводит к адекватному снижению усталости. Это объясняется такими психологическими последствиями автоматизации, как:

- обеднение содержания труда, отсутствие элементов творчества и мышечной нагрузки;
- увеличение монотонности труда. длительное пассивное наблюдение за приборами затрудняет быстрый переход к активным действиям при возникновении особой ситуации. Монотонность умственного труда приводит к большему утомлению, чем монотонность физического труда, где быстро вырабатывается автоматизм действий;

- уединённый характер работы. Отсутствие общения с людьми в сочетании с профессиональным психофизиологическим напряжением ускоряет процесс утомления. Этому способствуют шум и нерациональное устройство рабочего места.

Для того чтобы автоматизация управления ЭПС не приводила к повышенному утомлению, необходимо распределить функции между машинистом и системой автоведения так, чтобы часто повторяющиеся и легко формализуемые задачи выполнялись автоматически, а редкие и трудно формализуемые решал машинист. Через 3...4 ч работы машиниста без помощника необходимо предусматривать перерыв с выполнением физических упражнений.

2

Рассмотрим классификацию систем автоматического управления (САУ) по некоторым основным признакам (рис. 5.2).

Один из важнейших признаков – однородность управляемых объектов в системе. Если в САУ можно включить объект лишь одного вида (например, локомотив), то такую систему называют **индивидуальной** (автономной), а для транспортных объектов – бортовой. Системы **сопряжённого управления** применяют для совместного управления разнородными объектами, например, для управления движением локомотивов и работой железнодорожных станций по приему и отправлению поездов.

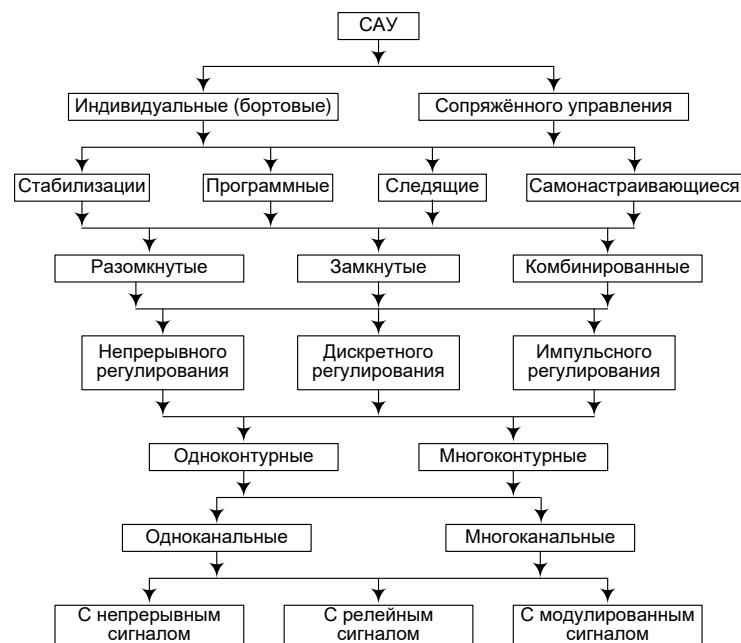


Рис. 5.2

содержат программируемый элемент.

Особую область применения имеют **следящие системы**, которые обеспечивают исключение (нейтрализацию) какого-либо случайного воздействия на процесс, протекающий в системе. На ЭПС они применяются, например, в системах задания или указания номера позиции группового переключателя.

Более совершенны **самонастраивающиеся**, или адаптивные системы, способные автоматически приспосабливаться к условиям работы и осуществлять автоматическую оптимизацию процессов.

Назначение систем автоматики может быть различным.

Системы автоматической стабилизации предназначены для поддержания какого-то регулируемого показателя на постоянном уровне $y_1(t)=const$ т.е.должны компенсировать воздействие возмущений на регулируемую систему. Функциональные схемы систем стабилизации полностью соответствуют функциональной схеме замкнутой САУ, реализующей принцип регулирования по отклонению (см. рис. 2.4).

Более сложными являются **системы программного управления**, которые обеспечивают изменение регулируемой величины по заранее заданной программе в зависимости от времени t , пройденного пути l и т.п.; их функциональные схемы обязательно

В зависимости от принципа действия различают системы автоматики, работающие по разомкнутому, замкнутому или комбинированному циклу. Наибольшее распространение получили две последние разновидности автоматических систем.

По способу воздействия на объект регулирования системы автоматики подразделяют на три группы. К первой относят системы **плавного** (непрерывного) регулирования. При этом регулирующее воздействие изменяется во времени плавно и непрерывно (рис. 5.3а).

Возможно также периодическое воздействие САР на объект регулирования, при котором возникают отклонения от зависимости $\mu_{cp}(t)$. При таком – **ступенчатом** регулировании (рис. 5.3б) предполагается, что за достаточно большой промежуток времени T среднее значение $\mu_{cp}(t) = \mu_a(t)$ и отклонения $\Delta(t)$ от регулируемого показателя $\mu_{cp}(t)$ взаимно компенсируются, т. е. $\int_0^T \Delta(t) dt = 0$.

Все более широко применяют **импульсное** регулирование, при котором управляющее воздействие изменяется чередующимися импульсами и паузами (рис. 5.3в), а его мгновенные значения $\mu(t)$ изменяются прерывисто в пределах $0 \leq \mu(t) \leq \mu_6$, (здесь μ_6 – наибольшее значение управляющего воздействия).

Соответственно $\mu(t) \approx \mu_{cp}(t) = \mu_6 \tau / t_n$.

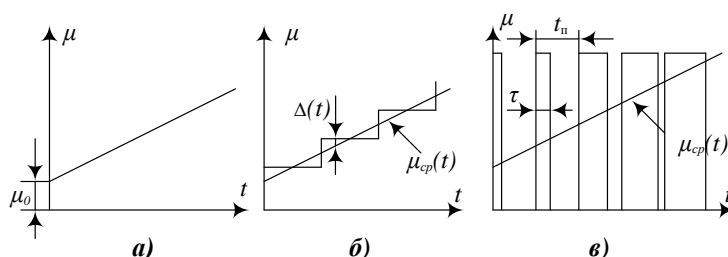


Рис. 5.3

Рис. 5.3в поясняет лишь один из способов такого регулирования, а именно, широтно-импульсный (см. курс. «Электронные импульсные системы управления электрическим транспортом»).

В зависимости от количества контуров регулирования рассмотренные САР могут быть одно- и многоконтурными. **Одноконтурные** САР имеют один контур

регулирования одной регулируемой величины (рис. 5.4а), а **многоконтурные** – несколько контуров регулирования соответствующих регулируемых величин. Например, система регулирования с двумя

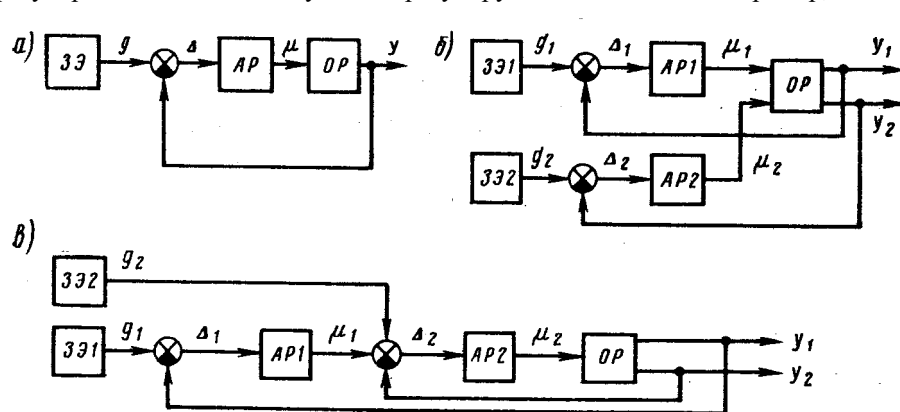


Рис. 5.4

независимыми контурами (рис. 5.4б) на ЭПС может выполнять регулирование токов якоря и возбуждения тягового двигателя независимого возбуждения (объект регулирования ОР). В таких САР реализуют селективную (избирательную) связь между контурами, которая устанавливает очередность их работы. Многоконтурная САР может иметь

подчиненные контуры (рис. 5.4в), например, внешний основной, а внутренний – вспомогательный. По такой схеме выполняют САР ЭПС с тяговыми двигателями последовательного возбуждения, у которых внешний контур регулирует скорость, а внутренний – ток якоря. При большом количестве контуров применяют, помимо рассмотренных, системы, включающие как независимые, так и подчиненные контуры регулирования.

И наконец, в зависимости от количества каналов регулирования САР подразделяют на **одно-** и **многоканальные**. При этом под каналом регулирования понимают цепь воздействия на один объект регулирования.

При наличии нескольких цепей воздействия и (или) нескольких объектов САР будет многоканальной. На ЭПС всегда имеется несколько тяговых двигателей и на каждый из них можно воздействовать, изменяя напряжение на зажимах двигателя и пусковое сопротивление R или ток возбуждения i_v . Поэтому САР ЭПС всегда являются многоканальными.

Распорядительные сигналы систем управления имеют малую мощность и легко искажаются различными возмущениями – помехами. Характер вводимой рабочей информации в значительной степени определяет помехоустойчивость системы, т. е. ее неподверженность воздействию помех (особенно электромагнитных). Поэтому существенное значение имеет подразделение систем по характеру вводимой

информации. По этому признаку различают системы с *непрерывным* вводом сигналов рабочей информации (рис. 5.5а), *релейные* системы и системы с *модуляцией сигналов*.

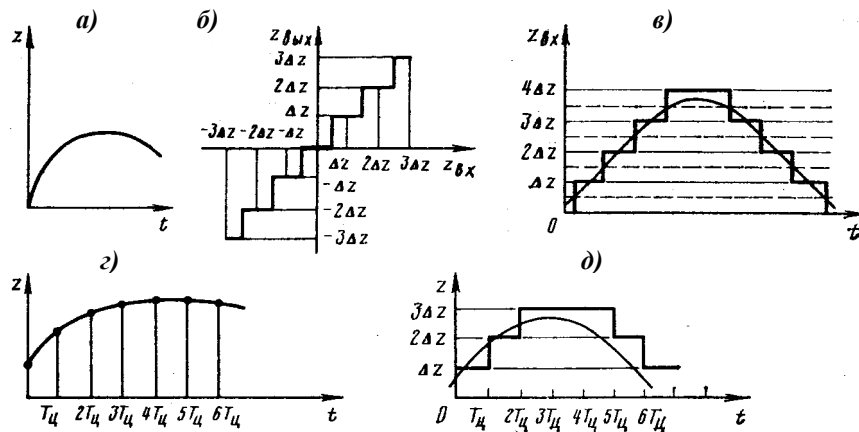


Рис. 5.5

Релейный сигнал отличается тем, что имеет два уровня, соответствующих двум значениям вводимой информации. Модуляцией называют наложение информационного сигнала на сигнал-переносчик. Информационный сигнал называют модулирующей функцией. При гармоническом переносчике результирующий сигнал будет непрерывный. Если переносчиком является

последовательность импульсов, различают амплитудно-, частотно- и фазоимпульсную модуляции. При этом информационный сигнал изменяет соответственно амплитуду, частоту, длительность или положение импульса относительно тактовых отметок.

В цифровых системах управления аналоговый информационный сигнал преобразуется в цифровую форму. Технические средства, реализующие это преобразование, называют аналого-цифровым преобразователем (АЦП). По иной терминологии АЦП реализует кодово-импульсную модуляцию сигнала. При этом выполняются квантование информационного сигнала и его временная дискретизация.

Преобразование аналогового (непрерывного) сигнала, имеющего бесконечное множество значений, в сигнал с конечным множеством значений называют квантованием по уровню. Очевидно, что операция квантования связана с округлением непрерывной величины. Идеальная операция квантования описывается статической характеристикой нелинейного элемента (НЭ) (рис. 5.5б), на вход которого подается аналоговый сигнал, а на выходе получается квантованный сигнал (рис. 5.5в).

Процесс преобразования аналогового сигнала нелинейным элементом показан на рис. 5.5в. Очевидно, что операция квантования в соответствии с приведенным определением нелинейна.

Преобразование сигнала, описываемого функцией непрерывного аргумента (времени), в сигнал, представляемый функцией дискретного аргумента, называют временной дискретизацией (рис. 5.5а). Результат дискретизации представляется как $z_{дк}[nT_{ц}]$, где $n = 0, 1, 2, \dots$; $T_{ц}$ – шаг временной дискретизации.

В цифровых системах управления квантование по уровню и времени дискретизация осуществляются аналого-цифровым преобразователем одновременно (точки на рис. 5.5д).

С целью получения сигнала на выходе цифро-аналогового преобразователя (ЦАП), определенного во все моменты времени, необходимо функцию дискретного аргумента $z_{дк}[nT_{ц}]$ преобразовать в функцию непрерывного аргумента, т.е. тем или иным способом выполнить аппроксимацию $z_{дк}[nT_{ц}]$. Эту процедуру называют восстановлением.

Классификацию систем автоведения как частный случай систем автоматического управления удобно проводить по следующим признакам, отражающим как принцип построения системы автоматического управления поездами, так и ее функциональные возможности: **уровень централизации, тип поездов**.

По уровню централизации САУ ЭПС делятся на **централизованные** и **автономные**. Централизованные САУ ЭПС получают информацию о параметрах движения всех поездов линии (для метрополитена) или направления (для магистральных железных дорог) и управляют каждым поездом в соответствии с полученной информацией и плановым графиком движения. Централизованные САУ ЭПС, как правило, имеют иерархическую структуру. Распределение функций управления между уровнями иерархии может быть различным в зависимости от используемых технических средств и экономических показателей. Автономные САУ ЭПС, называемые также автомашинистами, осуществляют управление в соответствии с заданной программой движения только одним поездом.

В централизованных системах автоведения взаимодействие поездов определяется алгоритмом работы центрального поста управления, возмущающими воздействиями, вызывающими отклонение поездов от заданной программы движения, системами интервального управления, обеспечивающими безопасность движения поездов. В автономных системах автоведения влияние поездов друг на друга определяется системой интервального управления. Компенсируются возмущения системой автоматического управления каждого отдельного поезда без учета расположения остальных поездов на линии в соответствии с законом управления, наличием ресурса, а также ограничениями, накладываемыми системами обеспечения безопасности движения.

Централизованная система обладает большими возможностями, так как наличие информации о положении всех поездов на линии позволяет более гибко компенсировать имеющиеся возмущения.

3

Электроподвижной состав представляет собой сложную систему, состоящую из нескольких подсистем. Автоматическое регулирование режимов их работы – обязательная основа для автоматического управления ЭПС на достаточно высоком уровне. Классификация САР (существующих и перспективных) представлена на рис. 5.6. По мере совершенствования ЭПС возможно появление и других САР.

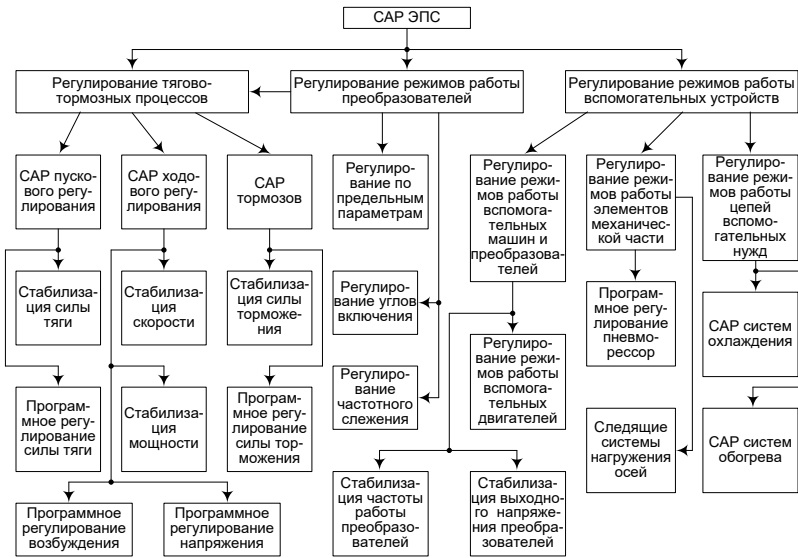


Рис. 5.6

Для ЭПС можно рассматривать два вида регулирования: пусковое (тормозное), а также регулирование режимов работы вне пуска и торможения, которое можно назвать ходовым. Такое подразделение условно, но оно позволяет достаточно полно и правильно оценить регулировочные свойства локомотивов различных типов.

Ходовое регулирование относится к тяговым процессам; не ограниченным по продолжительности. Поэтому необходимо, чтобы оно проходило без значительных потерь энергии в любом промежуточном режиме без

недопустимых перегрузок отдельных элементов оборудования (например, без повышенных пульсаций тока).

Пусковое регулирование осуществляют сравнительно кратковременно и поэтому при нем можно допускать некоторые потери энергии (например, в пусковых резисторах), форсированные режимы работы отдельных элементов оборудования. Так как пусковой (тормозной) режим – это обычно режим перегрузки, то при его оценке важно установить, насколько рационально он осуществляется.

Регулировочные свойства вспомогательных машин зависят от пределов возможного изменения их частоты вращения, возбуждения, напряжения, частоты тока и других показателей.

Преобразовательные установки локомотивов весьма разнообразны и их регулировочные свойства обычно приходится выявлять в каждом конкретном случае. На современном ЭПС все большее распространение получают преобразователи на полупроводниковых управляемых вентилях, отличающиеся широкими пределами регулирования режимов работы и относительной безынерционностью.

4

Характер управления локомотивом и движением поезда зависит от уровня их автоматизации. Автоматизация не оказывает существенного влияния на исполнительные операции управления, но заметно влияет на распорядительные.

Рассмотрим процесс неавтоматического управления поездом (рис 5.7). Для упрощения здесь исключено управление вспомогательными устройствами, а управление движением представлено как управление тяговыми двигателями ТД и пневматическими тормозами ПТ.

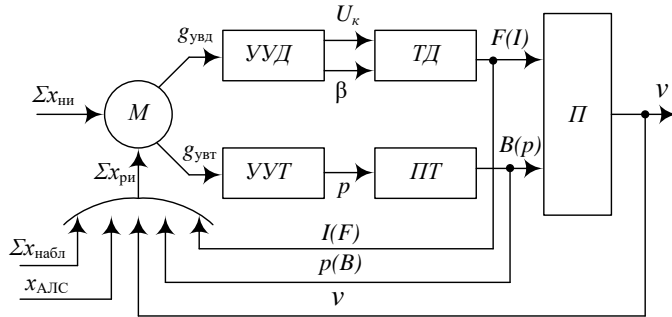


Рис. 5.7

Исполнительные операции машиниста М заключаются в его управляющих воздействиях $g_{увд}$ и $g_{увт}$ соответственно на устройства управления тяговыми двигателями УУД и тормозом УУТ. Устройства УУД воздействуют на работу тяговых двигателей, изменяя напряжение на их зажимах U_k или коэффициент β регулирования возбуждения. В свою очередь двигатели ТД развиваемой силой тяги $F(I)$ действуют на

поезд П, изменяя его скорость v . Устройство оказывает воздействие на тормоз ПТ, изменяя давление p в тормозных цилиндрах, от которого зависит тормозная сила $B(p)$, действующая на поезд.

В процессе управления локомотивом и поездом машинист прежде всего выполняет распорядительные операции. Он получает и обрабатывает информацию о состоянии локомотива и поезда, а также о внешних условиях, влияющих на процесс движения. Исходя из этой информации, он определяет те воздействия $g_{\text{увд}}$ и $g_{\text{увт}}$, которые надо оказывать для достижения цели управления – выполнения графика движения.

В состав информации входит начальная характеризующая цель управления (расписание, график движения и др.), а также основные условия работы (вес и состав поезда, ограничения скорости и др.). Управлять поездом невозможно без систематического получения рабочей информации о действительном процессе движения поезда $\sum X_{\text{набл}}$, $X_{\text{АЛС}}$, работе локомотива и изменениях условий движения. Рабочая информация поступает, как видно из рис. 5.7 по цепи обратной связи в виде сигналов от объекта управления к оператору – машинисту. Без обратной связи оператору неизвестны результаты управляющих воздействий и управление практически невозможно.

Чтобы выбрать управляющие воздействия, машинист анализирует полученную рабочую информацию, сопоставляя ее с начальной и учитывая возмущения, действующие на поезд. *Возмущения* – неконтролируемые (неуправляемые) воздействия, изменяющие условия работы, которые могут быть весьма разнообразными. Машинист встречается прежде всего с закономерными возмущениями, к которым относят детерминированные, возникающие обычно однократно в рассматриваемом процессе управления, – например, отклонение веса поезда от установленной весовой нормы. Наиболее часто возникают случайные возмущения (помехи) – неконтролируемые изменения условий работы (движения поезда), имеющие случайный, нерегулярный характер. К ним относятся, например, изменения напряжения U_c на токоприемнике, коэффициента сцепления ψ , погодные изменения со сопротивления движению W и ряд других. Машинист по возможности учитывает эти возмущения, стараясь нейтрализовать их влияние на процесс движения поезда. Алгоритм управления, вырабатываемый машинистом, тем правильнее, чем больший объем рабочей информации он сумеет воспринять и переработать.

Точное выполнение основной цели управления – выполнение графика движения, т.е. заданных времён хода по перегонам T_3 требует проведения сложных вычислительных операций для определения количественных соотношений показателей процесса. В данном случае эта операция может быть сформулирована как

$$T_3 = \int_0^L \frac{dl}{v(t)},$$

где L – длина перегона; dl – элементарный отрезок пути; $v(l)$ – скорость движения, соответствующая dl .

Машинист не может выполнить такую математическую операцию и потому время T лишь приближённо равно T_3 :

$$T_3 \cong T = \sum_{i=1}^n l_i / v_{i\text{cp}} = \sum_{i=1}^n t_i,$$

где t_i – время проследования отдельных характерных отрезков перегона протяженностью каждый l_i и общим числом n ; $v_{i\text{cp}}$ – средняя скорость на отрезках перегона.

Значения t_i и $v_{i\text{cp}}$ – это начальная информация $\sum X_{\text{ин}}$, получаемая машинистом из опыта предыдущих поездок, технологической карты и т.п. Алгоритм управления машинист вырабатывает уже на основе не математических, а более простых логических операций, которые заключаются в качественной оценке соответствия или несоответствия данных рабочей информации данным начальной: машинист сопоставляет преимущественно значения t_i и $v_{i\text{cp}}$.

Даже при таком упрощении распорядительные операции, выполняемые машинистом в случае неавтоматического управления, оказываются очень сложными. Он должен не только воспринять и переработать большой объем информации, но и выработать сложный алгоритм управления, содержащий большое количество операций, каждая из которых относится к определенной ступени управления (позиции контроллера).

Особенно сложна работа машиниста в тех случаях, когда необходимо точно поддерживать какой-либо показатель управляемого процесса, (например, пусковой ток) в заданных пределах, т. е. регулировать этот процесс. При определенных условиях (например, регулировании пуска электропоезда) машинист вообще не в состоянии справиться с этим и на помощь ему приходят системы автоматического регулирования – САР.

Так, система автоматического пускового регулирования САР-ПД (рис. 5.8), которой оборудованы

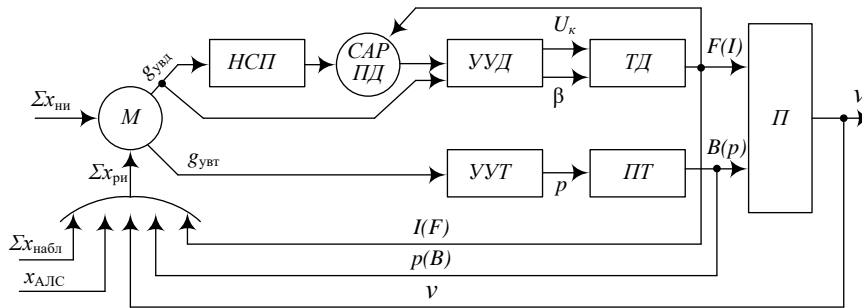


Рис. 5.8

все электропоезда, при пуске сопоставляет заданное значение тока I_3 , определяющее ожидаемую силу тяги F_a , с действительным $I(F)$. Для этого в САР-ПД предусмотрена цепь обратной связи, по которой поступают сигналы о значении тока $I(F)$. Операцию сравнения

можно сформулировать, как

$$I_3 - I = \Delta I.$$

При определенном значении ΔI система оказывает управляющее воздействие на УУД, регулируя работу двигателей. После завершения пуска дальнейшее управление работой двигателей машинист осуществляет непосредственно.

Системы автоматического управления состоят из нескольких систем автоматического регулирования (рис. 5.9), например САР-Д – для регулирования работы двигателей, САР-Т – тормоза и ряда других, которые объединены общей системой САУ, согласующей их действие. Начальную информацию

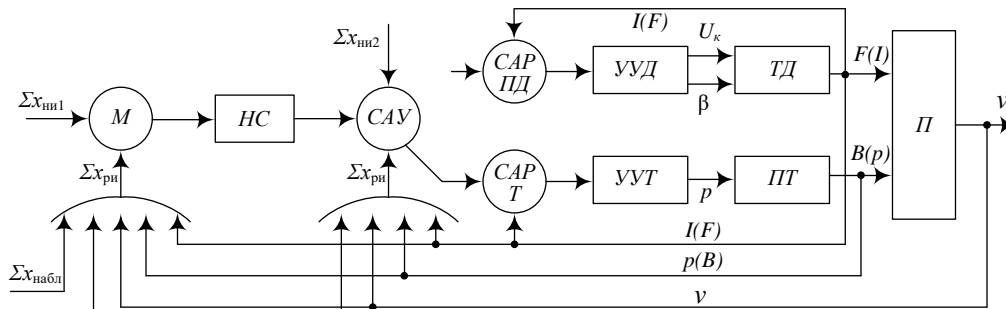


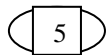
Рис. 5.9

вводят в соответствующие САР и САУ. В САУ вводят также рабочую информацию, включая и $x_{\text{АЛС}}$. САУ вырабатывает исходные команды $g_{\text{икд}}$ для САР-Д и для $g_{\text{икт}}$ САР-

Т, а также для других САР.

Машинист может контролировать работу САУ, исходя из рабочей информации, особенно из непосредственных наблюдений $\Sigma x_{\text{набл}}$. Машинист может также оказывать некоторое ограничивающее воздействие на работу САУ с помощью устройств настройки НС.

Для ЭПС особенно перспективны системы с расположением устройств САУ не на локомотивах, а на центральном посту управления, откуда можно осуществлять сопряжённое автоматическое управление несколькими локомотивами. В этом случае каждый локомотив оборудован системами САР и устройствами для двусторонней телесвязи с центральным постом управления.



На работу систем автоматического управления ЭПС оказывают существенное влияние следующие факторы.

Высокий уровень возмущений, действующих на ЭПС и особенно на системы автоматики. К таким детерминированным возмущениям относятся изменения нагрузки.

На объект регулирования и устройства автоматики сильно влияет также нестабильность напряжения. Напряжение U на токоприемнике локомотива может отклоняться от номинального в пределах $(0,4 \dots 1,45) U_{\text{ном}}$, а напряжение в цепях управления – в пределах до $0,6 U_{\text{ном}}$ где $U_{\text{ном}}$ – номинальное значение этого напряжения.

К возмущениям относится и нестабильность температур. Неравномерность температурных полей, например, в высоковольтной камере локомотива может достигать $70^{\circ} \dots 80^{\circ} \text{C}$, а колебания температуры отдельных элементов автоматики $125^{\circ} \dots 140^{\circ} \text{C}$. Это оказывает заметное влияние на все элементы автоматики. Так, сопротивление катушек реле из медного провода в нагретом состоянии увеличивается в $1,6 \dots 1,7$ раза по сравнению с их сопротивлением в холодном состоянии.

Для электромеханических элементов автоматики и таких пассивных элементов, как пайки, особенно неблагоприятно воздействие вибраций и динамических импульсов, дополняющих статические нагрузки.

На ЭПС значительны электромагнитные помехи, особенно в тех случаях, когда применяют тиристорные преобразователи. При этом очень велики значения di/dt , а значительные индуктивности и емкости, которыми обладают токоведущие части силовоточного оборудования, представляют собой мощные генераторы радиопомех в широком диапазоне частот. Эти помехи могут наводить напряжения до 600 мВ на 1 м проводника, что заставляет применять специальные меры защиты: повышать мощность всех сигналов, применять экранирование и др.

Разнообразие принципов оптимизации режимов тяги и торможения ЭПС. Принцип наиболее полного использования мощности оборудования. Для электрооборудования его можно сформулировать в общем виде, как

$$\tau_{\max}(T) \rightarrow k_{3\tau} \tau_{\text{доп}},$$

где $\tau_{\max}(T)$ – максимальное превышение температуры над температурой окружающей среды в пределах рассматриваемого цикла работы T ; $\tau_{\text{доп}}$ – допустимое превышение температуры для данного вида оборудования; $k_{3\tau} < 1$ – коэффициент запаса по превышению температуры.

Опыт освоения различных систем показывает, что обычные элементы автоматики и методы монтажа, применяемые в промышленности, не обеспечивают достаточной надежности их на ЭПС. Здесь необходимо использовать устройства автоматики с повышенными характеристиками.

Принцип минимального расхода энергии при выполнении заданного графика движения. При этом должно выполняться условие

$$A_m \leftarrow A = (1/T) \int_0^{T_n} U_c idt \cong (U_c / T_n) \int_0^{T_n} idt; \quad T_{\text{п}} = T_{\text{пз}},$$

где A и A_m – соответственно выполненный и минимальный расход энергии; $T_{\text{пз}}$ и $T_{\text{п}}$ – соответственно заданное и действительное время хода по перегону.

Этот принцип применяют наиболее часто.

Принцип реализации максимальной пропускной способности участка (наибольшей скорости). Он может быть сформулирован как

$$T_{\text{пмин}} \leftarrow T_{\text{п}} = \int_0^L \frac{dl}{v},$$

где $T_{\text{пмин}}$ – минимальное время движения на перегоне; L – длина перегона.

Один из вариантов этого принципа – регулирование заданной постоянной ходовой скорости v_x :

$$v_i \rightarrow v_x = k_{3v} v_{\max} = \text{const},$$

где v_{\max} – максимальная допустимая скорость (конструкционная скорость подвижного состава); $k_{3v} < 1$ – коэффициент запаса по скорости.

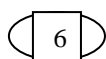
Этот принцип используют на линиях с ограниченной пропускной способностью и при движении высокоскоростных поездов.

Принцип полного использования эксплуатационных ограничений. Он предусматривает выбор режимов работы на границе допустимых предельных значений (ограничений) показателей процессов в условиях эксплуатации. К ним относятся ограничения по перегрузочной способности различных элементов оборудования, например, тяговых двигателей (прямая 1 на рис. 5.10), по сцеплению (кривая 2), по потенциальной устойчивости – коммутации (кривая 3) и по предельной скорости v_{\max} (прямая 4).

Работе локомотива при использовании этого принципа оптимизации соответствует на рис. 5.10 тонкая линия А. Такая оптимизация приводит к форсированному использованию локомотива и поэтому не всегда приемлема.

Комбинированный принцип оптимизации. Он заключается в совмещении нескольких принципов, отмеченных ранее. Например, принцип постоянства скорости или принцип минимального расхода энергии может быть совмещен с принципом использования ограничений в различные моменты движения. Работе локомотива при совмещении принципа постоянства скорости с принципом использования ограничений соответствуют тонкие линии Б, В, Г (см. рис. 5.10). По-видимому, комбинированные принципы оптимизации наиболее универсальны и приемлемы в общих случаях.

Синхронизация работы САР ЭПС. Она необходима при работе ЭПС по системе многих единиц. Отсутствие синхронизации может вызывать недопустимые перегрузки элементов оборудования отдельных локомотивов и другие неблагоприятные явления.



Рассмотрим проявления технико-экономической эффективности при различных уровнях автоматизации ЭПС:

1. Автоматическое управление в режиме тяги позволяет улучшить тяговые свойства локомотива. Применение плавного регулирования силы тяги взамен ступенчатого позволяет увеличить расчетный

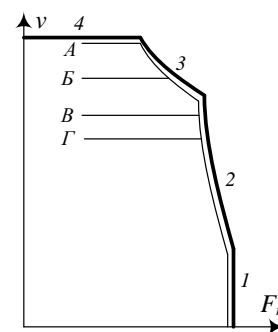


Рис. 5.10

коэффициент сцепления на 5...8 %. Автоматическое регулирование напряжения и частоты – необходимое условие для применения трехфазных бесколлекторных тяговых двигателей, предельная мощность которых в 1,5 раза выше, чем у коллекторных двигателей постоянного тока, для этих случаев эффективность автоматизации оценивают как внедрение новых видов локомотивов.

2. Автоматизация управления торможением дает возможность повысить скорость движения поезда за счёт большей точности управления. Экономический эффект определяется ускорением доставки пассажиров, высвобождением локомотивного и вагонного парков. Автоматизация электрического торможения локомотивов позволяет расширить область его применения и получить снижение расхода электроэнергии и тормозных колодок. Без автоматического регулирования невозможно функционирование рекуперативного торможения на переменном токе.
3. Автоматизация вспомогательных устройств локомотива позволяет снизить расход электроэнергии на вспомогательные нужды, использовать более компактные и надежные устройства.
4. Эффективность автоведения поездов проявляется в увеличении провозной и улучшении использования пропускной способности участков. Экономическая эффективность этого мероприятия оценивается как внедрение новой технологии, которая позволяет отдалить значительные капиталовложения, необходимые на сооружение новой линии, если при ручном управлении пределы пропускной способности исчерпаны. Внедрение систем автоведения позволяет при прочих равных условиях уменьшить расход электроэнергии на тягу поездов за счёт выбора оптимальных режимов движения.
5. На некотором уровне автоматизации возможно сокращение состава локомотивной бригады. Так, численность локомотивной бригады может быть доведена до одного человека при внедрении САУ (эту систему можно считать как бы вторым лицом в бригаде). Этого же можно достичь, применяя комплексную автоматическую систему технической безопасности эксплуатации, включающую устройства бдительности, АЛС с программным автостопом и устройства непрерывной дефектоскопии наиболее ответственных элементов оборудования. При сопряженном автоматическом телеуправлении поездами возможно существенно снизить трудовые затраты персонала, обслуживающего управление движением (диспетчеры движения и др.), системы тягового электроснабжения и т.д.