

**РОСЖЕЛДОР**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Ростовский государственный университет путей сообщения»  
(ФГБОУ ВПО РГУПС)**

---

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС  
СПЕЦИАЛИЗАЦИИ «ЛОКОМОТИВЫ»**

Учебное пособие

Часть III

Под редакцией А.С. Шапшала

*Утверждено учебно-методическим советом университета*

Ростов-на-Дону  
2015

УДК 629.41(07) + 06

Рецензенты: главный инженер Дирекции тяги СКЖД – филиала  
ОАО «РЖД» В.Б. Мыльников;  
кандидат технических наук, доцент Н.Р. Тептиков (РГУПС)

Учебно-методический комплекс специализации «Локомотивы»:  
учеб. пособие в 3 ч. Ч. III / А.С. Шапшала, М.Н. Жулькин, А.А. Зарифьян,  
Н.В. Гребенников, А.В. Донченко [и др.]; под ред. А.С. Шапшала; ФГБОУ  
ВПО РГУПС. – Ростов н/Д, 2015. – 172 с.: ил.

ISBN 978-5-88814-391-9

Учебное пособие содержит курсы лекций по дисциплинам кафедры  
«Локомотивы и локомотивное хозяйство». Состоит из трех частей, каждая  
из которых отражает лекционный материал, изучаемый в учебном году по  
семестрам, согласно учебному плану специальности.

Предназначено для студентов железнодорожных вузов, обучающихся  
по специальностям: 190300.65 и 23.05.03 «Подвижной состав железных  
дорог», для всех специализаций: «Локомотивы», «Электрический транс-  
порт», «Вагоны», «Высокоскоростной наземный транспорт», «Технология  
производства и ремонта подвижного состава» всех форм обучения.

Одобрено к изданию кафедрой «Локомотивы и локомотивное хозяй-  
ство».

ISBN 978-5-88814-391-9

© Колл. авт., 2015

© ФГБОУ ВПО РГУПС, 2015

## ОГЛАВЛЕНИЕ

1 Автоматизация управления локомотивами .....	6
1.1 Принципы построения автоматических схем .....	6
1.1.1 Построение функциональных схем .....	6
1.1.2 Построение автоматических регуляторов .....	7
1.1.3 Типовые динамические звенья .....	10
1.2 Устойчивость и качество работы систем автоматики .....	19
1.2.1 Понятие устойчивости и качество работы систем автоматики .....	19
1.2.2 Качество работы систем автоматики .....	27
1.3 Локомотивные системы автоматического управления, регулирования и защиты (САУ, САР, САЗ) .....	29
1.3.1 Классификация локомотивных САУ, САР, САЗ .....	29
1.3.2 Автоматическое регулирование частоты вращения дизеля .....	31
1.3.3 Автоматическое регулирование напряжения тягового генератора .....	34
1.3.4 Автоматическое регулирование температуры теплоносителей .....	39
1.3.5 Автоматическое регулирование ТЭД .....	41
1.3.6 Датчики и чувствительные элементы (ЧЭ) систем локомотивной автоматики .....	44
2 Локомотивное хозяйство .....	48
Введение .....	48
2.1 Структура и организация управления локомотивным хозяйством .....	48
2.1.1 Особенности структуры и управления тепловозным хозяйством .....	48
2.1.2 Перспективы развития локомотивного хозяйства .....	49
2.2 Структура локомотивного парка .....	50
2.2.1 Поездные локомотивы .....	50
2.2.2 Маневрово-вывозные локомотивы .....	51
2.3 Сооружения депоовского хозяйства .....	52
2.3.1 Пункты реостатных испытаний .....	52
2.3.2 Топливное хозяйство .....	55
2.3.3 Смазочное хозяйство .....	59
2.3.4 Хозяйство водоснабжения .....	63
2.3.5 Устройства для снабжения локомотивов песком .....	65
3 Математическое моделирование систем подвижного состава .....	69
3.1 Математическое моделирование динамики подвижного состава .....	69
3.1.1 Современные методы компьютерного моделирования задач динамики подвижного состава .....	69
3.1.2 Построение компьютерной модели механической части ... электровоза с осевой формулой 2о-2о .....	72
3.1.3 Построение компьютерной модели механической части электровоза с осевой формулой 3о-3о .....	74
3.1.4 Построение компьютерной модели ходовой части пассажи́рского вагона .....	75

3.2 Математическое моделирование электрической части подвижного состава .....	76
3.2.1 Современные методы компьютерного моделирования процессов в электрических цепях .....	76
3.2.2 Построение компьютерной модели силовых цепей электровоза постоянного тока с коллекторными тяговыми двигателями .....	78
3.2.3 Построение компьютерной модели силовых цепей электрической передачи постоянного тока грузового тепловоза ...	80
3.2.4 Построение компьютерной модели силовых цепей пассажирского вагона с подвагонным вентильно-индукторным генератором (ВИГ) .....	81
4 Теория и конструкция локомотивов .....	84
Введение .....	84
4.1 Тележки локомотивов .....	85
4.1.1 Общее устройство тележек локомотива .....	85
4.1.2 Рессорное подвешивание локомотивов .....	87
4.1.3 Опорно-возвращающие устройства .....	88
4.1.4 Тяговые устройства .....	90
4.1.5 Тормозное оборудование локомотивов .....	92
4.2 Главные рамы и кузова локомотивов .....	93
4.2.1 Типы рам локомотивов .....	93
4.2.2 Типы кузовов локомотивов .....	95
4.2.3 Расчет рам и кузовов .....	96
4.3 Тяговые приводы локомотивов .....	98
4.3.1 Классификация тяговых приводов .....	98
4.3.2 Тяговые приводы с электрической передачей .....	101
4.3.3 Выбор основных параметров тягового привода .....	103
4.4 Вспомогательное оборудование локомотивов .....	105
4.4.1 Вспомогательные системы и оборудование энергетической установки .....	105
4.4.2 Охлаждающие устройства локомотивов .....	107
4.4.3 Пневматические системы локомотивов .....	109
4.4.4 Приводы вспомогательного оборудования локомотивов ...	110
5 Эксплуатация и техническое обслуживание подвижного состава ....	115
Введение .....	115
5.1 Организация эксплуатации подвижного состава .....	115
5.1.1 Организация работы локомотивов .....	115
5.1.2 Аналитические методы расчета локомотивного парка .....	117
5.1.3 Графоаналитический и графический метод расчета локомотивного парка .....	118
5.1.4 Показатели использования локомотивов .....	122
5.2 Организация работы локомотивных бригад .....	125
5.2.1 Работа локомотивных бригад .....	125
5.2.2 Обслуживание локомотивов бригадами .....	128
5.2.3 Нормирование времени труда и отдыха .....	129
5.2.4 Определение штата локомотивных бригад .....	129

5.3 Экипировка подвижного состава и экипировочные устройства ..	130
5.3.1 Организация и средств экипировки .....	130
5.4 Техническое обслуживание и ремонт подвижного состава .....	132
5.4.1 Системы ремонтов .....	132
5.4.2 Основы планово-предупредительной системы ремонта ....	133
5.4.3 Определение годовой программы ремонта .....	135
5.4.4 Организация ремонта подвижного состава .....	136
5.4.5 Расчет количества ремонтных позиций .....	138
5.4.6 Расчет рабочей силы .....	138
6 Электрическое оборудование локомотивов .....	140
6.1 Общие сведения об электрическом оборудовании тепловозов ...	140
6.1.1 Классификация электрического оборудования по типу .....	140
6.1.2 Классификация электрического оборудования по устройству и выполняемым функциям .....	148
6.2 Электрические машины .....	152
6.2.1 Тяговые электрические машины .....	152
6.2.2 Вспомогательные электрические машины .....	153
6.3 Электрическое оборудование современных и перспективных тепловозов .....	154
6.3.1 Электрическое оборудование локомотивов на основе микропроцессорных систем управления .....	154
6.3.2 Основы построения и работы цифровых систем управления .....	155
6.3.3 Принцип построения микропроцессорных систем управления .....	162
6.3.4 Система УСТА .....	164
6.3.5 Система МСУ-Т .....	166

# 1 АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ЛОКОМОТИВАМИ

## 1.1 Принципы построения автоматических схем

### 1.1.1 Построение функциональных схем

- 1) Основные принципы автоматического регулирования.
- 2) Регулирование по отклонению регулируемой величины.
- 3) Регулирование по возмущающему воздействию.

### Основные принципы управления

Задача управления заключается в том, чтобы объект управления (ОУ) или регулирования (ОР), управляемый автоматическим регулятором (АР) в условиях реальной эксплуатации, обеспечивал выполнение требуемых функций. Фактическое состояние объекта управления определяется одним или несколькими рабочими параметрами  $y(t)$  (выходная величина). Обычно рабочие параметры представляют собой физические величины: скорость, температура, напряжение, ток, перемещения и т.д. В реальных условиях на ОУ (ОР) оказывают влияние внешние воздействия, которые называются возмущающими  $z(t)$ . Эти воздействия вызывают изменение внутреннего состояния объекта и как следствие – рабочих параметров. В связи с этим для выполнения рабочих функций по заданным алгоритмам необходимо на объект управления организовать подачу управляющих воздействий  $u(t)$ .

**По принципу управления системы автоматического управления (САУ) можно разбить на три группы:**

- с регулированием по внешнему воздействию или по возмущению – принцип Понселе (применяется в незамкнутых САУ) (рис. 1.1). В этом случае, как правило, необходимо применение датчика (чувствительный элемент – ЧЭ) для преобразования  $z(t)$  в удобную для АР физическую величину. Возмущающие воздействия делятся на основное и неосновное (неосновные);

- с регулированием по отклонению или по ошибке – принцип Ползунова – Уатта (применяется в замкнутых САУ) (рис. 1.2). В этом случае сравнивается текущее (или мгновенное) значение регулируемой величины ( $x(t)$ ) с её номинальным значением ( $y(t)$ ) и вычисляется их разность  $X(t) = x(t) - y(t)$ , которая называется ошибкой;

- с комбинированным регулированием (рис. 1.3). В этом случае САУ содержит замкнутый и разомкнутый контуры регулирования.

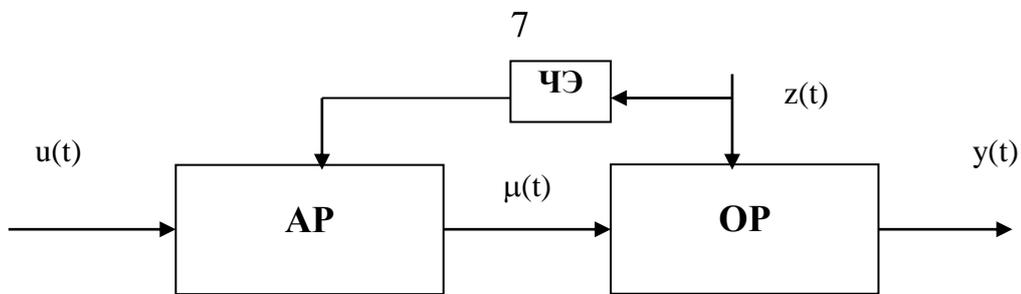


Рис. 1.1. Регулирование по внешнему воздействию или по возмущению

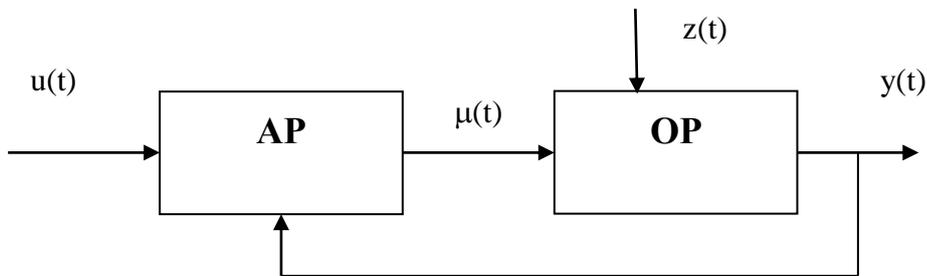


Рис. 1.2. Регулирование по отклонению или по ошибке

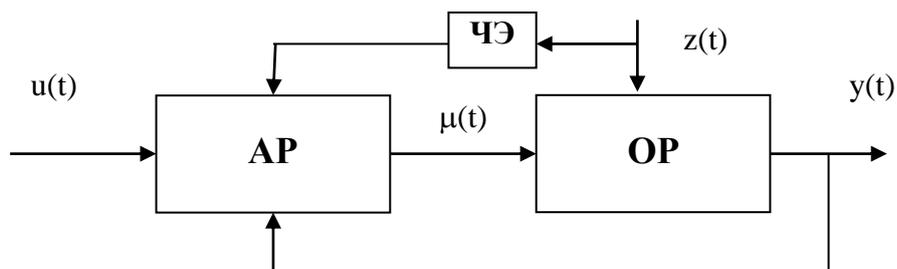


Рис. 1.3. Комбинированное регулирование

**Пример.** В помещении необходимо поддерживать температуру, равную 23 °С.

*Регулирование по возмущению.* Основным возмущающим воздействием является температура наружного воздуха. Она измеряется термодатчиком (ЧЭ). Сигнал от него поступает в систему АР. Зная теплопроводность стен и окон, можно определить параметры регулирующего воздействия  $\mu(t)$  (допустим, температуру теплоносителя в системе отопления) для поддержания оптимальной температуры.

*Регулирование по ошибке.* Термодатчик находится внутри самого помещения. Далее определяется ошибка как разность между текущей температурой и оптимальной. Затем вычисляется параметр регулирующего воздействия.

### 1.1.2 Построение автоматических регуляторов

- 1) Статические регуляторы (П-регуляторы).
- 2) Астатические регуляторы (ПИ-регуляторы).

**Статический регулятор (СР)** – регулятор, устанавливающий (в случае изменения состояния объекта регулирования) новое значение регулируемой величины со статической погрешностью, зависящей от значения возмущающего воздействия, приложенного к объекту регулирования и со статической погрешностью, пропорциональной ошибке. Примером СР служит пропорциональный регулятор (рис. 1.4): П-регулятор частоты вращения дизеля (Д), Р – редуктор, ВрП – всережимная пружина, ЦД – центробежный датчик, ТН – топливный насос,  $\mu(t)$  – регулирующее воздействие (в данном случае перемещение рейки ТН).

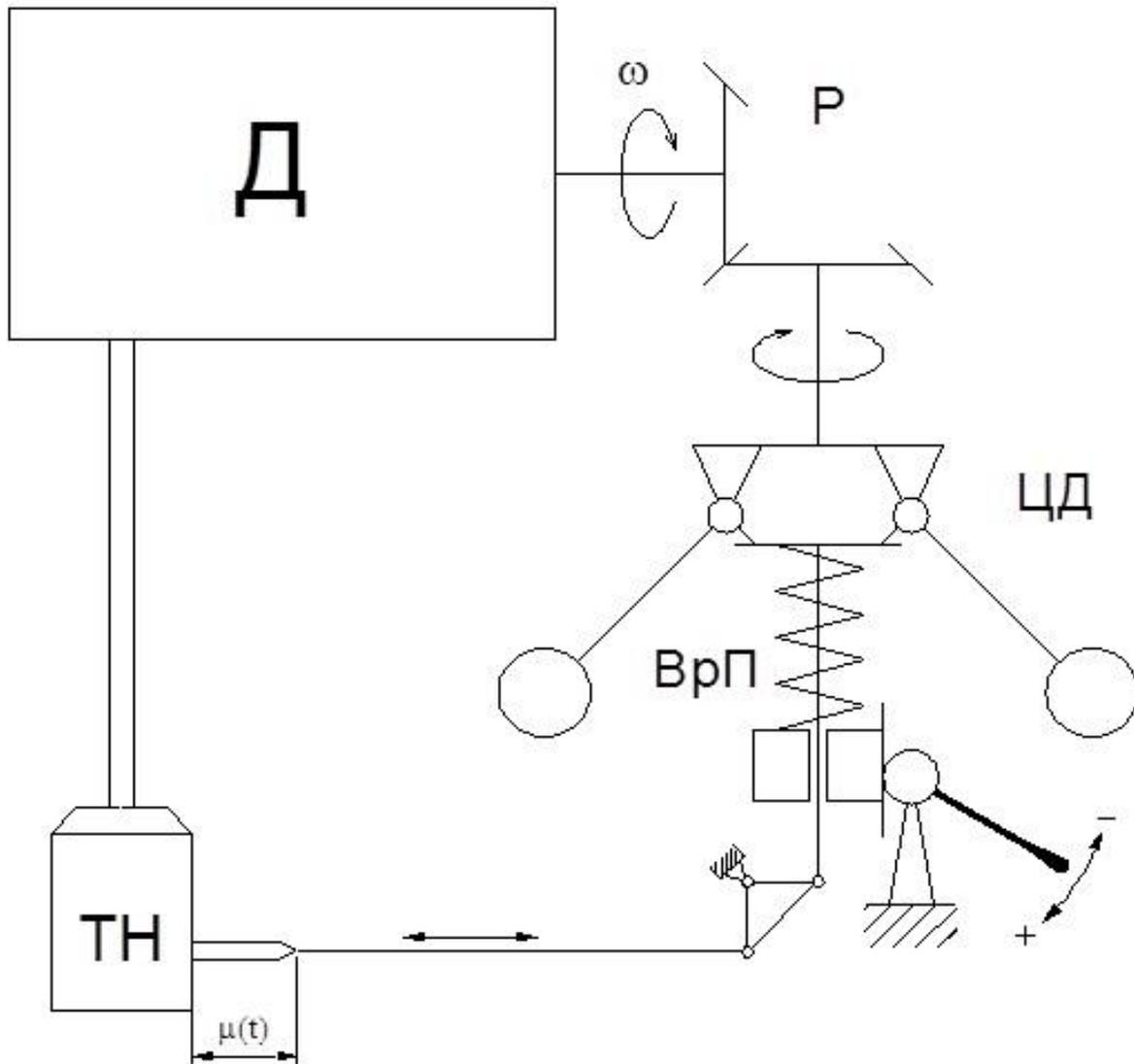


Рис. 1.4. Статический регулятор

Зависимость регулирующего воздействия от ошибки имеет вид:

$$\mu(t) = kX(t).$$

**Астатический регулятор** – автоматический регулятор, поддерживающий заданное значение регулируемой величины при любом значении внешнего воздействия на систему регулирования. Для осуществления астатического регулирования в схему регулятора включается интегрирующее звено либо характеристики ЧЭ подбирают так, чтобы регулятор обладал свойствами интегрирующего звена. Поэтому их называют пропорционально-интегральными регуляторами (ПИ-регулятор). Пример такого регулятора приведен на рис. 1.5.

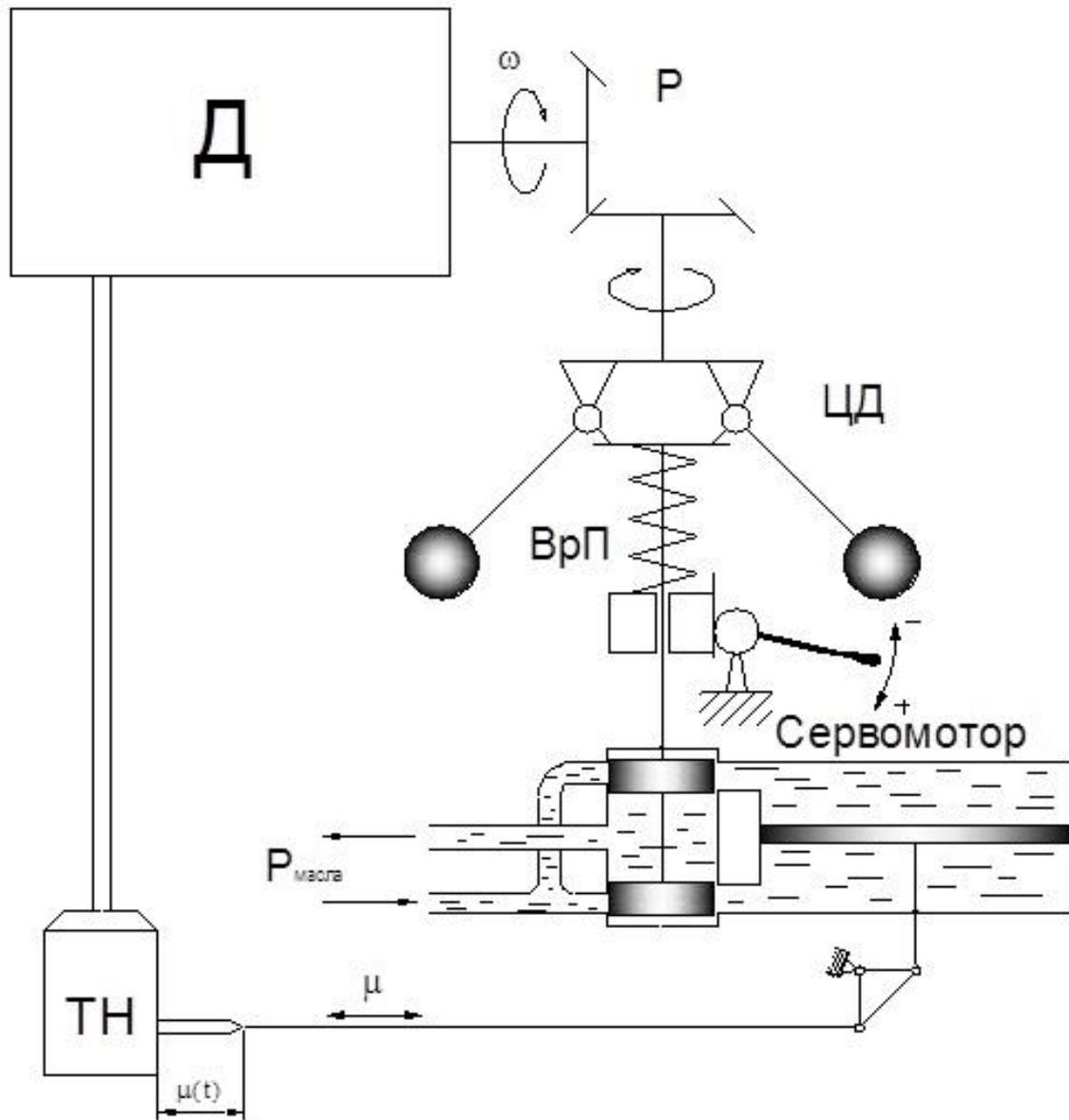


Рис. 1.5. Астатический регулятор

Зависимость регулирующего воздействия от ошибки имеет вид:

$$\mu(t) = k \int_0^t X(t) dt.$$

### 1.1.3 Типовые динамические звенья

#### Передаточные функции динамических звеньев

Передаточная функция динамического звена определяется так, как показано на рис. 1.6.

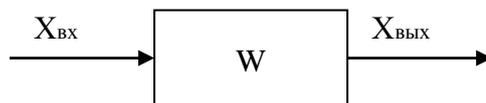


Рис. 1.6. Передаточная функция динамического звена

$$W = \frac{X_{\text{вых}}}{X_{\text{вх}}}.$$

#### Пропорциональное звено

Его передаточная функция:

$$W(p) = K,$$

где  $p$  – оператор Лапласа;

$K$  – коэффициент передачи звена (величина постоянная).

Это звено также называется безынерционным, усилительным или звеном нулевого порядка.

Уравнение вход-выход пропорционального звена имеет вид:

$$y(t) = K x(t).$$

Модель этого звена в переменных состояния формально совпадает с уравнением вход-выход.

Примерами данного звена могут служить электронный усилитель, потенциометрический делитель напряжения, рычаг (рис. 1.7), редуктор (рис. 1.8).

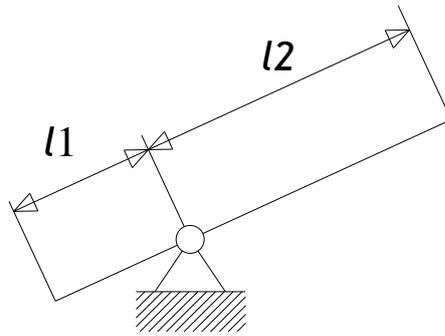


Рис. 1.7. Рычаг

$$W = \frac{l_2}{l_1}$$

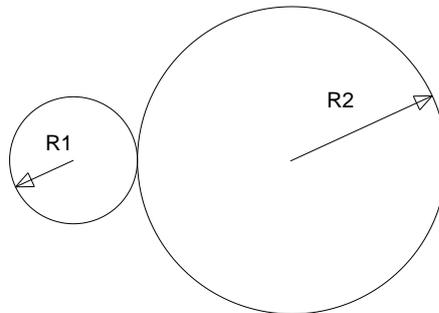


Рис. 1.8. Редуктор

$$W = \frac{R_2}{R_1}$$

### Инерционное звено

Инерционным называется звено, у которого после однократного скачкообразного изменения входной величины выходная величина стремится к новому установившемуся значению по закону экспоненты (рис. 1.9):

$$X_{\text{ВЫХ}} = kX_{\text{ВХ}} \left( 1 - e^{-\frac{t}{T}} \right).$$

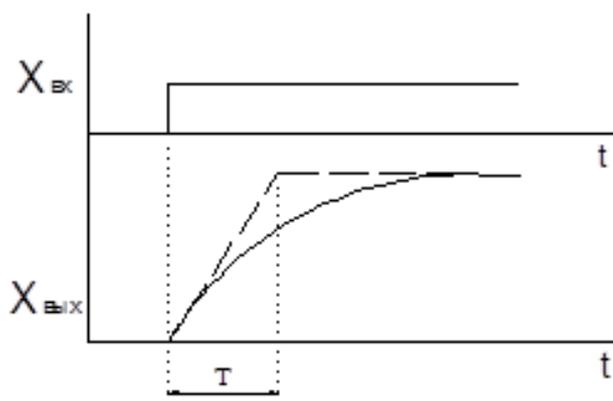


Рис. 1.9. Временная диаграмма

Передаточная функция:

$$W(p) = \frac{k}{Tp + 1}.$$

Физические примеры представлены на рис. 1.10.

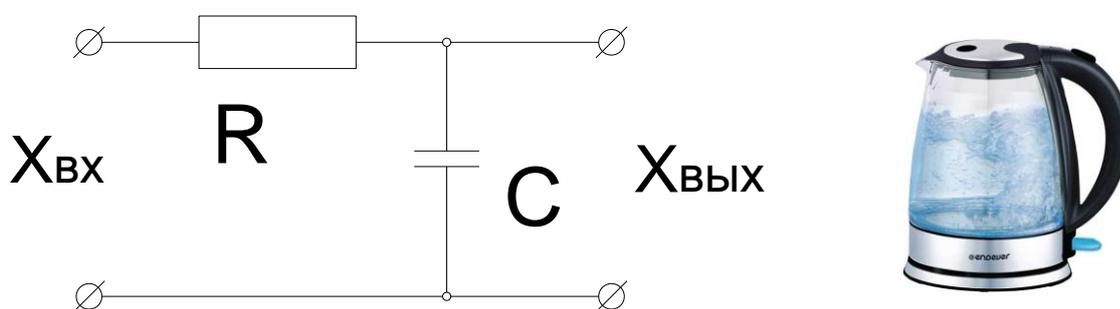


Рис. 1.10. Физические примеры инерционного звена

### Интегрирующее звено

Интегрирующим называют звено, у которого скорость изменения выходной величины пропорциональна входной величине, т.е. сама выходная величина пропорциональна интегралу от входной величины по времени (рис. 1.11):

$$X_{\text{вых}} = \frac{k}{T} \int_0^t X_{\text{вх}} dt.$$

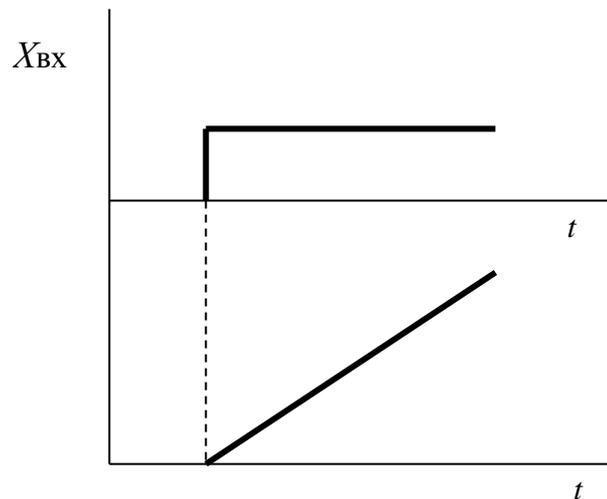


Рис. 1.11. Временная диаграмма

Передаточная функция:

$$W(p) = \frac{k}{p}.$$

Физический пример представлен на рис. 1.12.

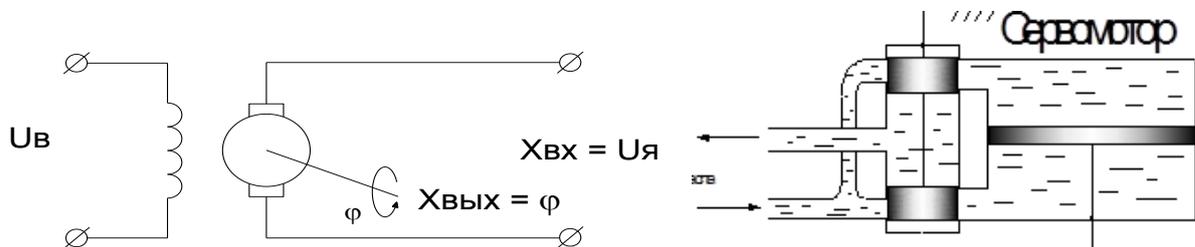


Рис. 1.12. Физический смысл интегрирующего звена

### Дифференцирующее звено

Различают идеальное и реальное дифференцирующие звенья.

Идеальным дифференцирующим называют звено, выходная величина которого пропорциональна скорости изменения входной величины (рис. 1.13):

$$X_{\text{ВЫХ}} = \frac{kdX_{\text{ВХ}}}{dt}.$$

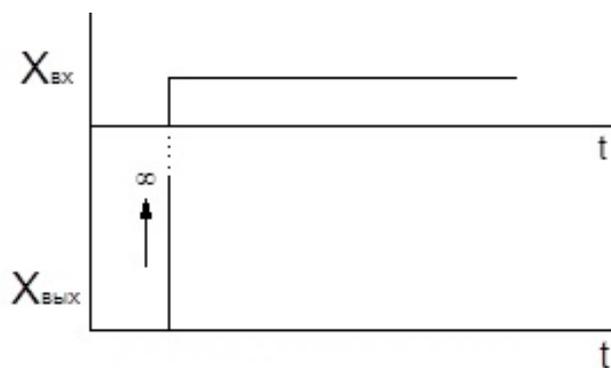


Рис. 1.13. Временная диаграмма

Передаточная функция:

$$W(p) = kp.$$

Реальным или инерционно-дифференцирующим называют звено, у которого зависимость между входной и выходной величинами определяется уравнением:

$$\frac{T \cdot dX_{\text{ВЫХ}}}{dt} + dX_{\text{ВЫХ}} = \frac{k \cdot T \cdot dX_{\text{ВХ}}}{dt};$$

или в операторной форме:

$$(Tp + 1)X_{\text{ВХ}} = k \cdot T \cdot p \cdot X_{\text{ВЫХ}}.$$

Передаточная функция реального дифференцирующего звена (рис. 1.14):

$$W(p) = \frac{kTp}{Tp + 1}.$$

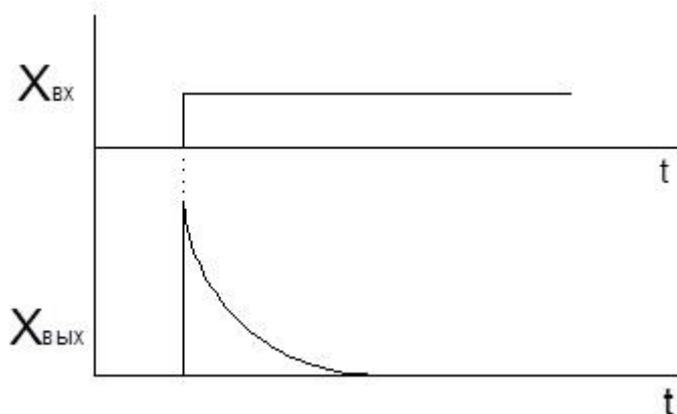


Рис. 1.14. Временная диаграмма

Физический пример приведен на рис. 1.15.

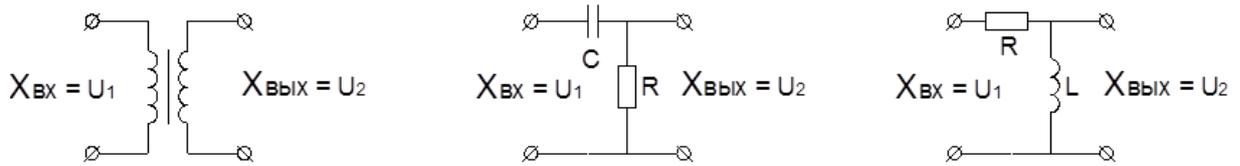


Рис. 1.15. Физический пример дифференцирующего звена

### Колебательное звено второго порядка

Колебательным называется звено, у которого после однократного скачкообразного изменения входной величины выходная величина стремится к новому установившемуся значению, совершая относительно него колебания с амплитудой, затухающей по закону экспоненты.

Связь между входной и выходной величинами определяется уравнением вида:

$$\frac{T_0^2 \cdot d^2 X_{\text{ВЫХ}}}{dt^2} + \frac{T \cdot dX_{\text{ВЫХ}}}{dt} + X_{\text{ВЫХ}} = k \cdot X_{\text{ВХ}},$$

или в операторной форме:

$$T_0^2 p^2 + Tp + 1 = k \cdot X_{\text{ВХ}}.$$

Передаточная функция:

$$W(p) = \frac{k}{T_0^2 p^2 + Tp + 1}.$$

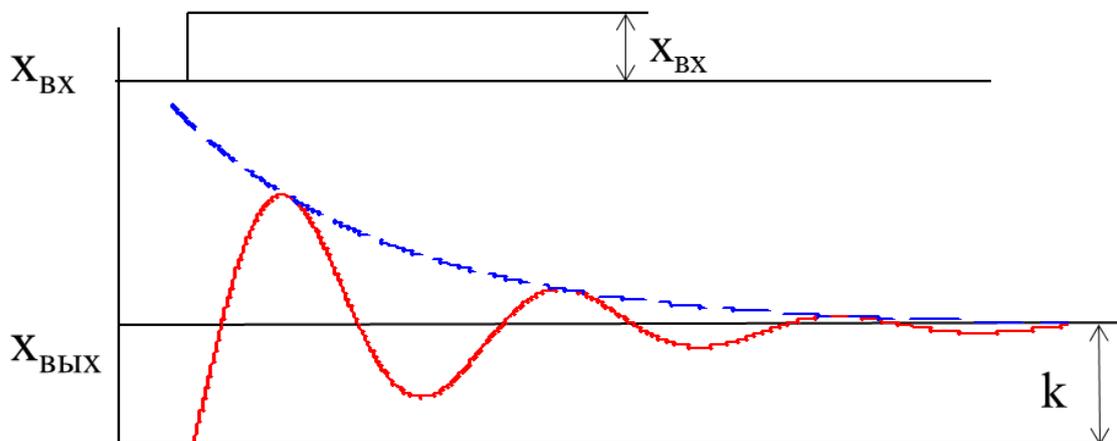


Рис. 1.16. Временная диаграмма

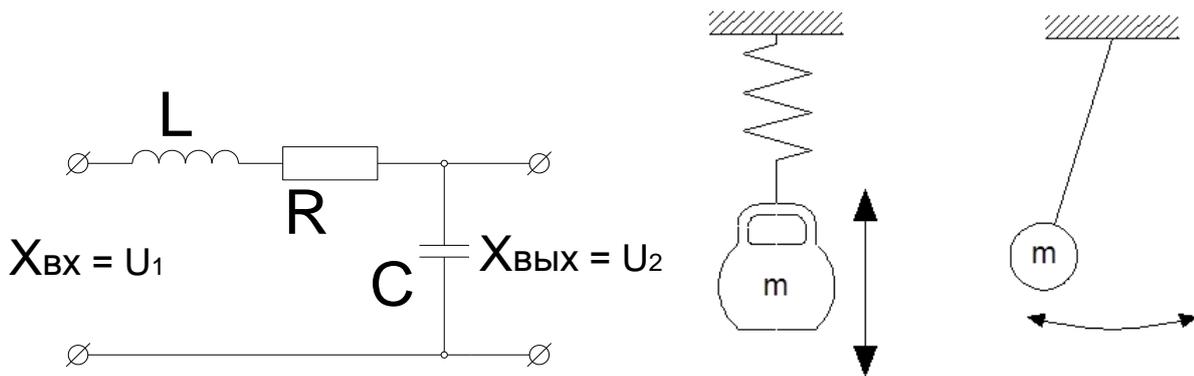


Рис. 1.17. Физические примеры колебательного звена

### Звено запаздывания

Звеном запаздывания называется такое звено, в котором выходная величина воспроизводит без искажения изменение входной величины, но отстает при этом на некоторое постоянное время  $\tau_{\text{зап}}$  (рис. 1.18), называемое *временем чистого запаздывания*.

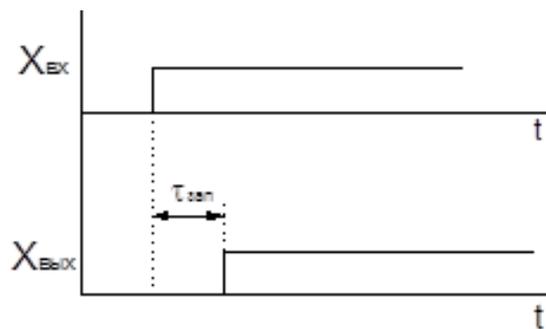


Рис. 1.18. Временная диаграмма

Зависимость между входной и выходной величинами определяется уравнением:

$$X_{\text{ВЫХ}} = \begin{cases} 0, & \text{при } t < \tau \\ X_{\text{ВХ}}, & \text{при } t \geq \tau \end{cases}$$

Передаточная функция:

$$W(p) = e^{-p\tau}.$$

Физические примеры: трубопровод, конвейер.

## Преобразование структурных схем

Последовательное соединение показано на рис. 1.19.

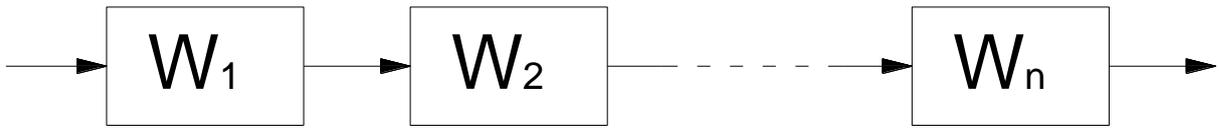


Рис. 1.19. Схема последовательного соединения

Общая передаточная функция:

$$W = \prod_{i=1}^n W_i.$$

Параллельное согласное соединение представлено на рис. 1.20.

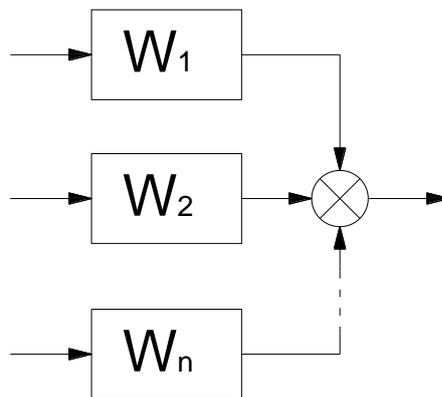


Рис. 1.20. Схема параллельного согласного соединения

Общая передаточная функция:

$$W = \sum_{i=1}^n W_i.$$

Параллельное встречное соединение показано на рис. 1.21.

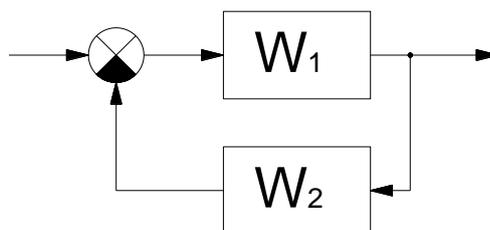


Рис. 1.21. Схема параллельного встречного соединения

Общая передаточная функция:

$$W = \frac{W_1}{W_1 \cdot W_2 + 1}.$$

Структурные схемы соединений при переносе (рис. 1.22):

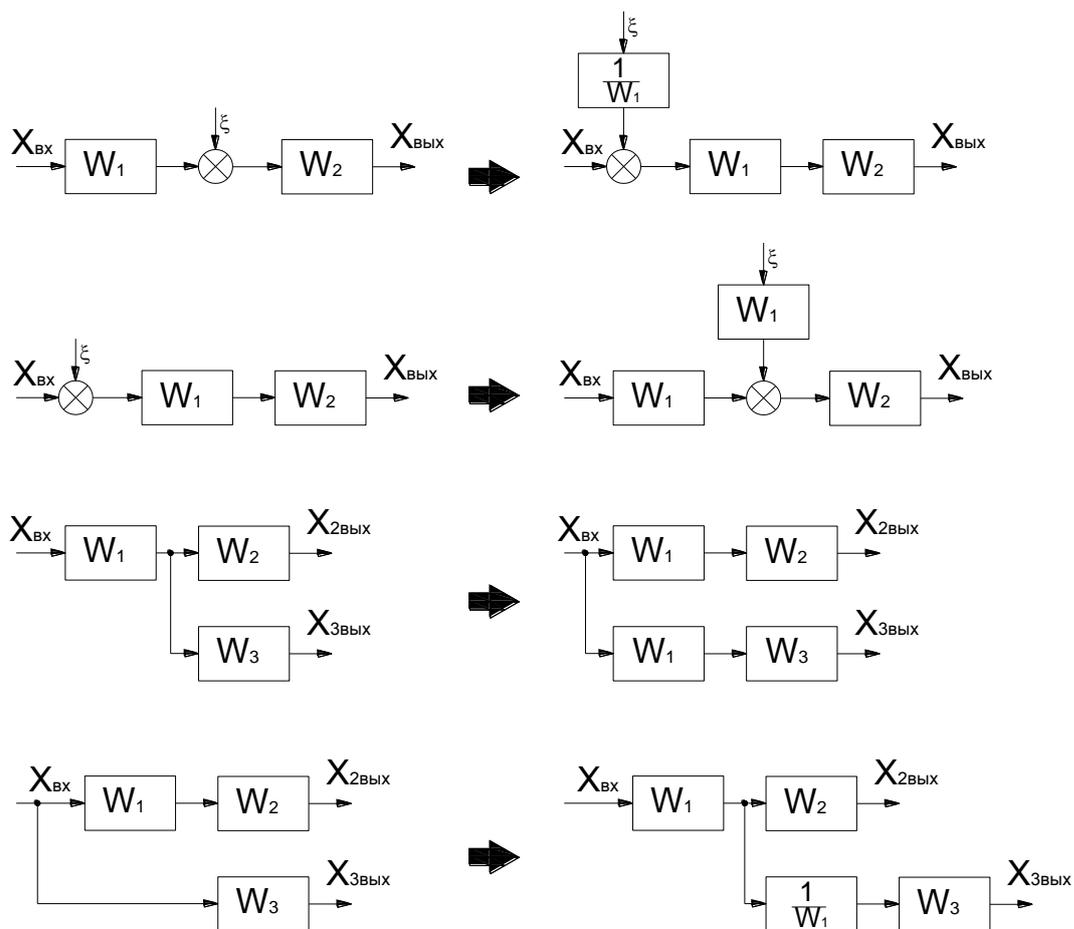


Рис. 1.22. Структурные схемы соединений при переносе

## 1.2 Устойчивость и качество работы систем автоматики

### 1.2.1 Понятие устойчивости и качество работы систем автоматики

Под устойчивостью понимают её способность возвращаться к состоянию установившегося равновесия после устранения возмущения, её нарушившего. Схема устойчивости (сходящихся колебаний) представлена на рис. 1.23.

Состояние устойчивости (устойчивое состояние) – это такое равновесное состояние системы, в которое она возвращается после снятия возмущающих воздействий.

Рассмотрим варианты изменения выходной величины. Её можно представить в виде двух составляющих: постоянной ( $X_{const}$ ) – величина, к которой она должна стремиться в установившемся значении и переменной ( $X_n$ ), сопровождающей неустановившийся процесс. Итак, система устойчива – переменная составляющая  $X_n(t)$  затухает. Её можно описать уравнением вида:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} X_n(t) = 0.$$

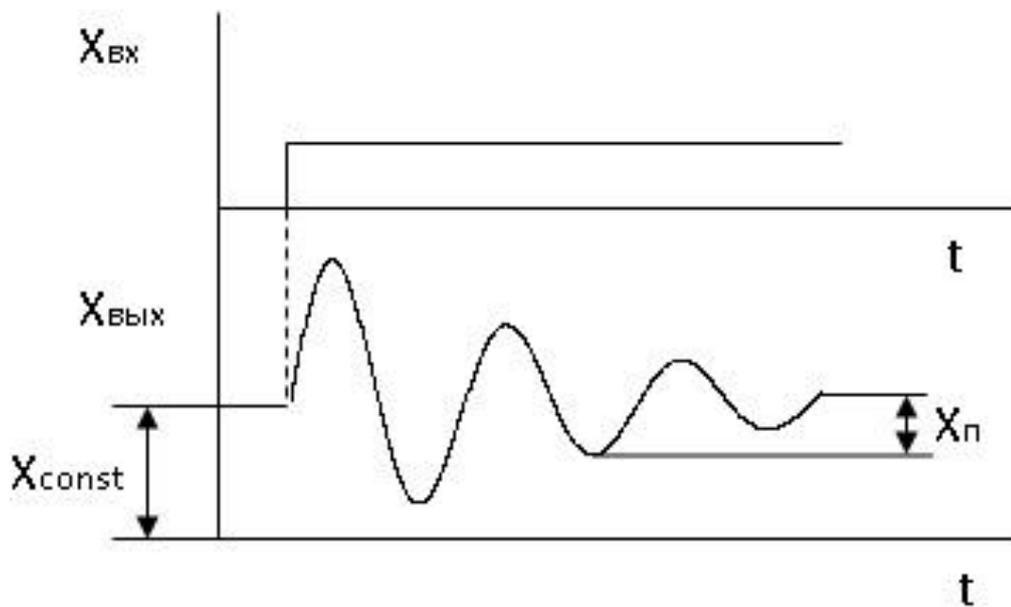


Рис. 1.23. Система устойчива

Схема неустойчивости показана на рис. 1.24. Переменная составляющая  $X_n(t)$  расходится. Её можно описать уравнением вида:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} X_n(t) = \infty.$$

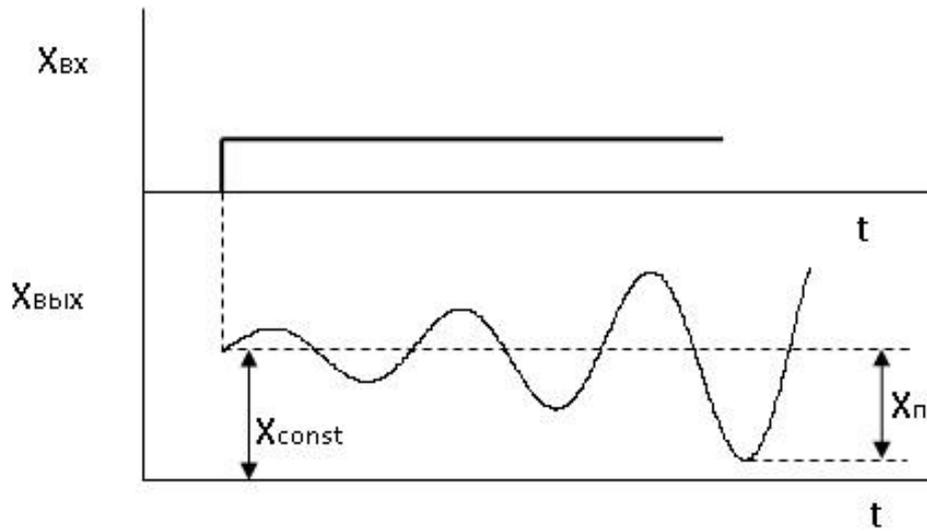


Рис. 1.24. Неустойчивость системы

И динамическая система находится на границе устойчивости (рис. 1.25):

$$\lim_{t \rightarrow \infty} X_n(t) = F(t).$$

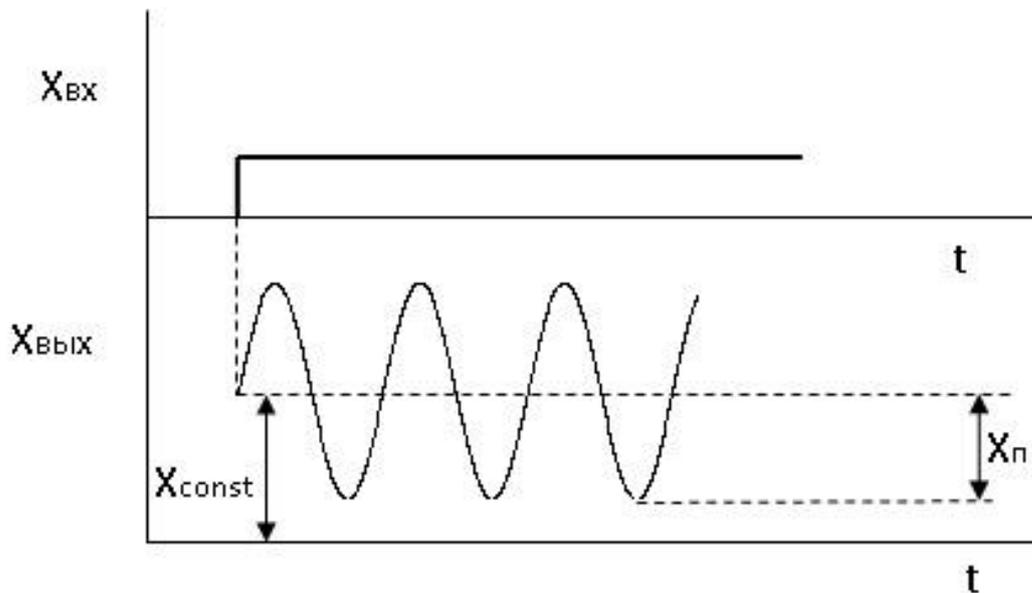


Рис. 1.25. Система на границе устойчивости

## Алгебраические критерии устойчивости

### Критерий устойчивости Ляпунова

Пусть имеем систему дифференциальных уравнений:

$$\frac{dx_i}{dt} = f_i(x_1, x_2, \dots, x_n, t), \quad i = 1, 2, \dots, n.$$

Решение системы  $\varphi_i(t)$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ , удовлетворяющее начальным условиям  $\varphi_i(t_0) = \varphi_{i0}$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ , называется **устойчивым по Ляпунову** при  $t \rightarrow \infty$ , если для любого  $\varepsilon > 0$  существует  $\delta(\varepsilon) > 0$  такое, что для всякого решения системы  $x_i(t)$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ , начальные значения которого удовлетворяют условиям

$$|x_i(t_0) - \varphi_{i0}| < \delta, \quad i = 1, 2, \dots, n; \quad (1.1)$$

имеют место неравенства

$$|x_i(t) - \varphi_i(t)| < \varepsilon, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (1.2)$$

для всех  $t \geq t_0$ .

Если при сколь угодно малом  $\delta > 0$  хотя бы для одного решения  $x_i(t)$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ , неравенства не выполняются, то решение  $\varphi_i(t)$  называется **неустойчивым**.

Если кроме выполнения неравенств (1.1) при условии (1.2) выполняется также условие

$$\lim_{t \rightarrow \infty} |x_i(t) - \varphi_i(t)| = 0, \quad i = 1, 2, \dots, n,$$

то решение  $\varphi_i(t)$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ , называется **асимптотически устойчивым**.

Исследование на устойчивость решения  $\varphi_i(t)$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ , можно свести к исследованию на устойчивость нулевого (тривиального) решения  $x_i \equiv 0$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ , некоторой системы:

$$\frac{dx_i}{dt} = F_i(x_1, x_2, \dots, x, t), \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (1.3)$$

где  $F_i(0, 0, \dots, 0, t) \equiv 0$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ .

Говорят, что точка  $x_i \equiv 0$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ , есть точка **покоя** системы (1.3).

## Критерий устойчивости Рауса – Гурвица

Пусть дан характеристический полином, описывающий САР:

$$a_0 y^n + a_1 y^{n-1} + a_2 y^{n-2} + \dots + a_{n-1} y' + a_n = 0.$$

На его основании составляется матрица

$$\Gamma = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & a_5 & \dots & 0 & 0 \\ a_0 & a_2 & a_4 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & a_1 & a_3 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & a_{n-1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & a_{n-2} & a_n \end{vmatrix}$$

Эта матрица составляется следующим образом:

– от  $a_1$  до  $a_2$  каждая строка дополняется коэффициентами с нарастающими индексами слева направо по главному минору. В случае отсутствия данного коэффициента, а также если индекс его меньше нуля или больше  $n$ , на его месте пишется ноль;

–  $a_0 > 0$ , должны быть больше нуля все  $n$  определителей Гурвица, получаемых из квадратной матрицы коэффициентов.

## Критерий устойчивости Михайлова

Критерий Михайлова предполагает построение годографа на комплексной плоскости. Для построения годографа из характеристического уравнения замкнутой системы путем подстановки  $p = j\omega$  получают аналитическое выражение вектора  $M(j\omega)$ :

$$M(j\omega) = a_0(j\omega)^n + a_1(j\omega)^{n-1} + \dots + a_n. \quad (1.4)$$

Данное уравнение является комплексным и может быть представлено в виде:

$$M(j\omega) = P(\omega) + jQ(\omega),$$

$$P(\omega) = a_n - \omega^2 a_{n-2} + \omega^4 a_{n-4} - \dots,$$

$$Q(\omega) = \omega(a_{n-1} - \omega^2 a_{n-3} + \omega^4 a_{n-5} - \dots)$$

Построение годографа производится по уравнению вектора  $M(j\omega)$ , при изменении частоты от 0 до  $+\infty$ . Оценка устойчивости системы осуществляется по углу поворота годографа при изменении частоты  $0 < \omega < +\infty$ , т.е. по приращению  $\Delta$  аргумента  $M(j\omega)$ :

$$\Delta \arg M(j\omega) = \arg M(j \cdot \infty) - \arg M(j \cdot 0) = n \cdot \frac{\pi}{2} - m \cdot \pi,$$

где  $m$  – число правых корней характеристического полинома;  
 $n$  – порядок характеристического уравнения системы.

Тогда для устойчивости линейной системы  $n$ -го порядка необходимо и достаточно, чтобы изменение аргумента годографа  $M(j\omega)$  при изменении от 0 до  $+\infty$  равнялось  $n \frac{\pi}{2}$ .

Критерий Михайлова формулируется так: система устойчива, если годограф Михайлова  $M(j\omega)$  при изменении от 0 до  $+\infty$ , начинаясь на положительной части действительной оси, обходит последовательно в положительном направлении (против часовой стрелки)  $n$  квадрантов и в  $n$ -м квадранте уходит в  $\infty$ . Если годограф начинается в нулевой точке комплексной плоскости или проходит через эту точку при определенной частоте, то система считается нейтральной. В этом случае  $P(\omega) = 0$  и  $Q(\omega) = 0$ . Из этих уравнений можно определить значения параметров, при которых система находится на границе устойчивости (критические значения). На рис. 1.26 приведены годографы Михайлова для устойчивых и неустойчивых САУ.

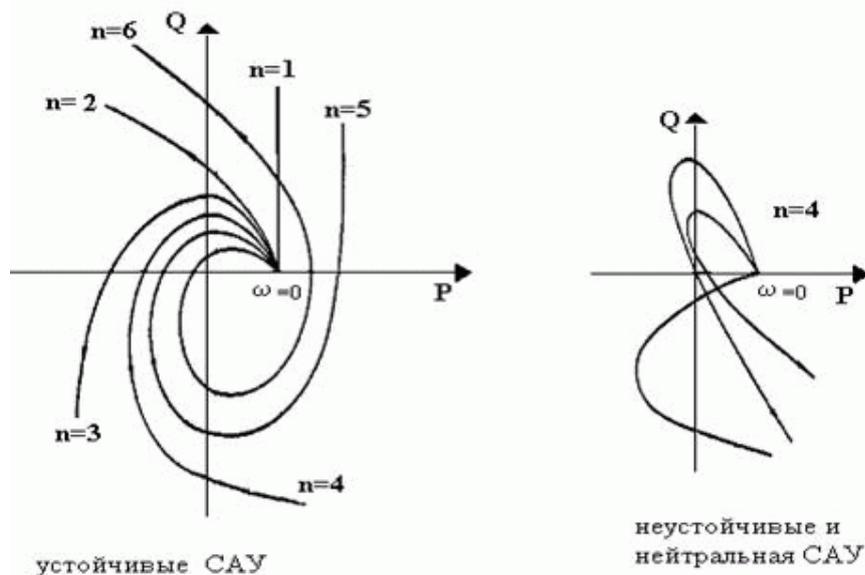


Рис. 1.26. Годографы Михайлова

Имеется вторая формулировка критерия Михайлова: для устойчивости системы необходимо и достаточно, чтобы корни уравнений  $P(\omega) = 0$  и  $Q(\omega) = 0$  перемежались (чередовались), т.е. годограф последовательно пересекал оси комплексной плоскости. Этой формулировкой удобно пользоваться для исследования устойчивости систем до пятого порядка включительно.

### Частотный критерий устойчивости Найквиста

Критерий Найквиста – частотный критерий, позволяющий по виду амплитудно-фазовой частотной характеристики (АФЧХ) разомкнутой системы оценить устойчивость работы замкнутой системы. АФЧХ может быть получена экспериментально или аналитически. Аналитическое построение АФЧХ производится обычными методами. Критерий Найквиста формулируется по-разному в зависимости от того, устойчива разомкнутая система или нет.

Если разомкнутая система устойчивая, то для устойчивости замкнутой системы необходимо и достаточно, чтобы АФЧХ разомкнутой системы при изменении частоты от 0 до  $\infty$  не охватывала точку с координатами  $-1, j0$ . Если АФЧХ разомкнутой системы проходит через точку с координатами  $-1, j0$ , то система будет нейтральной. На рис. 1.27 ниже представлены АФЧХ разомкнутых статических систем. Критерий Найквиста позволяет наглядно проследить влияние изменения параметров передаточной функции на устойчивость системы.

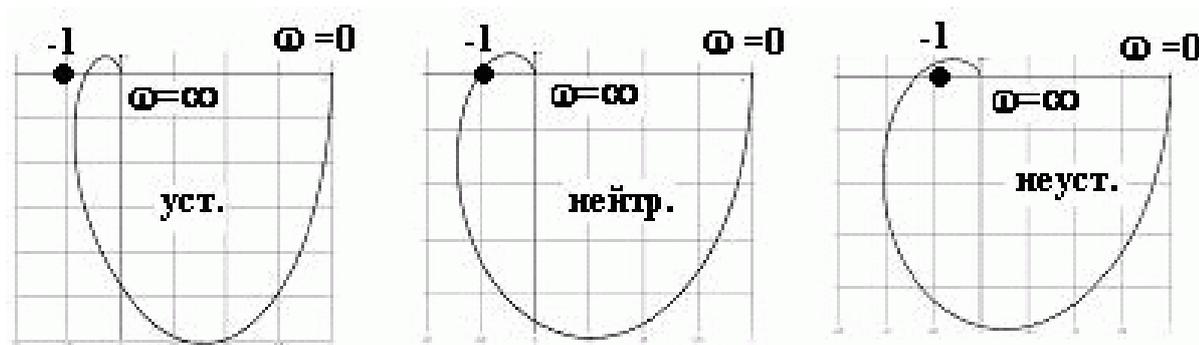


Рис. 1.27. АФЧХ разомкнутых САУ

АФЧХ астатической системы, начинаясь на вещественной положительной полуоси, при  $\omega > 0$  дугой бесконечно большого радиуса перемещается на угол, равный  $\nu\pi/2$ , где  $\nu$  – порядок астатизма. На рис. 1.27 ниже изображена АФЧХ устойчивой в замкнутом состоянии астатической системы первого порядка.

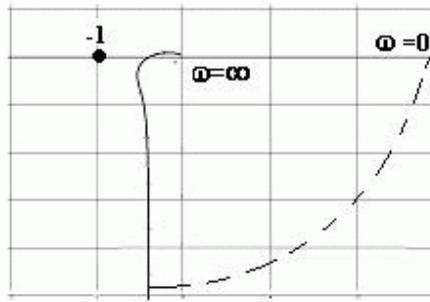


Рис. 1.28. АФЧХ астатической САУ первого порядка

Если разомкнутая система неустойчива, то для устойчивости замкнутой системы необходимо и достаточно, чтобы АФЧХ разомкнутой системы охватывала точку с координатами  $(-1, j0)$  и при изменении частоты от  $0$  до  $\infty$  оборачивалась вокруг нее против часовой стрелки  $m$  раз, где  $m$  – число правых полюсов разомкнутой системы.

Существуют два класса САУ: абсолютно устойчивые и условно устойчивые. В первом классе систем только увеличение коэффициента усиления разомкнутой системы может привести к потере устойчивости, а условно устойчивая система может стать неустойчивой как при увеличении, так и при уменьшении коэффициента усиления. Для абсолютно устойчивых систем вводится понятие запаса устойчивости по амплитуде (модулю) и запаса устойчивости по фазе. Запасы устойчивости определяют на частоте среза  $\omega_{ср}$ , на которой  $A(\omega_{ср}) = 1$ . Запас устойчивости по амплитуде задается некоторой величиной  $1/a$  (рис. 1.29), которая показывает, во сколько раз можно увеличить коэффициент усиления разомкнутой системы, чтобы САУ оказалась на границе устойчивости.

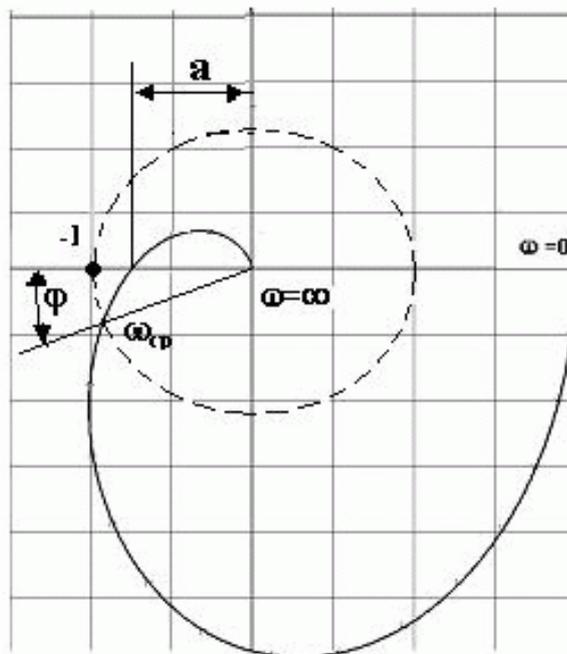


Рис. 1.29. АФЧХ абсолютно устойчивой системы

Запас устойчивости по фазе задается некоторым углом  $\varphi$ . В хорошо демпфированных системах запас устойчивости по амплитуде составляет примерно 6...20 дБ, что составляет 2...10 в линейном масштабе, а запас по фазе от 30 до 60. Наиболее удобно для исследования устойчивости использовать построенные логарифмические амплитудные характеристики (ЛАХ) и логарифмические фазные характеристики (ЛФХ), располагая их друг под другом так, чтобы оси ординат совмещались и выбирая одинаковые масштабы оси абсцисс (рис. 1.30).

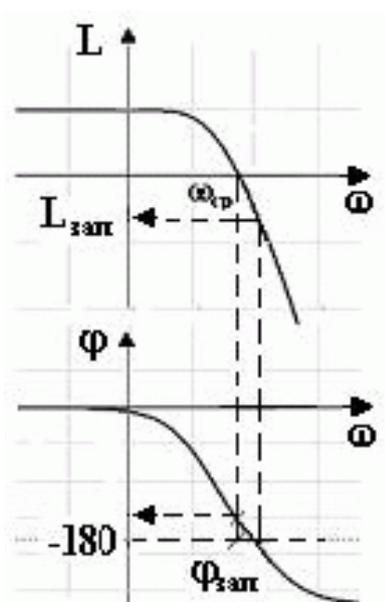


Рис. 1.30. ЛЧХ абсолютно устойчивой системы

По ЛЧХ разомкнутой системы можно определить запасы устойчивости: запас по фазе  $\varphi_{\text{зап}}$  отсчитывается по ЛФХ на частоте среза  $\omega_{\text{ср}}$  и равен  $\varphi_{\text{зап}} = \pi - \varphi(\omega_{\text{ср}})$ , а запас по амплитуде  $L_{\text{зап}}$  соответствует значению ЛАХ на частоте, при которой ЛФХ равна  $-\pi$ . Если  $\varphi(\omega_{\text{ср}}) = -\pi$ , то система находится на границе устойчивости. Критический коэффициент усиления разомкнутой системы  $K_{\text{кр}}$  определяется из выражения  $20 \cdot \lg(K_{\text{кр}}) = 20 \cdot \lg(K_{\text{раз}}) + L_{\text{зап}}$ . Критерием Найквиста удобно пользоваться для исследования устойчивости систем с запаздыванием. В этом случае строятся ЛЧХ разомкнутой САУ с запаздыванием  $W_{\tau}(j\omega) = W(j\omega) \cdot e^{-j(\omega)\tau}$ . Логарифмическая частотная характеристика не изменяется, а ЛФХ сдвигается вниз на величину  $-\omega_i\tau$ , где  $\omega_i$  – значение частоты в конкретной точке. Критическое значение времени чистого запаздывания  $\tau_{\text{кр}}$ , при котором САУ будет на границе устойчивости, находится по формуле:

$$\tau_{\text{кр}} = \frac{\varphi_{\text{зап}}}{\omega_{\text{ср}}} .$$

Чтобы спроектировать систему с заданными показателями качества, строят запретную область вокруг точки с координатами  $(-1, j0)$ , в которую не должна заходить АФЧХ разомкнутой системы, как показано на рис. 1.31.

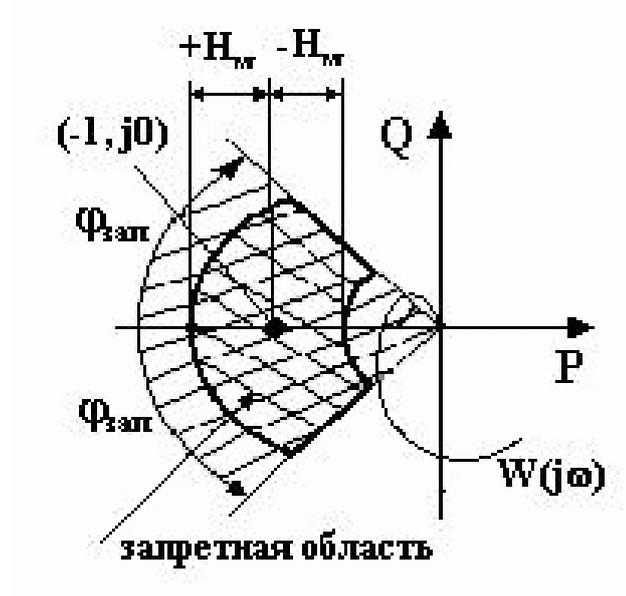


Рис. 1.31. Запретная область

### 1.2.2 Качество работы систем автоматики

#### Запас устойчивости систем автоматики

На рис. 1.32 показана амплитудно-фазовая характеристика разомкнутой системы  $W_{pc}(j\omega)$  и окружность с радиусом  $R = 1$ .

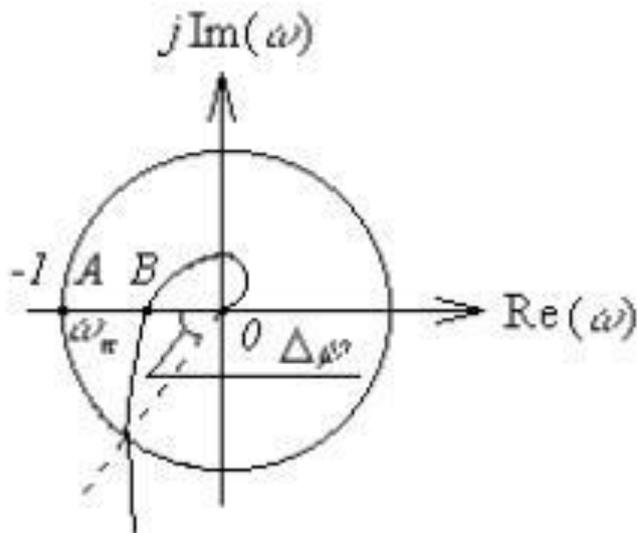


Рис. 1.32. Амплитудно-фазовая характеристика к определению запаса устойчивости по модулю и по фазе

Запас устойчивости по модулю  $\Delta A$  определяется величиной отрезка АВ. Он показывает, на какую величину нужно увеличить амплитуду амплитудно-фазовой характеристики разомкнутой системы  $A_{pc}(\omega)$  без изменения фазы, чтобы замкнутая система вышла на границу устойчивости:

$$\Delta A = 1 - A(\omega_\pi).$$

Запас устойчивости по фазе  $\Delta\varphi$  определяется величиной:

$$\Delta\varphi = \pi - |\varphi(\omega_\pi)|.$$

Он показывает, на какую величину по часовой стрелке нужно повернуть по фазе без изменения амплитуды вектор амплитудно-фазовой характеристики разомкнутой системы, чтобы замкнутая система вышла на границу устойчивости.

Если в систему ввести звено транспортного запаздывания, то её запас устойчивости по фазе уменьшится. Время запаздывания, при котором замкнутая система выходит на границу устойчивости, называется критическим. Из рисунка ниже следует, что оно определяется величиной:

$$\tau_{xp} = \frac{\Delta\varphi}{\omega_0},$$

где  $\omega_0$  – частота, при которой для разомкнутой системы без транспортного запаздывания выполняется условие  $A_{pc} = 1$ .

Если увеличить коэффициент усиления статической разомкнутой системы  $K_{pc} = W_{pc}(0)$ , то запас устойчивости по модулю будет уменьшаться. Значение  $K_{pc}$ , при котором замкнутая система выходит на границу устойчивости, называется критическим. Оно определяется из условия:

$$|W_{pc}(K_{pc}, \omega_\pi)| = 1.$$

### Показатель колебательности

Предположим, что зависимость амплитуды от частоты может развиваться по одному из трёх вариантов (рис. 1.33):

- 1 – амплитуда не зависит от частоты,
- 2 – амплитуда при  $\omega_p$  имеет резонансный пик,
- 3 – с ростом частоты амплитуда уменьшается.

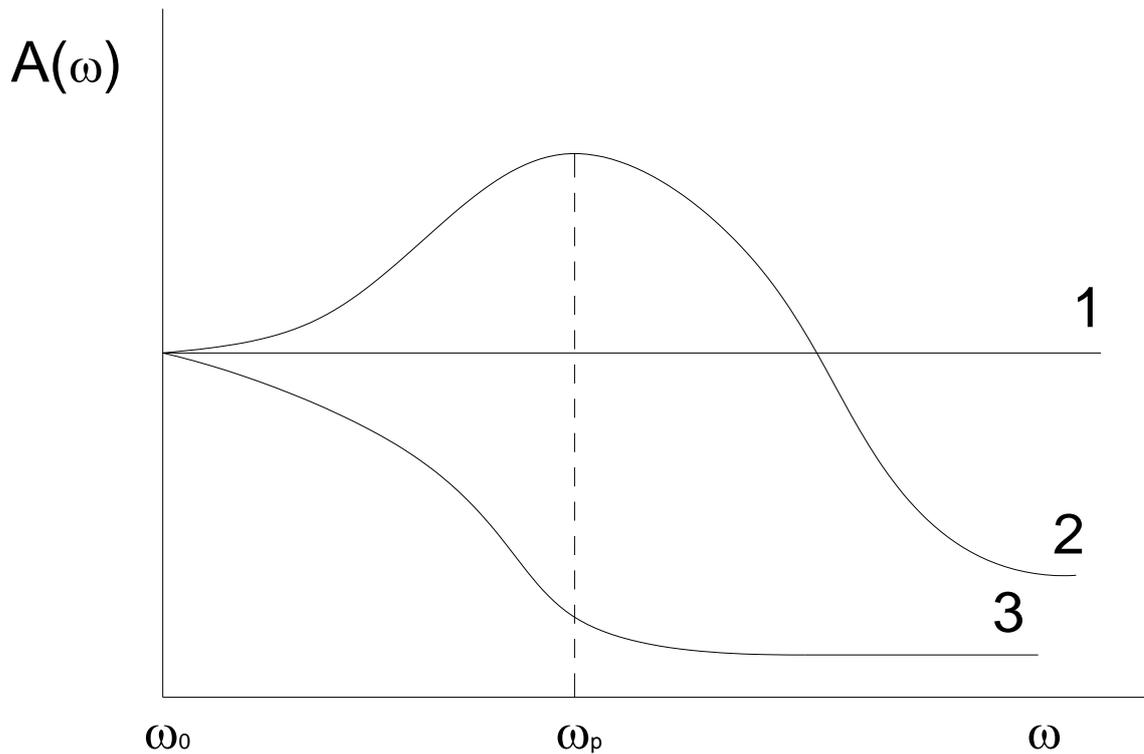


Рис. 1.33. Развитие зависимости амплитуды от частоты

Тогда показатель колебательности будет иметь вид:

$$M = \sup_{0 \leq \omega \leq \infty} \left( \frac{A(\omega)}{A(\omega_0)} \right).$$

В первом и третьем случаях  $M = 1$ , во втором  $M > 1$ . Для устойчивости динамической системы обычно достаточно  $M < 1,2 \dots 1,6$ .

### 1.3 Локомотивные системы автоматического управления, регулирования и защиты (САУ, САР, САЗ)

#### 1.3.1 Классификация локомотивных САУ, САР, САЗ

Классификация локомотивных САУ, САР, САЗ представлена на рис. 1.34.

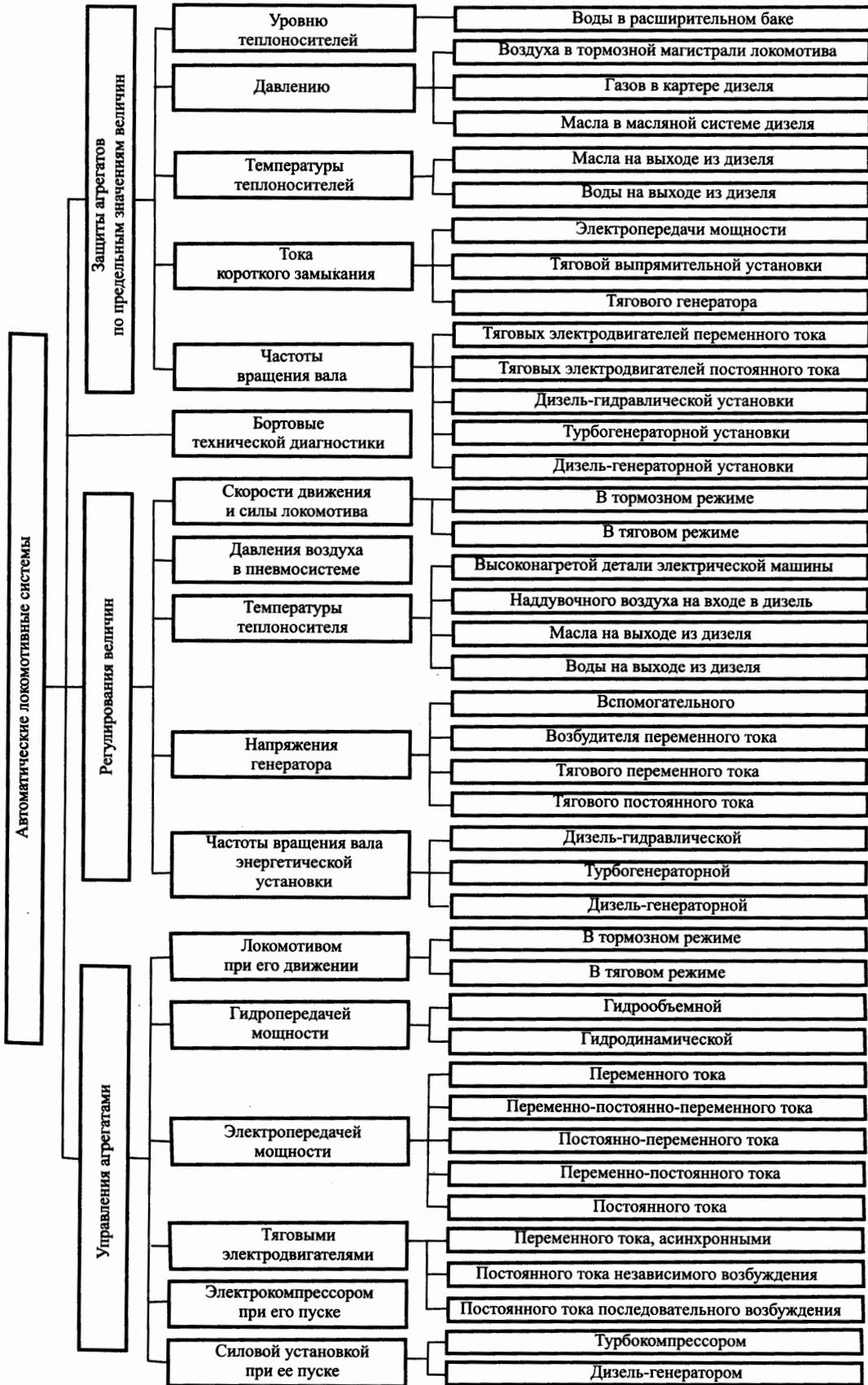


Рис. 1.34. Классификация тепловозных САУ, САР, САЗ

### *1.3.2 Автоматическое регулирование частоты вращения дизеля*

#### **Задачи автоматизации дизель-генератора**

Во многих случаях применения дизелей на локомотивах статические и динамические свойства элементов дизеля оказываются несовместимыми для широких диапазонов режимов и обеспечивают согласование их работы лишь в каком-то режиме, наиболее часто встречающемся в эксплуатации.

Отклонение от этого режима приводит к неизбежным потерям, снижающим эффективность применения дизеля на локомотиве в качестве источника энергии. Последнее обстоятельство усугубляется еще в большей степени несогласованностью свойств элементов в неустановившихся режимах работы, переходных процессах, составляющих в ряде случаев значительную часть времени эксплуатации. Изменение режимов работы дизель-генераторов и дизель-гидравлических установок осуществляется циклически: холостой ход – нагрузка – холостой ход, причем последовательность чередования нагрузок, их значения по циклам и продолжительность циклов весьма неравномерны. Например, у дизель-генераторов тепловозов типа ТЭ10 по времени режимы работы составляют: при частичных нагрузках ~30...40 %, переходные процессы – 20 %; холостого хода – 35...40 %, а режимы работы с полной нагрузкой не превышают 10 %; суммарный эксплуатационный расход топлива при работе дизель-генераторов на частичных нагрузках и неустановившихся режимах достигает 85 % всего расходуемого топлива.

Для исключения этих и других нежелательных явлений необходимо стремиться к согласованию характеристик элементов двигателя, а также двигателя и потребителя энергии (тягового генератора или гидропередачи) во всех встречающихся в эксплуатации режимах работы или в большинстве из них. Задача эта может быть решена путем целенаправленного изменения характеристик отдельных элементов дизель-генераторов и дизель-гидравлических установок, а также путем их автоматизации и в первую очередь путем создания АСР частоты вращения их валов. В этих системах функции объектов регулирования частоты вращения вала выполняют дизель-генераторы и дизель-гидравлические установки, статические и динамические характеристики которых зависят от статических и динамических свойств как дизеля, так и передачи мощности. На локомотивах применяются различные АСР частоты вращения, различающиеся по принципу построения, типу регулятора частоты вращения, характеру его связей с АСР напряжения тягового генератора или с АСУ гидропередачей мощности.

В АСР частоты вращения валов дизель-генераторов и дизель-гидравлических установок применяются как статические П-регуляторы, так и астатические ПИ- и ПИД-регуляторы (на тепловозах ТГМ4, ТГМ6, ТЭМ2, ТЭ10 и др.). Статические регуляторы применяются как прямого действия (механические), так и непрямого действия (гидромеханические). Ведутся

большие работы по созданию электрогидравлических и электронных (микропроцессорных) регуляторов частоты вращения.

При автоматизации дизель-генераторов и дизель-гидравлических установок, в частности при создании АСР частоты вращения их валов, учитываются следующие основные технические требования:

- относительная статическая неравномерность астатической системы регулирования должна быть не более 1 %;
- после полного изменения нагрузки система регулирования должна обеспечивать относительное перерегулирование не более 8 %; время регулирования не должно быть более 5 с;
- динамический заброс (перерегулирование) частоты вращения должен быть в пределах 40–80 об/мин;
- отклонения частоты вращения в установившемся режиме от заданных значений не должны превышать  $\pm 0,25 \text{ с}^{-1}$ ;
- в соответствии с требованиями, предъявляемыми к локомотивам, приемистость дизеля по мощности должна быть в пределах 70...90 кВт/с;
- создаваемая или настраиваемая АСР частоты вращения должна отвечать и общим требованиям, изложенным в стандартах.

Этим требованиям наиболее полно отвечает регулятор непрямого действия изодромного типа (ПИД-регулятор). Задание на проектирование автоматического регулятора частоты может быть определено критериями, характеризующими необходимое качество работы автоматической системы. Основные критерии для проектирования регулятора: максимальное значение относительного перерегулирования частоты вращения при 100 %-м изменении нагрузки, время регулирования после 100 %-го изменения нагрузки. К заданию на разработку АСР частоты вращения прилагаются данные о статических и динамических свойствах дизель-генератора или дизель-гидравлической установки как объекта регулирования частоты вращения вала. На основании заданных показателей качества работы автоматической системы затем определяют оптимальные значения статических и динамических параметров регулятора частоты вращения.

Точный метод определения параметров регулятора состоит в составлении дифференциальных уравнений динамики дизель-генератора или дизель-гидравлической установки и элементов регулятора с последующим решением уравнения системы регулирования. Исследование уравнения динамики системы для различных параметров регулятора позволяет выбрать такие значения его параметров, при которых обеспечиваются заданные показатели качества работы системы.

### **Характеристика автоматических регуляторов частоты вращения**

На рис. 1.35 представлена схема объединённого регулятора.

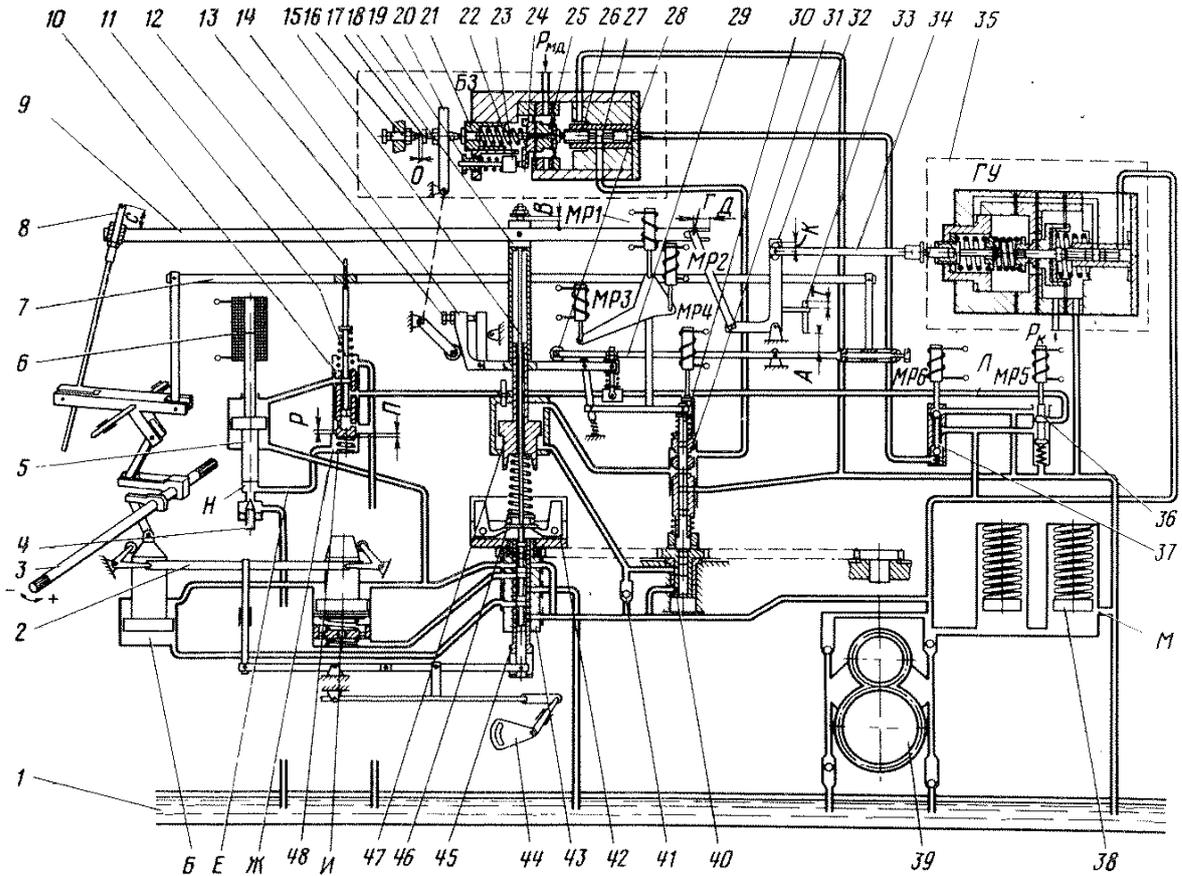


Рис. 1.35. Схема объединённого регулятора:

1 – масляная ванна регулятора; 2 – рычажная передача; 3 – вал; 4 – игла; 5 – поршень серводвигателя индуктивного датчика; 6 – индуктивный датчик; 7 – рычажная передача к золотнику регулирования нагрузки; 8 – шток; 9 – суммирующий рычаг; 10 – втулка регулирования нагрузки; 11 – золотник регулирования нагрузки; 12 – толкатель; 13, 17 – регулировочные болты; 14 – кулачок; 15 – золотник регулятора скорости; 16 – болт регулирования стопа; 18 – траверса; 19 – пробка; 20, 29, 32 – рычаги; 21 – стакан; 22 – пружина обратной связи блока защиты; 23 – микропереключатель; 24 – тарелка; 25 – мембранный блок; 26 – золотниковая втулка; 27 – золотник блока защиты; 28 – ролик; 30 – золотник управления частотой вращения; 31 – втулка управления частотой вращения; 33 – регулировочный винт; 34 – тяга; 35 – винт регулирования наклона тепловозной характеристики; 36 – золотник; 37 – золотник выключения; 38 – аккумулятор масла; 39 – масляный насос; 40 – механизм изменения длительности набора частоты вращения; 41 – клапан; 42 – измеритель скорости; 43 – букса; 44 – сектор согласования положения поршней; 45 – подвижная втулка; 46 – всережимная пружина; 47 – поршень управления частотой вращения; 48 – пружина; А – зазор между винтом и рычагом регулятора мощности; В – полость под поршнем силового серводвигателя; В – зазор на выключение; Д – размер от края суммирующего рычага до точки Г; Е – канал издромной обратной связи; Ж – издромная полость золотника регулирова-

ния нагрузки;  $I$  – полость под поршнем дополнительного серводвигателя;  $K$  – размер, определяющий наклон ограничительной характеристики по давлению наддува;  $L$  – канал для подвода масла к золотнику;  $M$  – канал для слива масла из аккумулятора;  $H$  – изодромная полость серводвигателя;  $O$  – зазор механизма выключения регулятора по падению давления масла;  $\Pi, P$  – перекрыши;  $C$  – величина выступания штока;  $T$  – величина выступания регулировочного винта

### ***1.3.3 Автоматическое регулирование напряжения тягового генератора***

#### **Классификация систем регулирования напряжения тягового генератора**

Тяговый генератор является одной из основных составных частей электрической передачи мощности от вала теплового двигателя к осям движущих колес локомотива или дизель-поезда. Зависимость силы тяги локомотива от скорости движения определяется зависимостью напряжения тягового генератора  $U_{\Gamma}$  от тока нагрузки  $I_{\Gamma}$  (тяговых электродвигателей). При постоянной частоте вращения вала дизель-генератора и мощности дизеля график зависимости  $U_{\Gamma}(I_{\Gamma})$  имеет вид гиперболы. На этот график накладываются ограничения по максимально допустимым значениям  $U_{\Gamma}$  и  $I_{\Gamma}$ .

Внешние характеристики тяговых генераторов  $U_{\Gamma}(I_{\Gamma})$  постоянного и переменного тока значительно отличаются от зависимости  $U_{\Gamma}(I_{\Gamma})$ , требуемой по условиям  $\omega_{\text{в}} = \text{const}$  и  $M = \text{const}$  (рис. 1.35, а). Для обеспечения требуемой зависимости  $U_{\Gamma}(I_{\Gamma})$  к тяговому генератору подключаются один или несколько регуляторов напряжения. Совокупность тягового генератора и регуляторов его напряжения, соединенных линиями связи и механизмами сочленения и взаимодействующих между собой в процессе работы, представляет собой автоматическую систему регулирования напряжения (АСРН) тягового генератора. Эта система должна автоматически обеспечивать требуемые по условиям работы локомотива как тяговой транспортной машины зависимости  $U_{\Gamma}(I_{\Gamma})$  (рис. 1.36, б). Локомотивные АСРН тяговых генераторов подразделяются: по типу тягового генератора на АСРН тяговых генераторов постоянного тока и АСРН тяговых генераторов переменного тока.

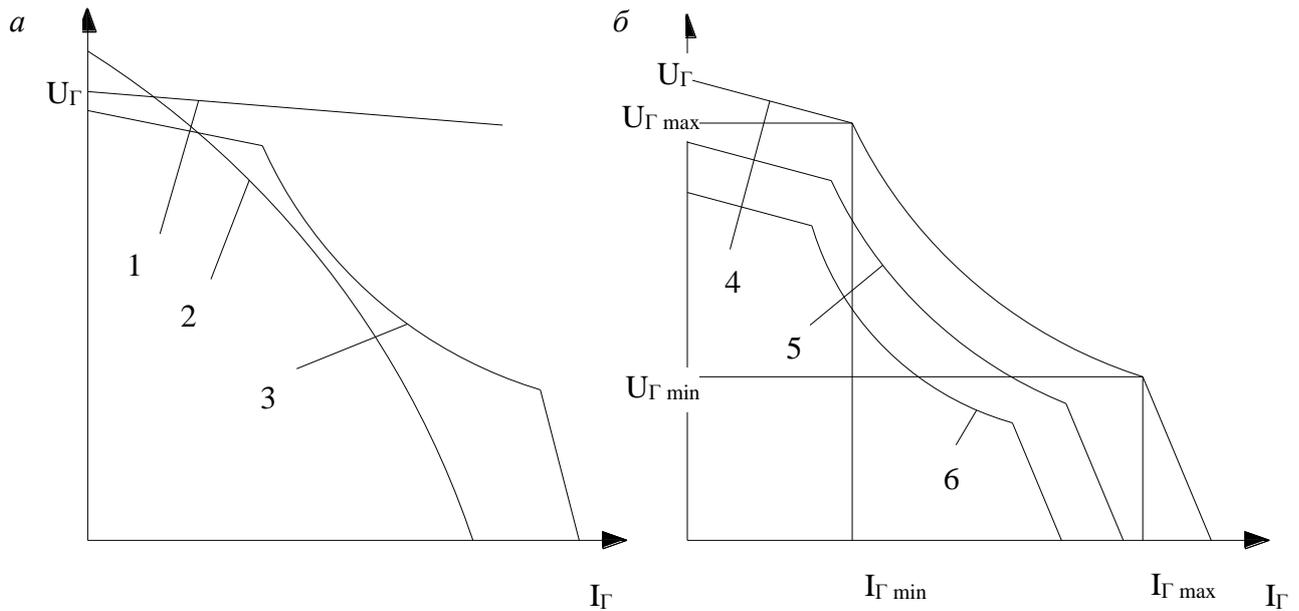


Рис. 1.36. Статические характеристики:

*a* – тягового генератора и системы регулирования напряжения при  $\omega_{\text{в}} = \text{const}$ ; *б* – автоматической системы регулирования напряжения тягового генератора при разных  $\omega_{\text{в}}$ ; 1 – тягового генератора постоянного тока; 2 – то же переменного тока; 3 – системы регулирования напряжений при  $\omega_{\text{в}} = \text{const}$ ; 4, 5 и 6 – то же при разных  $\omega_{\text{в}}$

### Схемы систем регулирования и тягового генератора

На тепловозах ТЭМ2 и ЧМЭ3 применяются АСРН тягового генератора постоянного тока, построенные на основе принципа регулирования по возмущениям: току нагрузки генератора (двигателей) и частоте вращения вала дизель-генератора. Это системы разомкнутые, неточные, но они просты и достаточно надежны. В них функции регулятора напряжения тягового генератора выполняют специальные машины постоянного тока – возбудители (В) и даже АСРН вспомогательного генератора (ВГ). В таких системах регулируемая величина  $U_{\Gamma}$  не измеряется и информация о ее текущем значении не подается в автоматический регулятор напряжения (АРН).

Требуемые статические характеристики  $U_{\Gamma}(I_{\Gamma}, \omega_{\text{в}})$  в этих системах получаются путем соответствующего подбора характеристик генератора-возбудителя и изменения сопротивления резисторов в цепях его системы возбуждения (рис. 1.37).

Недостатками систем регулирования по возмущению являются низкая точность и плохое качество работы.

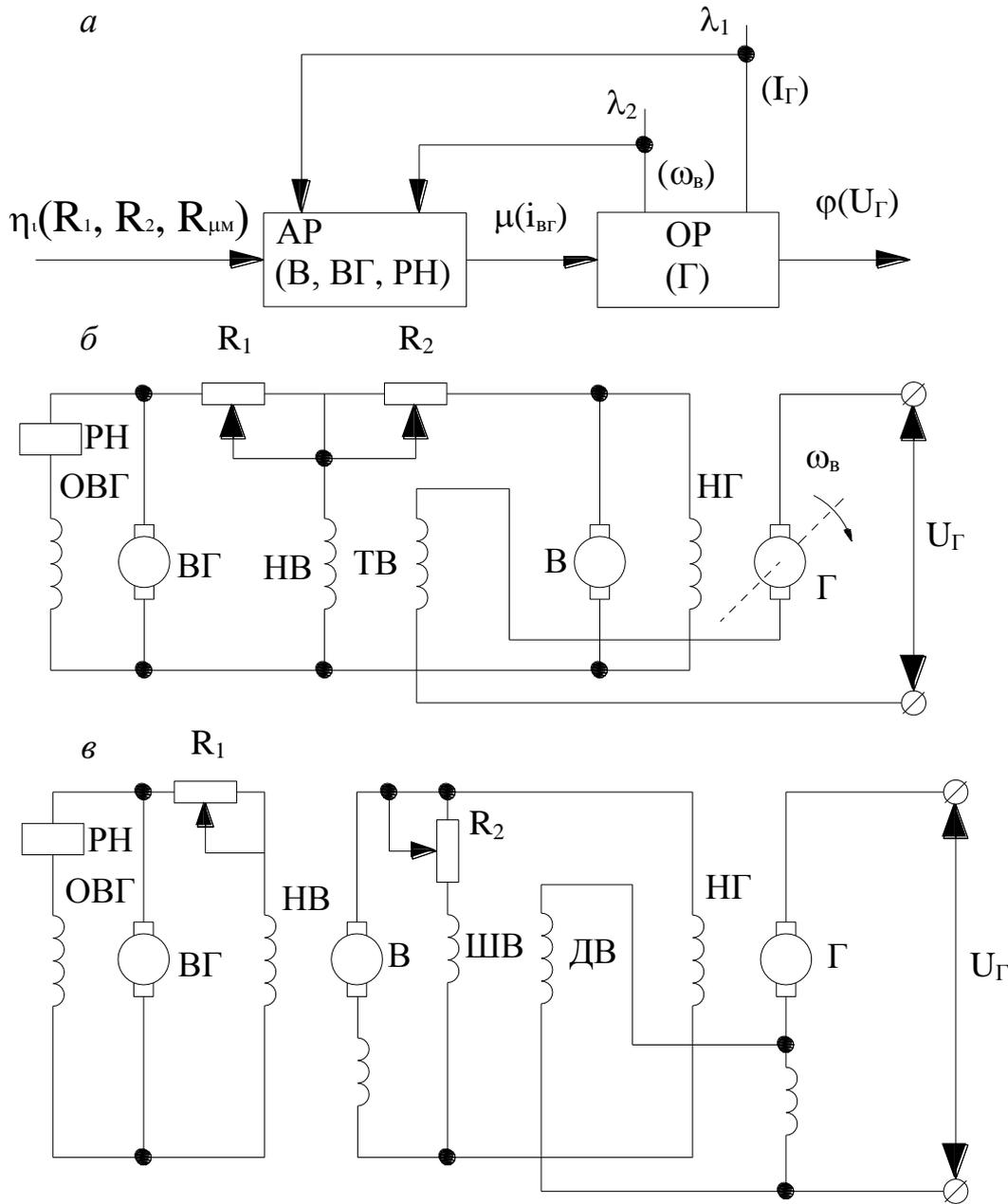


Рис. 1.37. Схемы автоматических систем регулирования напряжения тяговых генераторов постоянного тока, построенных по принципу регулирования по возмущениям:

*a* – функциональная; *б* – принципиальная системы, содержащей генератор-возбудитель с продольно-расщепленными полюсами; *в* – принципиальная системы, содержащей генератор-возбудитель с радиально-расщепленными полюсами

Функциональные схемы комбинированных автоматических систем регулирования напряжения тяговых генераторов представлены на рис. 1.38.

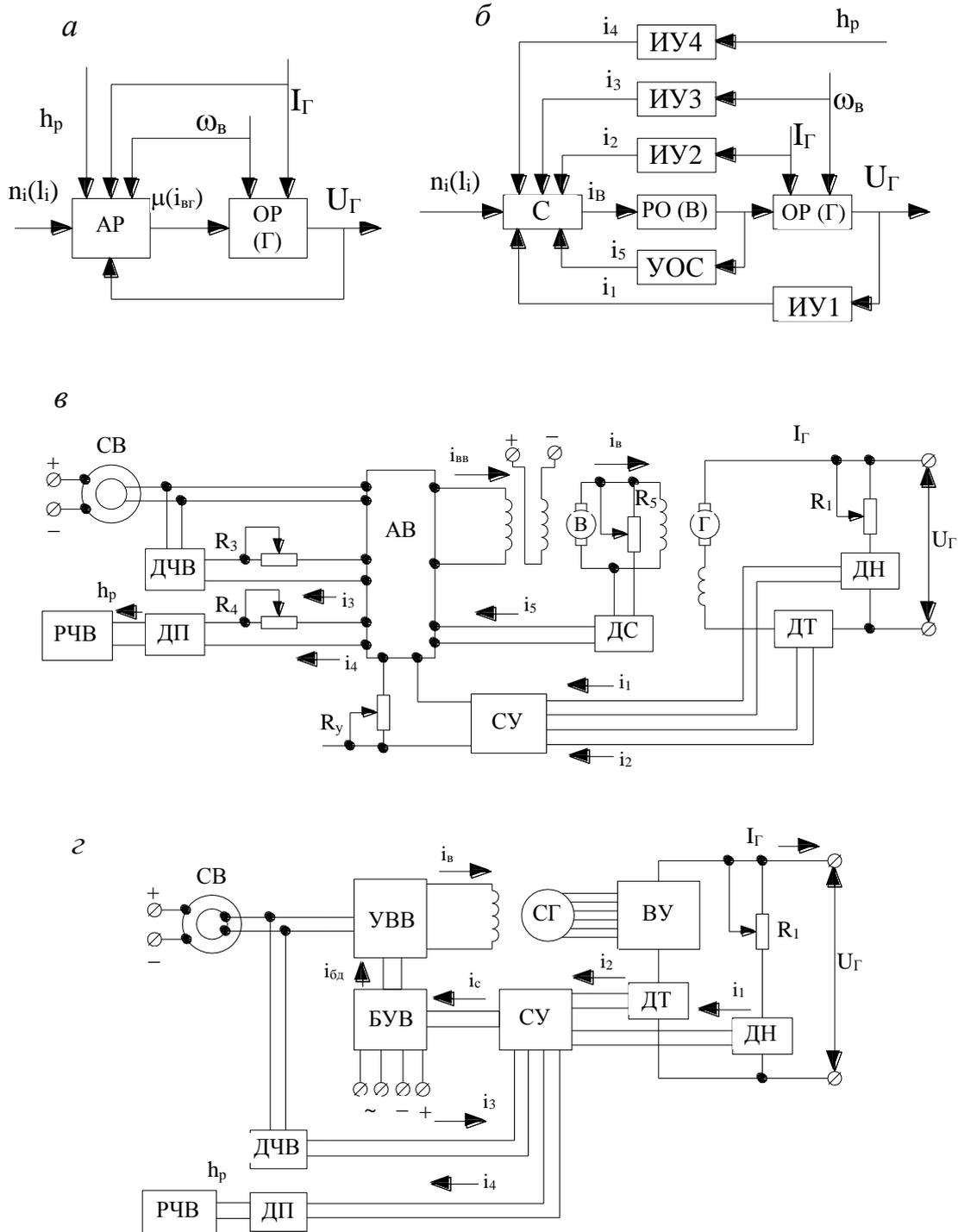


Рис. 1.38. Функциональные схемы комбинированных автоматических систем регулирования напряжения тяговых генераторов:

*а* – сокращенная; *б* – развернутая.

Принципиальные схемы тепловозных комбинированных автоматических систем регулирования напряжения тяговых генераторов:

*в* – постоянного тока; *з* – переменного тока

### Статические и динамические характеристики тягового генератора

Статические и динамические характеристики тягового генератора представлены на рис. 1.39.

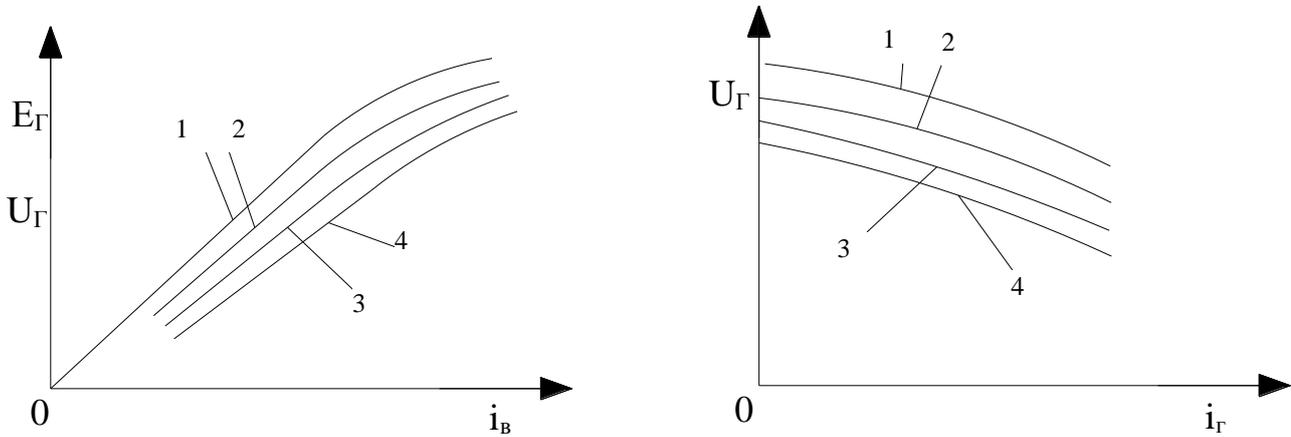


Рис. 1.39. Статические характеристики тягового генератора независимого возбуждения:

*a* – статические характеристики по регулируемому воздействию при различных значениях тока генератора и частоты вращения; 1 –  $I_{Г1} = 0$ ; 2 –  $I_{Г2}$ ,  $\omega_{В1}$ ; 3 –  $I_{Г2}$ ,  $\omega_{В}$ ; 4 –  $I_{Г2}$ ,  $\omega_{В2}$ ; *б* – статические характеристики по возмущающему воздействию при разных значениях частоты вращения и тока возбуждения; 1 –  $\omega_{В1}$ ,  $i_{В1}$ ; 2 –  $\omega_{В1}$ ,  $i_{В2}$ ; 3 –  $\omega_{В2}$ ,  $i_{В1}$ ; 4 –  $\omega_{В2}$ ,  $i_{В2}$

Структурная схема тягового генератора независимого возбуждения представлена на рис. 1.40.

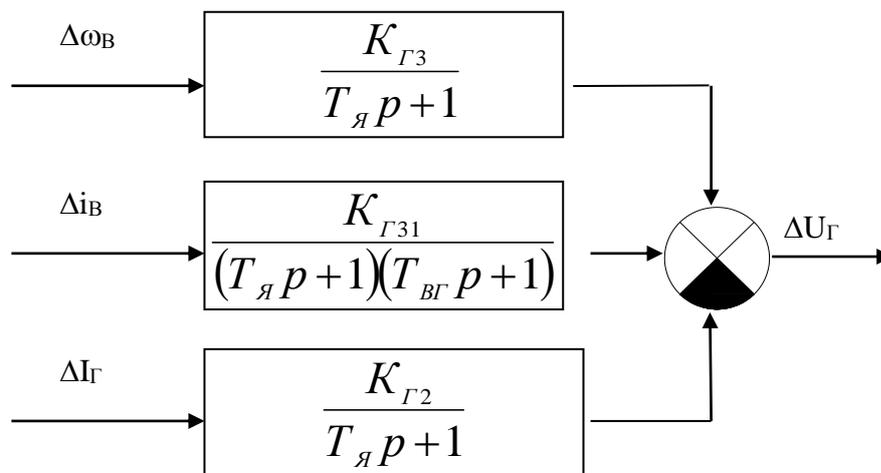


Рис. 1.40. Структурная схема тягового генератора независимого возбуждения

$$k_{\Gamma 1} = \frac{\Delta U}{\Delta i_B};$$

$$k_{\Gamma 1} = \frac{\Delta U}{\Delta I_{\Gamma}};$$

$$k_{\Gamma 1} = \frac{\Delta U}{\Delta \omega_B}.$$

### Устойчивость и качество работы систем регулирования и тягового генератора

На рис. 1.41 представлена структурная схема автоматического регулятора напряжения (АРН) по отклонению напряжения тягового генератора (ТГ).

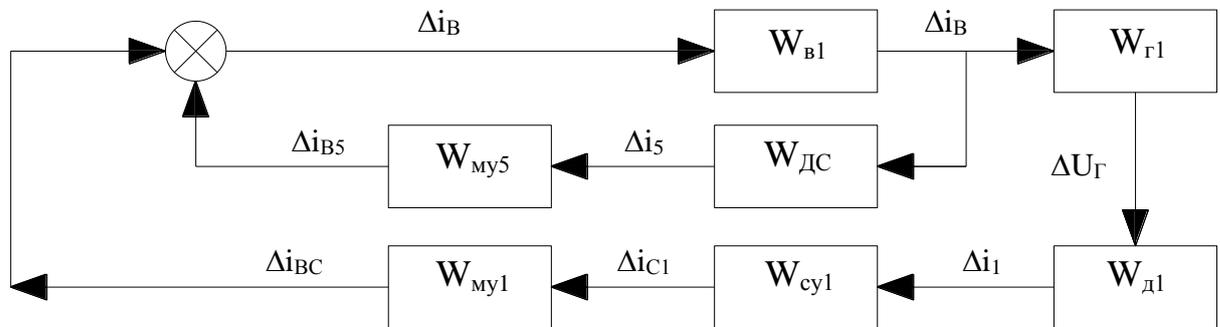


Рис. 1.41. Структурная схема АРН ТГ по отклонению напряжения тягового генератора

$$T_{\Gamma} T_B T_{MY} p^3 + (T_{\Gamma} T_B + T_{\Gamma} T_{MY} + T_B T_{MY} - T_{\Gamma} T_{1C} k_{B1}) p^2 +$$

$$+ (T_{\Gamma} + T_B + T_{MY} - T_{1C} k_{B1}) p + k_{\Gamma} k_B k_{MY} = 0$$

Условия устойчивости системы, характеристическое уравнение которой имеет третий порядок, как известно, заключаются в том, чтобы все коэффициенты были положительны и произведение средних коэффициентов было больше произведения крайних. Первое условие всегда выполняется. В коэффициенте при члене первого порядка слагаемые  $T_B$ ,  $T_{MY}$  и  $T_{1C} k_{B1}$  обычно намного меньше  $T_{\Gamma}$ . Если пренебречь ими, то можно приближенно оценить условие устойчивости:

$$\frac{T_{\Gamma}}{T_{MY}} + \frac{T_{\Gamma}}{T_B} \left( 1 + \frac{T_{1C} k_B}{T_{MY}} \right) + 1 > k_{\Gamma} k_B k_{MY}.$$

### 1.3.4 Автоматическое регулирование температуры теплоносителей

#### Оптимальные температурные режимы

Значения температуры теплоносителей (высоконагретой детали, воды, масла, воздуха и др.), охлаждающих узлы и агрегаты дизеля и передачи мощности, определяются особенностями работы охлаждаемых узлов, допустимыми значениями температур их деталей, требованиями, предъявляемыми к физико-химическим свойствам теплоносителей, и влиянием их температур на показатели рабочего процесса и износ дизеля и передачи мощности.

Температуры охлаждающей воды  $T_B'$  и масла  $T_M'$  на выходе из двигателя существенно влияют на экономичность и срок службы двигателей. Оптимальные значения этих величин устанавливаются для каждого типа двигателя. В большинстве случаев для двигателей температуры  $T_B'$  и  $T_M'$  принимались в пределах 70...90 и 70...85 °С, соответственно одинаковые для всех нагрузок.

Для предотвращения возникновения в двигателе значительных температурных деформаций (и уменьшения запаздывания в системах охлаждения) разность температур  $T_B'$ ,  $T_M'$ ,  $T_B''$ ,  $T_M''$  принимается сравнительно небольшой: 6...10 °С (для воды) и 10...15 °С (для масла).

Влияние  $T_B'$  на мощность, расход топлива и износ двигателя заключается в том, что от нее зависят температуры стенок цилиндров  $T_{CI}$  и тепловыделение в воду  $Q_B$ . Влияние этих факторов на мощность дизеля  $N_e$  противоположно. Уменьшение  $Q_B$  приводит к увеличению индикаторной работы, а повышение  $T_{CI}$  – к снижению коэффициента наполнения (весового заряда воздуха – у дизелей), вследствие чего мощность  $N_i$  уменьшается. Суммарное влияние этих двух факторов различно у разных двигателей. У большинства двигателей мощность  $N_e$  с ростом  $T_B'$  увеличивается, так как уменьшается мощность, затрачиваемая на трение. При повышении  $T_B''$  увеличивается температура  $T_{CI}$ , а следовательно и температура масла, находящегося на стенках. При этом снижается вязкость масла и уменьшаются потери на трение. С повышением температуры  $T_B'$  и увеличением механического КПД возрастает также и эффективный КПД, а удельный расход топлива уменьшается.

#### Классификация автоматических систем регулирования температуры (АСРТ)

Система охлаждения (СО) в совокупности с автоматическим регулятором температуры (АРТ) образуют АСРТ. На тепловозах применяются одно- и многоконтурные АСРТ.

Одноконтурные системы можно разделить на четыре группы по закону (алгоритму) работы регулятора: по отклонению регулируемой температуры от заданного значения; по отклонению и производной от отклоне-

ния регулируемой температуры; по отклонению и интегралу от отклонения; по отклонению, производной и интегралу от отклонения. АСРТ первой и второй групп статические, а третьей и четвертой – астатические.

АСРТ с использованием сигнала по возмущению называются комбинированными (инвариантными) системами (КАСРТ).

Наиболее простыми КАСРТ являются системы с внутренней компенсирующей связью. В этих системах один из элементов регулятора выполняется таким, что его выходной сигнал изменяется под действием не только выходного сигнала предыдущего элемента, но и сигнала, зависящего от возмущающего воздействия. Второй разновидностью КАСРТ являются системы с силовой (сигнальной) компенсацией возмущения. Сущность принципа регулирования по возмущению заключается в том, что специальное устройство (компенсатор) измеряет возмущение  $\lambda(t)$  (мощность, частоту вращения вала дизеля или температуру  $T_{ВЗ}$ ) и воздействует на объект для компенсации (уравновешивания влияния данного возмущения). Наряду с силовой компенсацией возмущения в КАСРТ применяется параметрическая компенсация, при которой параметры регулятора температуры (рис. 1.42) изменяются в зависимости от возмущений ( $N_{Д}$ ,  $\omega_{В}$  и  $T_{ВЗ}$ ), так чтобы обеспечивался постоянный запас устойчивости КАСРТ.

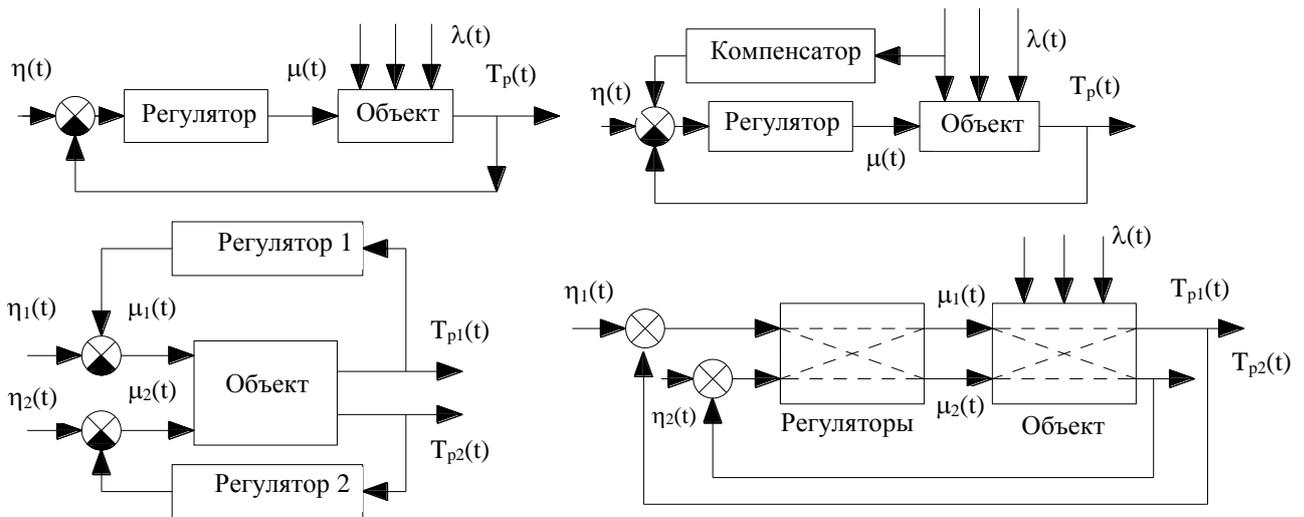


Рис. 1.42. Типовые функциональные схемы автоматических систем регулирования температуры:

*a* – одноконтурной, *б* – комбинированной, *в* – несвязанного регулирования, *г* – связанного регулирования

### 1.3.5 Автоматическое регулирование ТЭД

#### Классификация САУ ТЭД

Классификация систем управления передачами мощности и требования, предъявляемые к этим системам, обусловлены основными принципа-

ми управления передачами и условиями их применения на локомотивах и дизель-поездах.

Основные принципы управления передачей мощности определяются условиями ее работы на локомотиве. Тяговая характеристика (рис. 1.43) автономного транспортного средства (тепловоза, газотурбовоза) или дизель-поезда имеет три характерных участка: АБ, БВ и ВГ. В соответствии с этим управление передачей должно быть различным при скоростях локомотива, соответствующих этим разным участкам тяговой характеристики.

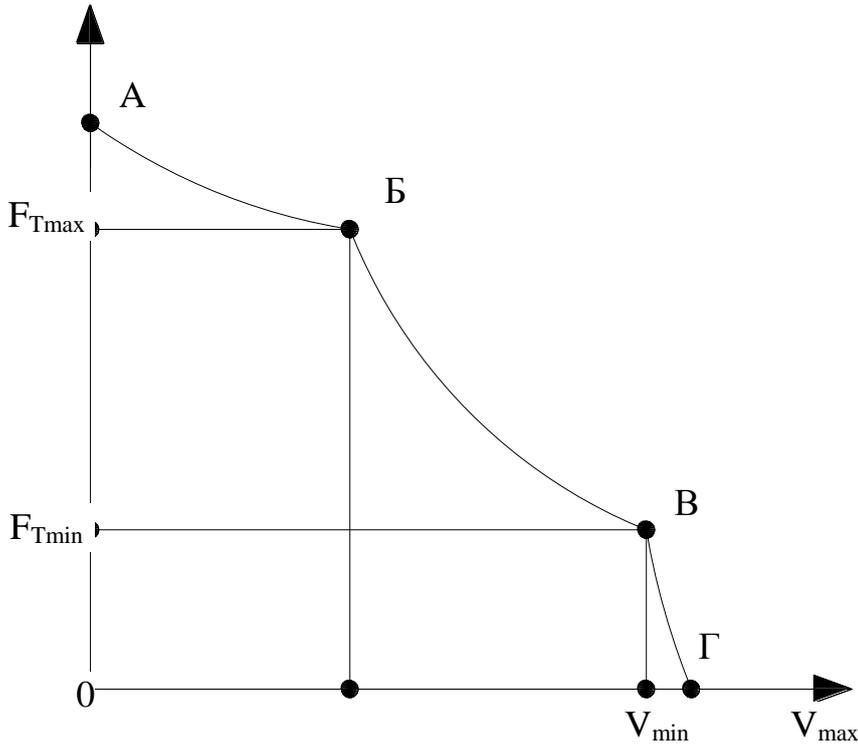


Рис. 1.43. Тяговая характеристика

При работе тепловоза в режиме, соответствующем первому участку АБ тяговой характеристики, вращающий момент на осях движущих колес  $M_k$ , а значит, и сила тяги  $F_T$  тепловоза мало зависит от изменения скорости движения от нуля до  $V_{min}$ . Следовательно, в первом режиме работы локомотива осуществляется принцип управления передачей, соответствующий выполнению условия  $V = var$  (переменная величина при  $F_T \sim const$ ). При этом мощность на выходном валу передачи увеличивается пропорционально скорости движения и достигает номинального значения при  $V_{min}$ . В данном режиме работы основными входными сигналами АСУ передачей мощности являются вращающий момент на ее выходном валу  $M_k$  и скорость движения тепловоза  $V$ . АСУ передачей мощности должна измерять вращающий момент и скорость движения и воздействовать на элементы передачи таким образом, чтобы в диапазоне скоростей от нуля до  $V_{min}$  значение момента оставалось приблизительно постоянным, т.е. должно осу-

ществляться автоматическое регулирование момента с помощью системы его стабилизации.

При работе тепловоза в режиме, соответствующем второму участку БВ тяговой характеристики, мощность, передаваемая от вала дизеля входному валу передачи, остается приблизительно постоянной. В этом режиме работы вращающий момент на выходном валу передачи (сила тяги) и частота вращения его (скорость движения тепловоза) изменяются в обратно пропорциональной зависимости друг от друга. При этом режиме работы основными входными сигналами АСУ передачей мощности являются момент на выходном валу и скорость движения тепловоза. АСУ передачи должна измерять эти величины и воздействовать на ее элементы таким образом, чтобы в диапазоне изменения скоростей от  $V_{\min}$  до  $V_{\max}$  вращающий момент на выходном валу передачи изменялся приблизительно в обратно пропорциональной зависимости от частоты вращения его  $M_k = 1/\omega_k$ .

При работе тепловоза в режиме, соответствующем третьему участку ВГ тяговой характеристики, вращающий момент на осях движущих колес должен изменяться таким образом, чтобы скорость тепловоза оставалась приблизительно постоянной и равной  $V_{\max}$ . Следовательно, в этом режиме работы должен реализоваться закон работы АСУ передачей, соответствующий выполнению условия;  $M_k = \text{var}$  при  $V = \text{const}$ , т.е. должно осуществляться регулирование скорости движения.

### Схемы САУ ТЭД

На тепловозах управление тяговыми электродвигателями (рис. 1.44) постоянного тока с последовательной системой возбуждения осуществляется путем плавного изменения питающего напряжения  $U_d$  и ступенчатого изменения тока возбуждения  $i_d$ . В АСУ тяговыми электродвигателями датчики ИУ1 и ИУ2 измеряют напряжение и ток двигателя. Эти датчики, датчик ЗУ, сравнивающее устройство (СУ) и усилитель (У) конструктивно образуют управляющий орган – реле переходов. Функции исполнительно-регулирующего устройства ИРУ выполняет контактор. На тепловозах серии ТЭ10 и других для двухступенчатого ослабления магнитного потока тяговых электродвигателей используется два двухкатушечных реле переходов РП1 и РП2, которые управляют индивидуальными или групповыми контакторами П1, Ш1, Ш2. Реле РП1 и РП2 одинаковы. Реле имеет катушку напряжения (Н) (ИУ1), которая последовательно с добавочными резисторами включена на напряжение тягового генератора (Г), и токовую катушку (Т), присоединенную вместе с добавочными резисторами параллельно обмотке добавочных полюсов (ДП) тягового генератора.

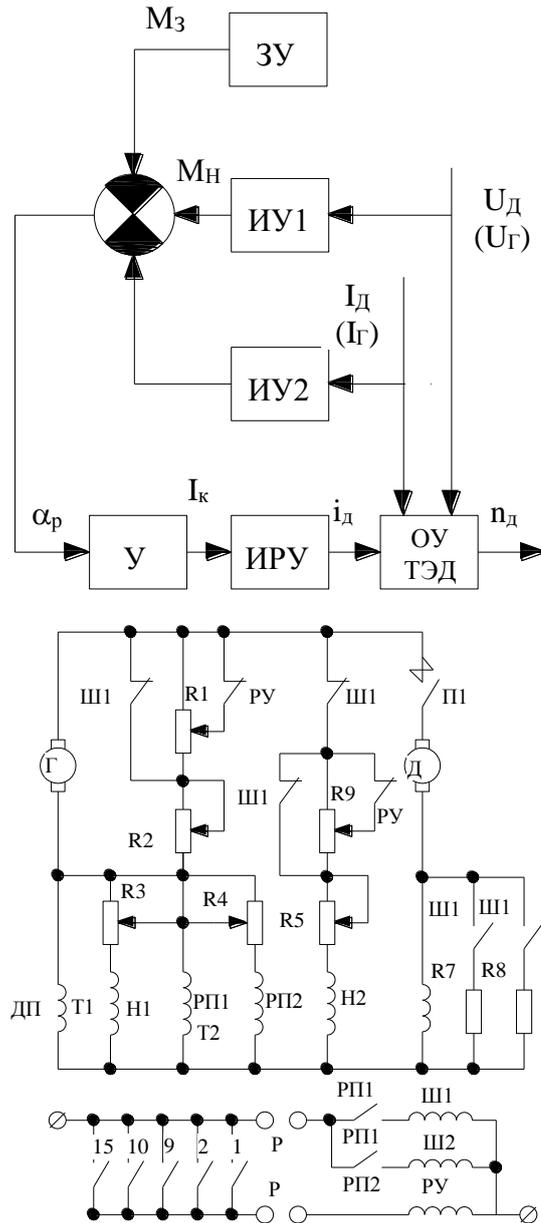


Рис. 1.44. Схемы автоматической системы управления ТЭД:  
*а* – функциональная, *б* – принципиальная

### 1.3.6 Датчики и чувствительные элементы (ЧЭ) систем локомотивной автоматики

#### Классификация ЧЭ

Классификация датчиков и ЧЭ систем локомотивной автоматики представлена на рис. 1.45.

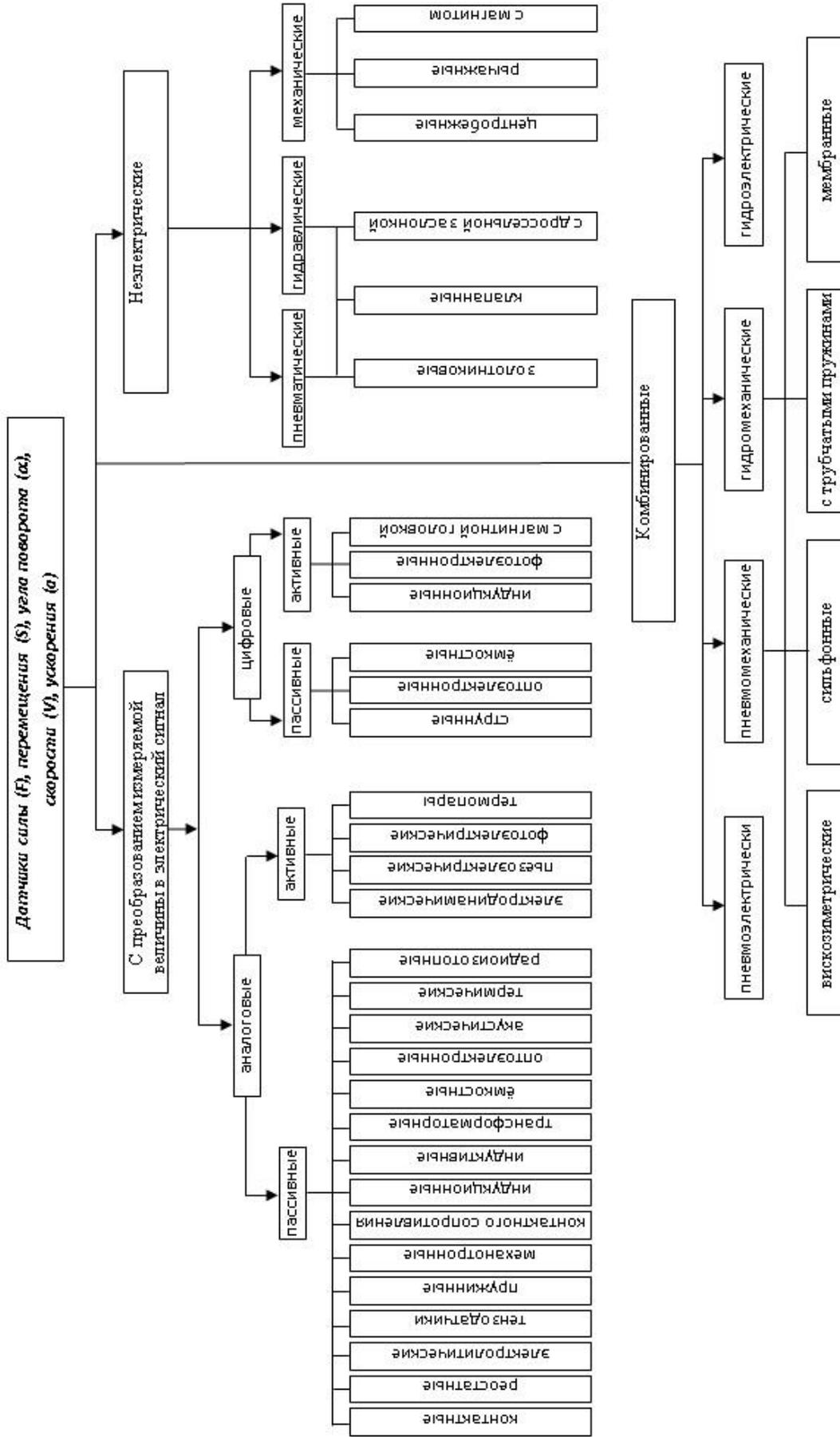


Рис. 1.45. Классификация датчиков

## Постоянная времени ЧЭ

Постоянная времени – промежуток времени  $\tau$ , в течение которого параметр, характеризующий переходный процесс, изменяется  $e$  раз ( $e \sim 2,718$ ). Например, при разрядке конденсатора ёмкостью  $C$  через сопротивление  $R$  сила тока в цепи  $I = I_0 \cdot \exp(-t/\tau)$ , где  $t$  – время,  $I_0$  – сила начального тока (при  $t = 0$ ).  $\tau = RC$  – здесь П. в.

## Релейная характеристика

Характеристика кусочно-линейного вида, соответствующая преобразованию в техническом устройстве (системе) непрерывной входной величины в дискретные значения выходной величины, представлена на рис. 1.46.

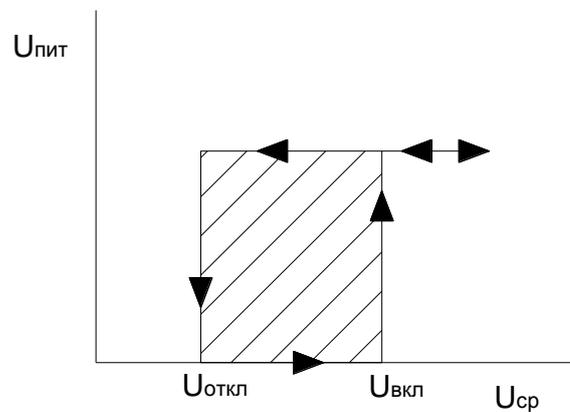


Рис. 1.46. Характеристика кусочно-линейного вида выходной величины

Дифференциал реле:

$$\Delta = U_{ВКЛ} - U_{ОТКЛ}.$$

Коэффициент возврата:

$$K_B = \frac{U_{ОТКЛ}}{U_{ВКЛ}}.$$

Чувствительность датчиков:

$$S = \frac{\Delta X_{ВЫХ}}{\Delta X_{ВХ}},$$

где  $S$  – величина чувствительности датчика. При  $S = \infty$  характеристика принимает релейный характер (рис. 1.47).

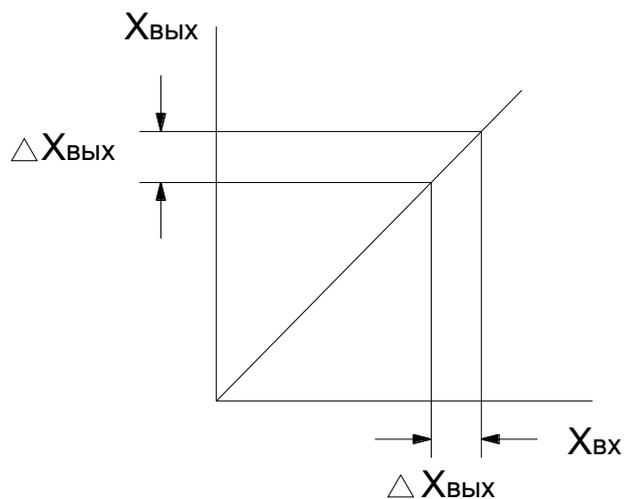


Рис. 1.47. Линейная характеристика

### Библиографический список

- 1 **Агейкин, Д.И.** Датчики контроля и регулирования / Д.И. Агейкин. – М. : Машиностроение, 1965. – 215 с.
- 2 **Луков, Н.М.** Автоматические системы управления локомотивов: учебник для вузов железнодорожного транспорта / Н.М. Луков, А.С. Космодамианской. – М. : ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2007. – 429 с.
- 3 **Васильев, К.К.** Теория автоматического управления (следающие системы): учеб. пособие / К.К. Васильев. – 2-е изд. – Ульяновск, 2001. – 98 с.

## 2 ЛОКОМОТИВНОЕ ХОЗЯЙСТВО

### Введение

Железные дороги, являясь одной из важнейших составных частей материально-технической базы нашей экономики, во многом определяют эффективность работы всех отраслей хозяйства страны. Одной из важнейших задач, стоящих перед железнодорожным транспортом, является дальнейшее повышение провозной и пропускной способности железных дорог и несомненное выполнение плана перевозок важнейших народнохозяйственных грузов.

Дисциплина «Локомотивное хозяйство» является такой научно-прикладной дисциплиной, которая помогает и позволяет решить ряд задач, стоящих перед железнодорожным транспортом. Локомотивное хозяйство рассматривает вопросы, касающиеся вопросов эксплуатации локомотивного хозяйства, наиболее рационального использования эксплуатируемого парка локомотивов и безопасности движения поездов или, иначе говоря, занимается вопросами экономики и эксплуатации.

### 2.1 Структура и организация управления локомотивным хозяйством

#### *2.1.1 Особенности структуры и управления тепловозным хозяйством*

Локомотивное хозяйство обеспечивает перевозочную работу железных дорог тяговыми средствами и содержание этих средств в соответствии с техническими требованиями. В настоящее время локомотивное хозяйство разделено на дирекцию тяги (Т) и дирекцию по ремонту тягового подвижного состава (ТР). В состав «Т» входят эксплуатационные локомотивные депо, пункты смены бригад, базы запаса локомотивов. В состав «ТР» – ремонтные локомотивные депо, специализированные мастерские по ремонту отдельных узлов локомотивов, пункты технического обслуживания, экипировки локомотивов. Под экипировкой понимают комплекс операций (по снабжению локомотивов топливом, водой, песком, смазочными и обтирочными материалами), связанных с их подготовкой к работе.

Локомотивные депо находятся на участковых, сортировочных и пассажирских станциях.

По виду тяги различают тепловозные и электровозные депо. В пунктах оборота локомотивы находятся в ожидании поездов для обратного следования с ними. За это время, как правило, проводится их техническое обслуживание, совмещаемое с экипировкой.

Пункты смены бригад предусматривают преимущественно на участковых станциях и размещают исходя из условия обеспечения установленной продолжительности работы бригад.

Пункты экипировки располагают на территории депо. Пункты технического обслуживания локомотивов размещают как в локомотивных депо, так и в пунктах оборота.

Согласно ПТЭ размещение и техническое оснащение локомотивных депо, пунктов технического обслуживания локомотивов, мастерских, экипировочных устройств и других сооружений и устройств локомотивного хозяйства должны обеспечивать установленные размеры движения поездов, эффективное использование локомотивов и материальных ресурсов, высококачественный ремонт и техническое обслуживание, безопасные условия труда.

Все локомотивы, приписанные к дороге (депо) и числящиеся на ее балансе, образуют так называемый инвентарный парк, который подразделяется на эксплуатируемый и неэксплуатируемый. В состав эксплуатируемого парка входят локомотивы, находящиеся в работе, в процессе экипировки и технического обслуживания в течение установленной нормы времени приемки и сдачи локомотива, а также в ожидании работы. К неэксплуатируемому парку относятся локомотивы, находящиеся в ремонте и резерве управления дороги, в процессе пересылки в холодном состоянии и др.

В настоящее время основными проблемами локомотивного хозяйства являются физическое и моральное старение локомотивного парка (имеющийся инвентарный парк ОАО «РЖД» изношен более чем на 70 %) и отсутствие необходимых производственных мощностей отечественных заводов для выпуска новых локомотивов.

Для решения этих проблем в процессе реформирования железнодорожного транспорта подготовлена программа развития.

### ***2.1.2 Перспективы развития локомотивного хозяйства***

Локомотивное хозяйство традиционно является одним из ключевых звеньев в железнодорожной отрасли России. От его эффективной и устойчивой работы зависят четкий ритм перевозок и экономическое благополучие ОАО «РЖД», качество обслуживания грузоотправителей и пассажиров.

Сегодня локомотивный комплекс – это около 190 тыс. специалистов, более 13 тыс. ед. действующего тягового подвижного состава (ТПС). Общие затраты на него составляют 30 % от всех эксплуатационных расходов.

По количеству находящихся в эксплуатации локомотивов ОАО «РЖД» занимает второе место в мире. Российские железные дороги по праву являются одним из лидеров по производительности ТПС нового поколения.

С 1 апреля 2010 г. начала свою хозяйственную деятельность в новых условиях Дирекция по ремонту тягового подвижного состава – филиал ОАО «РЖД». В эксплуатационном комплексе локомотивного хозяйства

созданы дирекции тяги в виде структурных подразделений дорог. В настоящее время начинается серийный выпуск локомотивов с асинхронными ТЭД, что повышает надежность и удельную мощность локомотива.

## 2.2 Структура локомотивного парка

### 2.2.1 Поездные локомотивы

#### Организация работы поездных тепловозов

К поездным относятся грузовые, пассажирские и грузопассажирские локомотивы. Работа локомотивов, в свою очередь, регламентируется графиком движения поездов (ГДП).

ГДП определяет последовательность и продолжительность занятия поездами перегонов, время прибытия, стоянки и отправления поездов по каждому пункту. ГДП оказывает существенное влияние на организацию эксплуатации локомотивов, определяя, например, простои локомотивов в пунктах оборота в ожидании поездов попутного и обратного следования, простои по скрещению, подвод локомотивов на техническое обслуживание и экипировку и др.

Пропускная и провозная способность железнодорожных направлений является важнейшим показателем работы железных дорог и также отражается в графиках движения.

**Пропускной способностью** железнодорожного участка называется наибольшее число поездов или пар поездов установленной массы, которые могут быть пропущены по данному участку в течение суток (или часа) при данной технической вооруженности линии, типе и мощности технических средств, роде вагонов и принятых методах организации движения поездов (т. е. типа графика). Пропускная способность может быть выражена в вагонах или тоннах груза. Пропускную способность каждой линии определяет пропускная и перерабатывающая способность перегонов, станций, мощность устройств локомотивного хозяйства, энерго- и водоснабжения.

**Провозная способность** определяет тот объем перевозок грузов, который может быть освоен по наличию локомотивов, вагонов, электроэнергетики, кадров решающих профессий и других переменных средств.

Провозная способность исчисляется в тех же показателях, что и пропускная способность, или чаще в тоннах. Провозная способность является важнейшим показателем производственной мощности железнодорожных линий и зависит прежде всего от пропускной способности и массы грузовых поездов, которые могут быть реализованы на рассматриваемом направлении (участке).

Перегоном называется участок железнодорожной линии, ограниченный отдельными пунктами.

В зависимости от характера работы и путевого развития отдельными пунктами являются станции, разъезды, обгонные пункты и путевые посты. Проходные светофоры (при автоблокировке) также являются отдельными пунктами.

### **Пробеги поездных тепловозов**

Пробеги локомотивов измеряются в локомотиво-километрах. Общий годовой пробег локомотивов эксплуатируемого парка депо (отделения, дороги) определяется как сумма:

$$\Sigma MS_{\text{Л}}^{\text{общ}} = 365(\Sigma MS_{\text{Л}}^{\text{гл}} + \Sigma MS_{\text{Л}}^{\text{вт}} + \Sigma MS_{\text{Л}}^{\text{ман}} + \Sigma MS_{\text{Л}}^{\text{всп}} + \Sigma MS_{\text{Л}}^{\text{ус}}),$$

где  $\Sigma MS_{\text{Л}}^{\text{гл}}$  – пробег во главе поездов;

$\Sigma MS_{\text{Л}}^{\text{вт}}$  – пробег вторым локомотивом;

$\Sigma MS_{\text{Л}}^{\text{ман}}$  – пробег маневровых локомотивов;

$\Sigma MS_{\text{Л}}^{\text{всп}}$  – вспомогательный пробег;

$\Sigma MS_{\text{Л}}^{\text{ус}}$  – условный пробег.

Годовой пробег тепловозов:

$$\Sigma M_{\text{Л}} = 365 \Sigma 2L_{ij} N_{ij},$$

где  $L$  – длина участка обращения для  $i$ -го вида движения на  $j$ -м участке обращения, км;

$N$  – размеры движения для  $i$ -го вида движения на  $j$ -м участке обращения, пар поездов.

## **2.2.2 Маневрово-вывозные локомотивы**

### **Организация работы маневрово-вывозных тепловозов**

Маневрово-вывозные тепловозы – локомотивы, предназначенные для производства маневровых работ на станциях и подъездных путях, то есть для выполнения всех передвижений вагонов по станционным путям, формирования и расформирования поездов, подачи вагонов к грузовым фронтам, на ремонтные пути, перестановки из парка в парк.

### **Пробеги маневрово-вывозных тепловозов**

Пробег маневровых локомотивов:

$$\Sigma MS_{\text{Л}}^{\text{ман}} = 365 \cdot M_{\text{с}}^{\text{ман}} \cdot (23,5 \cdot 5 + 0,5 \cdot 1),$$

где  $M_{л}^{ман}$  – количество эксплуатируемых маневровых локомотивов;  
 23,5 – среднесуточная продолжительность работы маневрового тепловоза, ч;  
 5 – средняя скорость выполнения работ, км/ч;  
 0,5 – среднесуточные затраты времени на экипировку и ТО-2, ч;  
 1 – условная скорость при проведении операции экипировки и ТО-2, км/ч.

## **2.3 Сооружения деповского хозяйства**

### **2.3.1 Пункты реостатных испытаний**

#### **Открытые и закрытые позиции**

Реостатные испытания тепловозов должны производиться на специальных открытых площадках.

Реостатные испытания тепловоза ведутся на типовых водяных реостатных установках, обеспечивающих реализацию максимальной мощности дизель-генератора, работу во всех точках внешней характеристики тягового генератора, возможность измерения необходимых параметров для настройки дизеля и электрической схемы. Такая установка располагается вблизи участка железнодорожного пути, на котором устанавливают отремонтированный тепловоз для испытания. Пластины каждой группы имеют электрическое соединение. Разноименные пластины надежно изолированы друг от друга. Соблюдение постоянной полярности предохраняет пластины реостата от разрушения электролизом.

Для реостатных испытаний тепловозов должно быть выделено отдельное звукоизолированное помещение, оборудованное приточно-вытяжной вентиляцией, или открытая площадка с управлением из закрытой отапливаемой и вентилируемой кабины для обслуживающего персонала. Стенд для реостатных испытаний для вновь строящихся и реконструируемых заводов должен располагаться на расстоянии не ближе 300 м от административных зданий.

На заводе реостатные испытания тепловоза позволяют проверить качество монтажа взаимосвязанных составных частей его оборудования, отрегулировать и довести электрическую схему для получения требуемых мощностных характеристик тягового генератора при одновременной проверке работы дизель-генераторной и холодильной установок и других сборочных единиц, размещенных на раме тепловоза. В депо на реостатных испытаниях производятся обкатка, доводка, регулировка дизель-генераторной установки под нагрузкой, регулировка и доводка электрической схемы с одновременной проверкой качества монтажа и работы всех сборочных единиц, размещенных на раме тепловоза.

Для защиты от шума во время проведения реостатных испытаний тепловоза должны быть выделены слесари, хорошо знакомые с техникой проведения испытаний и техникой безопасности при реостатных испытаниях. Рекомендуется чередовать привлечение слесарей из комплексных бригад с таким расчетом, чтобы они работали на реостатных испытаниях не более двух раз в неделю.

В некоторых локомотивных депо не представляется возможным площадку для реостатных испытаний тепловозов удалить от служебных и жилых помещений на требуемое санитарными нормами расстояние. В этом случае для ослабления шума в прилегающем районе устраивают акустические экраны, которые могут быть выполнены в виде односторонней кирпичной стены размерами (ориентировочно): высота 8 м, длина 45...58 м на расстоянии примерно 3 м от тепловоза. Сторону стены, обращенную к тепловозу, целесообразно облицевать облегченным кирпичом со щелевыми прорезями наружу. Вокруг площадки также рекомендуется создать зеленую зону (шириной не менее 10 м), высадив кустарник, густолистные и хвойные деревья [6].

После текущих ремонтов ТР-2 и ТР-3 дизель-генераторы испытывают при реостатных испытаниях тепловоза.

### **Нагрузочные реостаты**

В настоящее время распространение получили жидкостные реостаты рис. 2.1.

### **Режимы работы тепловоза на различных видах реостатных испытаний**

*Обкаточные испытания.* После подсоединения тепловоза к реостатной установке на холостом ходу дизеля проверяют и регулируют следующие параметры и аппараты:

- величину разряжения в картере дизеля по дифференциальному манометру (30–35 мм вод. ст);
- срабатывание ВП6 и ВП9;
- давление масла в верхнем коллекторе дизеля (не менее 0,07 МПа при 400 об/мин и 0,2 МПа при 850 об/мин);
- срабатывание термореле воды ( $97 \pm 1$ ) °С и масла ( $87 \pm 1$ ) °С;
- напряжение вспомогательного агрегата (75 В).

Затем производится обкатка ДГУ под нагрузкой на режимах, приведенных в табл. 2.1.



Рис. 2.1. Жидкостные реостаты

Таблица 2.1

Режимы обкатки ДГУ тепловоза ТЭ10

Положение рукоятки контроллера	1	2	3	4	9	12	13	14	15
Скорость вращения коленчатого вала, об/мин	400 ± 15	430 ± 10	465 ± 15	495 ± 15	660 ± 15	755 ± 15	785 ± 15	820 ± 15	850 ± 15
Нагрузка по приборам нагрузочного реостата, кВт	40	250	485	710	1350	1635	1735	1825	1860
Продолжительность обкаточного режима, мин	5	10	10	15	20	30	30	30	60
Положение рукоятки контроллера	1	2	3	4	9	12	13	14	15

При обкаточных испытаниях должны быть проверены и отрегулированы:

- частота вращения коленчатого вала;
- срабатывание предельного регулятора и кнопки аварийного выключения дизеля (960 об/мин);
- давление сжатия по цилиндрам на нулевой позиции (не ниже 2,9 МПа, а разница не более 0,3 МПа) регулируется камерой сжатия;
- нагрузка по цилиндрам: температура отработанных газов (не более 420 °С, разница не более 55 °С. Повышение температуры окружающей среды на 10°С по сравнению с нормой (+20 °С) увеличивает температуру отработанных газов на 1,5 °С); давление вспышки по цилиндрам (не более 10,5 МПа, разница не более 0,7 МПа. Понижение температуры окружающей среды на 10 °С увеличивает давление вспышки на 0,15 МПа).

Температуру отработанных газов регулируют рейкой топливного насоса, а давление вспышки – углом опережения подачи топлива. Разность зазоров между упором рейки и корпусом насоса должна быть не более 0,3 мм;

- давление воздуха между турбокомпрессором и нагнетателем второй ступени (не менее 0,07 МПа);
- температура воды и масла, давление масла и топлива.

### **2.3.2 Топливное хозяйство**

#### **Емкости для хранения топлива**

Устройства для слива, хранения и подачи дизельного топлива. Дизельное топливо, доставленное на склад в железнодорожных цистернах, перекачивается в хранилища насосами (преимущественно центробежного типа) с забором через верхние сливные устройства цистерн. На большинстве складов для слива дизельного топлива и масел из цистерн используются открытые сливные эстакады (однопутные и двухпутные), оборудованные устройствами для разогрева нефтепродуктов. Упрощенные устройства в виде сливных стояков, действующие с помощью ручного насоса, применяются на малых складах топлива при экипировке до 15 тепловозов в сутки.

Длина фронта слива нефтепродуктов устанавливается по условиям обеспечения минимального простоя цистерн. Например, длина двухпутной эстакады для одновременного слива 12 четырехосных цистерн составляет 66 м.

Дизельное топливо в большинстве депо хранится в металлических (сварной конструкции) наземных резервуарах цилиндрической формы вместимостью 400–5000 м<sup>3</sup> (рис. 2.2). Резервуары устанавливают на песчаной подушке и по условиям пожарной безопасности ограждают земляным валом высотой не менее 1 м. Все резервуары, трубопроводы и насосы заземляют. Резервуарный парк снабжается комплектом огнетушителей.

При необходимости освобождения топливного бака, масляных коллекторов и поддона дизеля тепловоза или дизель-поезда, поступающих в депо на ремонт, топливо и отработанное дизельное масло сливают через специальные сливные колонки в заземленные для этой цели резервуары.

В условиях Крайнего Севера и на Байкало-Амурской магистрали резервуары для хранения дизельного топлива и смазок предпочтительно сооружать подземного типа железобетонной конструкции, а слив нефтепродуктов производят в закрытом отапливаемом помещении. Характеристики складов дизельного топлива представлены в табл. 2.2.

Таблица 2.2

## Характеристики складов дизельного топлива

Наименование показателей	Значение показателей при пропускной способности экипировочных устройств в сутки (число экипировок)				
	20	40	60	80	120
Средний расход топлива на экипировку, т/сут	96	190	285	380	570
Запас топлива на 30 сут, т	2880	5700	8550	11400	17100
Число одновременно сливаемых цистерн	3	6	8	12	17
Слив в размере 1,5-суточного расхода топлива, т	144	285	427	570	855
Время слива 1,5-суточного расхода топлива, ч	1	2	2	2	3
Вместимость хранилищ дизельного топлива (парк резервуаров), м <sup>3</sup>	3 × 1000	3 × 2000	4 × 2000	4 × 3000	6 × 3000
Максимальный расход пара, кг/ч					
С разогревом топлива при сливе	1090	2170	2900	4300	5430
Без разогрева топлива при сливе	840	900	950	1500	1610
Штат смены, чел.	3	3	3	3	3
Длина железнодорожных путей в пределах склада, м	120	135	250	300	320
Установленная мощность электродвигателей насосной, кВт	82	102	124	160	160

Склады топлива для обслуживания дизель-поездов делятся на четыре типа, которые приведены в табл. 2.3.

Таблица 2.3

## Типы складов топлива

Тип	I	II	III	IV
Площадь склада, м <sup>2</sup>	3750	4300	5210	6400
Вместимость хранилищ топлива, м <sup>3</sup>	400	600	1200	1600

ГОСТами и нормативами установлены определенные разрывы между резервуарами, проезды между зданиями, сооружениями и устройствами.

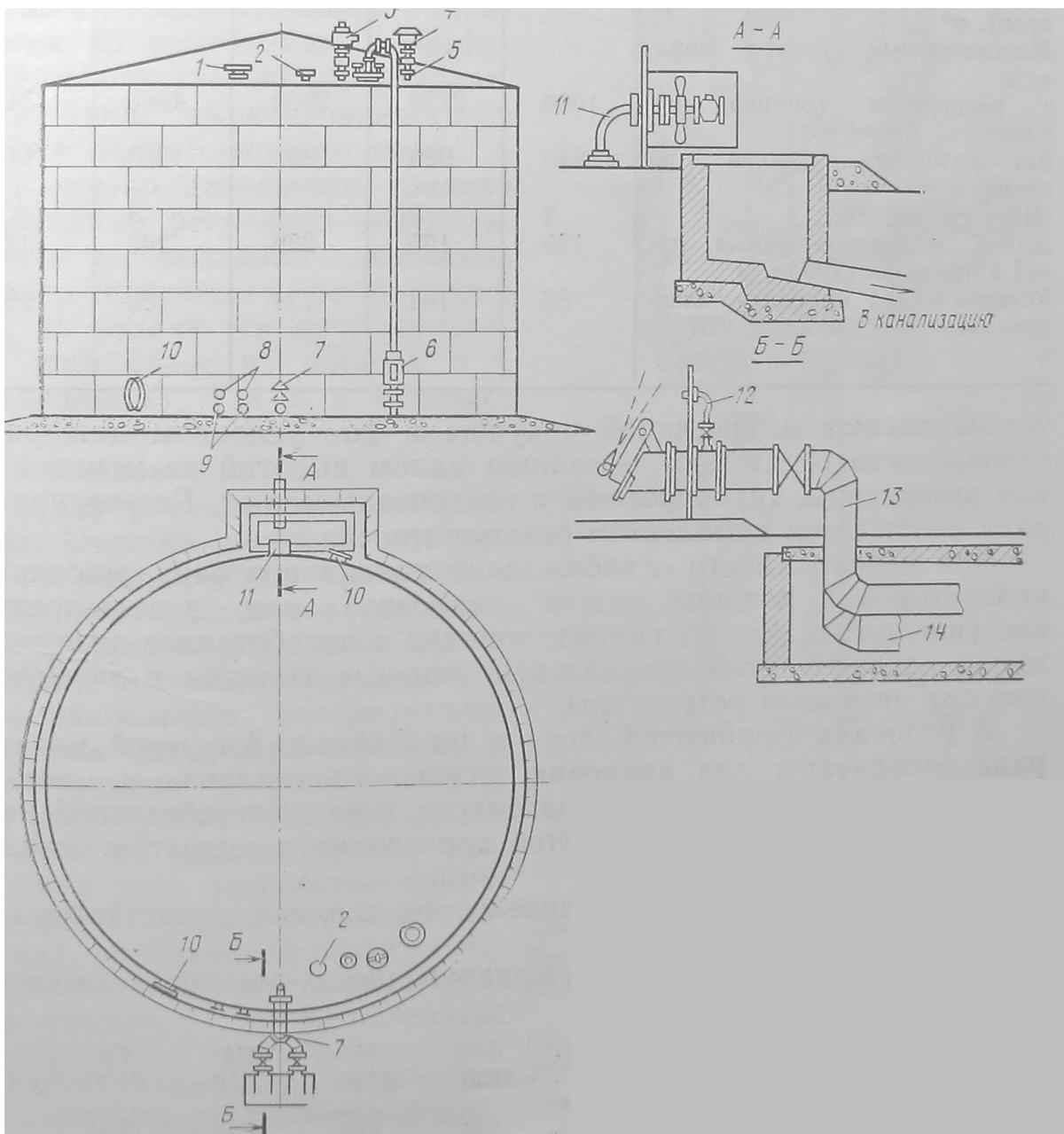


Рис. 2.2. Металлический (сварной) наземный резервуар для хранения дизельного топлива:

1 – световой люк; 2 – замерный люк; 3 – клапан механический дыхательный; 4 – клапан предохранительный гидравлический; 5 – клапан предохранительный огневой; 6 – прибор для замера количества топлива (уровня); 7 – патрубок приемораздаточный; 8 – патрубки ввода пара; 9 – патрубки выхода конденсата; 10 – люк; 11 – кран сифонный; 12 – переходное устройство; 13, 14 – всасывающий и нагнетательный трубопроводы

## Определение запаса топлива

Нормирование расхода топлива в конкретных эксплуатационных условиях ведется по данным тяговых расчетов. При проектировании локомотивного хозяйства можно пользоваться действующими среднесетевыми нормами расхода топлива на измеритель работы.

Суточный расход дизельного топлива на каждом пункте экипировки (в кг) определяется при использовании среднесетевых норм:

$$E_T = \Sigma(a_T^{PP} E_T^{PP} + a_T^{MX} E_T^{MX} + E_T^{OЖ} + E_T^{PI} + E_T^{DP}),$$

где  $E_T^{PP}$ ,  $E_T^{MX}$ ,  $E_T^{OЖ}$ ,  $E_T^{PI}$ ,  $E_T^{DP}$  – суточный расход дизельного топлива тепловозами и дизель-поездами соответственно: в поездной работе; на маневровой, хозяйственной и прочих видах внепоездной работы; в ожидании работы; на реостатные испытания после ремонта; суточный расход дизельного топлива другими потребителями;

$a_T^{PP}$ ,  $a_T^{MX}$  – коэффициенты, учитывающие величину доли дизельного топлива, получаемого тепловозами с данного склада, соответственно для поездной и внепоездной работы.

Слагаемые суточного расхода дизельного топлива (в кг) рассчитывают по следующим формулам:

- в поездной работе:

$$E_T^{PP} = \Sigma(E_T^{ГП} + E_T^{ПОР} + E_T^{РЕЗ}),$$

где  $E_T^{ГП}$ ,  $E_T^{ПОР}$ ,  $E_T^{РЕЗ}$  – расход дизельного топлива тепловозами и дизель-поездами в грузовом, пассажирском и пригородном движении соответственно: во главе поездов, при следовании с порожним составом, в резервном пробеге;

$$E_T^{ГП} = 2\Sigma L_i N_i Q_i e_m \times 10^{-4},$$

где  $L_i$  – длины  $i$ -х участков обращения тепловозов и дизель-поездов, км;

$N_i$  – число пар поездов в сутки на  $i$ -м участке;

$Q_i$  – массы поездов, т, на  $i$ -м участке;

$e_m$  – нормы расхода дизельного топлива, кг, на  $10^4$  т·км брутто;

$$E_T^{ПОР} = \Sigma(0,15...0,2)E_T^{ГП};$$

$$E_T^{РЕЗ} = \Sigma L_{РЕЗ} e_{РЕЗ} \cdot 10^{-2},$$

где  $L_{РЕЗ}$  – резервный пробег тепловозов за сутки, км;

$e_{РЕЗ}$  – нормы расхода дизельного топлива, кг, на 100 локомотиво-км;

- в ожидании работы:

$$E_T^{OЖ} = \Sigma M_{OЖ} t_{OЖ} e_{OЖ},$$

где  $M_{ОЖ}$  – число тепловозов и дизель-поездов, простаивающих в течение суток в ожидании работы;

$t_{ОЖ}$  – среднее время простоя тепловоза, ч;

$e_{ОЖ}$  – нормы расхода дизельного топлива на 1 ч простоя, кг;

- на маневровой, хозяйственной и других видах внепоездной работы:

$$E_T^{MX} = \sum M_{MX} t_{MX} e_{MX},$$

где  $M_{MX}$  – эксплуатируемый парк маневровых, хозяйственных и других внепоездных тепловозов;

$t_{MX}$  – продолжительность работы тепловоза в течение суток (принимают: на маневрах – 23,5 ч, в прочих видах внепоездной работы – 22,5 ч);

$e_{MX}$  – норма расхода дизельного топлива на 1 ч работы, кг;

- на реостатные испытания:

$$E_T^{PI} = \sum M_{PI}^i e_{PI}^i,$$

где  $M_{PI}^i$  – количество тепловозов, проходящих реостатные испытания за сутки после  $i$ -х видов ремонта;

$e_{PI}^i$  – нормы расхода топлива на реостатные испытания.

Суточный расход дизельного топлива, выдаваемого для снабжения дизельных агрегатов и установок других производственных объектов,  $E_T^{ДР}$ , кг, учитывается в соответствии с планируемым каждому такому потребителю количеством.

Ориентировочные среднесетевые нормы расхода дизельного топлива на 100 локомотиво-км резервного пробега тепловозов составляют например для серий: 2ТЭ10, 2ТЭ116 – 140 кг.

При выполнении маневровой работы на станционных путях тепловоз расходует в среднем 17...19 кг/ч дизельного топлива, на сортировочной горке – около 60 кг/ч.

Расход дизельного топлива во время простоя тепловоза в ожидании работы в рабочем состоянии находится в пределах 63–65 кг/ч, дизель-поезда – 5 кг/ч.

### 2.3.3 Смазочное хозяйство

#### Расход и запас смазочных материалов

Функции и основное оборудование смазочного хозяйства. В функции смазочного хозяйства входит: снабжение локомотивов и моторвагонного подвижного состава смазочными и обтирочными материалами, приемка и хранение необходимого количества соответствующих видов масел и обтирочных материалов, регенерация отработавших масел. Для обеспечения

нормальной работы трущихся деталей механизмов, агрегатов и приборов локомотивного парка требуется около 15 сортов различных смазочных материалов.

К числу основного оборудования смазочного хозяйства относятся: устройства для выгрузки, слива и подогрева смазочных материалов, хранилища, кладовые и раздаточные смазочных и обтирочных материалов, оборудование для выдачи смазок на локомотивы, аппаратура учета расхода и анализа качества смазочных материалов, регенерационная установка, помещение для обслуживающего персонала.

Нормирование расхода и установление запаса смазочных материалов. В наибольших количествах расходуются дизельное, промышленное (машинное), осевое, трансмиссионное, автотракторное (нигрол) и компрессорное масла, осерненная смазка, солидол, пластичные смазочные составы.

Суточный расход смазочных материалов:

$$E_{CM} = \Sigma(E_{CM}^{\varnothing} + E_{CM}^P + E_{CM}^X),$$

где  $E_{CM}^{\varnothing}$  – суточный расход смазочных материалов на эксплуатацию локомотивного парка, т;

$E_{CM}^P$  – то же на ремонт тяговых единиц, т;

$E_{CM}^X$  – то же на хозяйственные нужды депо и других потребителей, т.

Суточный расход дизельного масла для эксплуатации тепловозов и дизель-поездов (т) рассчитывается по процентному соотношению от расхода дизельного топлива:

$$E_{CM}^{Диз} = \Sigma E_T \cdot 0,01 e_{Диз},$$

где  $\Sigma E_T$  – суточный расход дизельного топлива всеми тепловозами и дизель-поездами депо, т;

$e_{Диз}$  – норма расхода дизельного масла для эксплуатационных нужд в % от расхода дизельного топлива.

Суточный расход остальных видов смазочных материалов для эксплуатации поездных дизельных и электрических тяговых единиц рассчитывается по формуле:

$$E_{CMj} = 10^{-6} 2 \Sigma L_i N_i e_{CMj},$$

где  $L_i$  – длина  $i$ -х участков обращения локомотивов, электро- и дизель-поездов, км;

$N_i$  – число пар поездов на  $i$ -х участках обращения;

$e_{CMj}$  – нормы расхода смазочных материалов на 100 км пробега секции тепловоза, дизель-поезда, электровоза и электросекции, кг.

На выполнение маневровой работы тепловозами потребное количество остальных сортов смазочных материалов, т, определяется по нормированию на одну секцию при выполнении технического обслуживания ТО-2 по сериям тепловозов:

$$E_{CM}^{MAN} = 10^{-3} \sum M_{TO-2}^M \cdot e_{CM}^{MAN},$$

где  $M_{TO-2}^M$  – число секций маневровых тепловозов, поступающих на ТО-2 за сутки;

$e_{CM}^{MAN}$  – норма расхода смазочных материалов на секцию маневрового тепловоза при выполнении ТО-2.

Если на маневровой работе используются электровозы, то суточный расход смазок для них рассчитывается на условный пробег по поездным нормам.

Расход смазочных материалов в процессе ремонта локомотивов и мотор-вагонного подвижного состава нормируется в килограммах из расчета на одну секцию тепловоза и электровоза, на электро- и дизель-поезд соответствующих серий по видам ремонта и сортам масел. Суточный расход:

$$E_{CM}^P = \frac{\sum M_{Pj}^{ГОД} e_{Pj}}{365 \cdot 1000},$$

где  $M_{Pj}^{ГОД}$  – годовое число  $j$ -х видов текущего ремонта и ТО-3 секций тепловозов, электросекций, электровозов и дизель-поездов по сериям;

$e_{Pj}$  – нормы расхода смазочных материалов на  $j$ -й ремонт и ТО-3.

### **Хранение смазочных материалов**

Основной запас обтирочных и фильтрующих материалов содержится, как правило, на дорожном или участковом материальном складе. В кладовой и раздаточной экипировочного хозяйства имеется только трехсуточный запас.

Смазочные масла как более вязкие по сравнению с дизельным топливом (дизельное, осевое, компрессорное, трансмиссионное, промышленное) перевозят в железнодорожных цистернах с нижними сливными приборами, через которые производится слив масел самотеком. Масло можно откачивать через верхний люк цистерны с использованием оборудования эстакады, сливного стояка или передвижного насоса, размещенного на тележке.

Значительный запас масел на складе хранят в наземных, полуподземных и подземных металлических или железобетонных резервуарах вместимостью 10...150 м<sup>3</sup>. Резервуары для хранения дизельного, осевого, компрессорного, трансмиссионного, промышленного масла размещаются, как

правило, вместе с топливными хранилищами на площади единого резервуарного парка. Насосы для перекачки масла устанавливают на общей насосной станции. Смазочные материалы и керосин, расходуемые в небольших количествах – до 50 кг в сутки (приборное масло, нигрол, вазелин, консистентные смазки и др.) и доставляемые на склад в бочках, бидонах, ящиках, хранятся в этой таре в кладовой или специальном хранилище смазочного хозяйства со стеллажами и необходимым подъемно-транспортным оборудованием.

При эксплуатации тепловозов с гидropередачей предусматриваются емкости для турбинного масла.

Обтирочные и фильтрующие (набивные) материалы хранятся в отдельной кладовой. Снабжение тепловозов и дизель-поездов дизельным маслом и заправка моторно-осевых подшипников электровозов и электропоездов индустриальным маслом производятся через раздаточные колонки, устанавливаемые в междупутьях экипировочных позиций. Раздаточные колонки оборудованы расходным счетчиком и устройством дистанционного управления насосами. Все остальные смазочные материалы выдают по массе в заранее расфасованном виде или в специальную посуду в обмен на посуду, сдаваемую локомотивной бригадой. В систему смазочного хозяйства входят также отделения по подготовке тары для смазочных материалов, расфасовке смазок, приготовлению осерненного нигрола.

Для ускорения выдачи масел при использовании мерных раздаточных баков их делают герметичными, и слив производится под давлением воздуха  $5 \times 10^4$  Па.

Вязкость масла при сливе и перекачке в зимнее время снижают подогревом, используя для этого паровые подогреватели (змеевики). Применение огневого или электрического способа разогрева нефтепродуктов не допускается.

Жидкие масла перед выдачей подвергают фильтрации. Качество смазочных материалов регулярно контролируется химико-технической лабораторией перед сливом и приемкой в хранилищах и при выдаче.

Отработавшие масла собирают по сортам и маркам в раздельной таре для последующей регенерации на специальных заводах. Нормы сбора масел для регенерации: дизельное и компрессорное масло – 25 % израсходованного количества; осевое – 3 %. Восстановленное дизельное масло используется в виде добавки к свежему в количестве 20...25 %, а компрессорное и индустриальное – наравне со свежим.

Для набивки топливных и масляных фильтров, а также для обтирки деталей в тепловозном хозяйстве в больших количествах потребляются фильтрующие (набивочные) и обтирочные материалы, которые после первичного использования подвергаются регенерации. Регенерационные установки могут размещаться в депо или в специальных вагонах (передвижные устройства).

## Расчет показателей смазочного хозяйства

Нормы расхода смазочных материалов на эксплуатацию маневровых тепловозов, кг на секцию, при техническом обслуживании (ТО-2) приведены в табл. 2.4.

Таблица 2.4

Нормы расхода смазочных материалов на эксплуатацию маневровых тепловозов

Тепловоз	Масло		Смазка	
	компрессорное	осевое	осерненная	консистентная
ТЭМ2, ЧМЭЗ	0,05	0,4	0,1	0,3

Запас смазочных материалов на складе устанавливается в зависимости от дальности их подвоза и обычно принимается в размере от месячной или более величины расхода.

Нормы расхода дизельного масла на эксплуатацию тепловозов и дизель-поездов (долив и освежение) приведены в табл. 2.5.

Таблица 2.5

Нормы расхода дизельного масла на эксплуатацию тепловозов и дизель-поездов

Тепловоз	едиз
2ТЭ10	1,9
ТЭМ2	1,2
ЧМЭЗ	4,0
2ТЭ116	3,0

### 2.3.4 Хозяйство водоснабжения

#### Приготовление воды

Приготовление и подача охлаждающей воды. Для охлаждения дизеля тепловозов и дизель-поездов применяют конденсат, приготовленный в поверхностных теплообменниках, и химически обработанную кипяченую воду.

Охлаждающую воду готовят в специальном отделении водоподготовки, размещаемом в районе экипировочного хозяйства. В качестве умягчающих и антикоррозионных присадок на каждый кубический метр охлаждающей воды добавляют каустической соды 0,5...0,7 кг, тринатрийфосфата 0,16...0,2 кг и нитрита натрия 2...2,5 кг, а для дизелей с алюминиевыми блоками – дополнительно 1,5...2 кг хромпика. Суточная потребность химикатов, необходимых на обработку охлаждающей воды, определяется

по ее расходу на нужды эксплуатации и ремонт дизельных локомотивов. Противокоррозионные присадки добавляют в растворенном виде, затем для получения однородного раствора воду нагревают до 40...60 °С и в течение 10...15 мин перемешивают. За водоподготовкой должен осуществляться систематический контроль со стороны деповской химико-технической лаборатории. Если содержание хлоридов в охлаждающей воде превышает 50 мг/л, а жесткость будет более 0,3 мг-экв/л, вода в охлаждающей системе дизеля подлежит замене.

Пополнение водой системы охлаждения дизеля производится в пунктах экипировки дизельных локомотивов центробежным насосом через заправочные водяные колонки, аналогичные по конструкции топливным и смазочным раздаточным колонкам. Насосы дистанционно управляются с экипировочных позиций. В пути следования тепловоза воду хранят в бидонах. Запас воды принимается из расчета 20 л на дизель.

Суточный расход охлаждающей воды по депо, л:

- на нужды эксплуатации:

$$B_{\text{э}} = 2\sum L_i N_i e_B a_B \cdot 10^{-3},$$

где  $2\sum L_i N_i$  – суточный пробег дизельных локомотивов, км;

$e_B$  – норма расхода воды одним дизелем на 1000 локомотиво-км, л;

$a_B$  – коэффициент, учитывающий количество воды, получаемой дизельными локомотивами в данном пункте экипировки;

- на ремонт:

$$B_P = \frac{(M_{TP-3} + M_{TP-2})V_P}{T_G} \cdot \mu_B,$$

где  $M_{TP-3}, M_{TP-2}$  – годовая программа TP-3 и TP-2 в односекционном исчислении;

$T_G$  – число рабочих дней в году;

$\mu_B$  – коэффициент, учитывающий внеплановую смену воды в системе охлаждения дизеля (ориентировочно равен 1,1...1,2);

$V_B$  – запас воды в системе охлаждения одной секции дизеля, л.

### **Обслуживание аккумуляторных батарей**

Обслуживание аккумуляторных батарей. Регулярный контроль за состоянием аккумуляторных батарей во многом предопределяет нормальную эксплуатацию тепловозов и дизель-поездов. Этот контроль осуществляется при техническом обслуживании ТО-2 и на экипировке; проверяется уровень, плотность, температура электролита в каждом элементе батареи, работоспособность под нагрузкой. Нагрузочной вилкой определяют степень заряженности элемента. Поскольку при эксплуатации батареи происходит испарение электролита, необходимо периодически для получения установленной плотности доливать в элементы батареи дистиллированную воду. Практика показала значительную эффективность устройства системы для

подачи на экипировочные позиции не только дистиллированной (или глубокообессоленной) воды, но и готового электролита.

Для приготовления электролита рекомендуется глубокообессоленная вода, полученная методом ионитового обессоливания. Водопроводная вода подается на ионитовые фильтры под напором водопроводной сети, оптимальная скорость подачи составляет 180...200 л/ч. Производительность установки 50...150 л/ч. Готовят электролит в металлических ваннах, выложенных винипластом.

### 2.3.5 Устройства для снабжения локомотивов песком

С ростом скоростей движения и массы поездов значение песка для увеличения коэффициента сцепления колес с рельсами и его стабилизации на участках сложного профиля и плана пути возрастает. Кварцевый песок бывает двух категорий: нормального и повышенного качества (табл. 2.6). На дорогах Крайнего Севера, Дальнего Востока, Урала и Сибири, куда входит и Байкало-Амурская магистраль, а также в других зонах, где в зимний период наблюдается отложение инея на рельсах, необходимо употреблять песок повышенного качества.

Лаборатория депо должна систематически контролировать зерновой и минералогический состав песка. Рабочую массу песка, поступающего в песочницы локомотивов после сушки и просеивания, составляют зерна размером в поперечнике от 0,1 до 2 мм. Такие размеры отвечают условиям минимального рассеивания песка в момент попадания его на головку рельса и способствуют сохранению высоких сцепляющих свойств при раздавливании колесами локомотива.

Таблица 2.6

Технические условия на песок для локомотивов

Состав песка	Показатели	Содержание в % для категории качества	
		нормальной	повышенной
Зерновой	Рабочая масса, не менее	93	95
	Пылевидные частицы, не более	10	5
	В том числе глинистая составляющая, не более	3	1
Минералогический	Зерна кварца, не менее	73	90
	Полевой шпат и другие горные породы, не более	25	10
Химический	Двуокись кремния (кремнезем), не менее	85	93
	Окись алюминия (глинозем), не менее	5	3
	Остальные составляющие песка, не более	9	4
	Потери при прокаливании, не более	1	1

Зерна размером менее 0,1 мм относят к пылевидным частицам, а имеющие среди них размер менее 0,022 мм условно называют глинистой составляющей. Пылевидные частицы, поглощая влагу, превращаются в пульпу, резко понижающую коэффициент сцепления колес локомотива с рельсами, поэтому нельзя допускать увеличения максимальной нормы содержания их в песке.

Влажность песка, подаваемого в песочницы локомотивов, не должна превышать 0,5 %, т. к. более увлажненный песок проявляет склонность к слеживанию, прилипает к стенкам труб и может вызвать закупорку горловин корпуса форсунки песочницы. Приведенные условия требуют специальной подготовки песка – сушки и просеивания.

### **Организация пескоснабжения**

Комплекс устройств хозяйства пескоснабжения состоит из складов для хранения сырого и просушенного песка, пескосушильной установки, оборудования и коммуникаций пескотранспорта, пескораздаточных устройств.

Система пескоснабжения может быть централизованной по схеме: карьер – склад сырого песка – пескосушилка – спецвагоны для транспортирования сухого песка в пункт экипировки – склад сухого песка – раздаточные бункера – локомотив, – или децентрализованной по схеме: карьер – вагоны для перевозки сырого песка в пункт экипировки – склад сырого песка – пескосушилка – склад сухого песка – раздаточные бункера – локомотив.

В настоящее время преобладает децентрализованный способ организации пескоснабжения с сезонной заготовкой сухого песка летом из расчета потребности на весь зимний период. Такой режим работы пескосушилки обеспечивает бесперебойность пескоснабжения локомотивов и создает благоприятные условия для ремонта освобождающегося зимой пескосушильного оборудования. Круглогодичный режим сушки песка встречается в пунктах экипировки небольшой производительности при отсутствии хранилища сухого песка.

Для снабжения песком поездных локомотивов на приемоотправочных путях станции основного депо при кольцевой езде, а также маневровых локомотивов в районах их работы заготовленный в деповском пункте экипировки сухой песок подвозится в вагонах-хопперах к этим местам экипировки.

Нормирование расхода и определение запаса песка. В расчетах применяют два вида норм: средние и максимальные. Средние нормы используются при определении мощности пескосушильного оборудования и вместимости складов песка, максимальные – для установления рациональной схемы размещения пунктов пескоснабжения на линии. Расчеты ведутся для каждой серии локомотивов, электро- и дизель-поездов по видам работы на каждом участке обращения.

Суточный расход сухого песка в данном пункте экипировки, м<sup>3</sup>:

$$E_{\text{ПЕС}} = \Sigma (a_{\text{ПЕС}}^{\text{ПР}} \cdot E_{\text{ПЕС}}^{\text{ПР}} + a_{\text{ПЕС}}^{\text{МХ}} \cdot E_{\text{ПЕС}}^{\text{МХ}}),$$

где  $E_{\text{ПЕС}}^{\text{ПР}}$  – суточный расход песка поездными локомотивами;

$E_{\text{ПЕС}}^{\text{МХ}}$  – то же маневровыми, хозяйственными и другими локомотивами, занятыми на внепоездной работе;

$a_{\text{ПЕС}}^{\text{ПР}}, a_{\text{ПЕС}}^{\text{МХ}}$  – коэффициент участия склада в снабжении локомотивов в данном пункте, соответственно обслуживающих поезда песком, и выполняющих внепоездную работу.

Общий расход песка определяется при

$$E_{\text{ПЕС}}^{\text{ПР}} = \frac{2 \Sigma L_i N_i Q_i}{10^6} \cdot e_{\text{ПЕС}}^{\text{МХ}},$$

где  $e_{\text{ПЕС}}^{\text{МХ}}$  – средние нормы расхода песка,  $\frac{\text{м}^3}{10^6 \text{ ткм брутто}}$ .

$$E_{\text{ПЕС}}^{\text{МХ}} = \Sigma M_{\text{МХ}} e_{\text{ПЕС}}^{\text{МХ}},$$

где  $M_{\text{МХ}}$  – эксплуатируемый парк маневровых, хозяйственных и других внепоездных локомотивов;

$e_{\text{ПЕС}}^{\text{МХ}}$  – нормы расхода песка одним внепоездным локомотивом за сутки (0,065...0,07 м<sup>3</sup>).

Запас песка определяют по нормам и техническим условиям проектирования с учетом климатического фактора и в зависимости от принятого режима работы пескосушилки.

При сезонной заготовке сухого песка летом на всю потребность зимнего периода запас его можно определить по формуле

$$E_{\text{ПЕС}}^3 = \frac{365 \cdot E_{\text{ПЕС}}}{12} \cdot \Pi_{\text{ПЕС}}^3 \cdot \eta_{\text{С}},$$

где  $\Pi_{\text{ПЕС}}^3$  – число месяцев запаса сухого песка на зимний период, в течение которого сушка песка производится не будет;

$\eta_{\text{С}}$  – коэффициент сверхнормативного расхода песка на случай возможного осложнения условий зимы (принимают равным 1,1...1,2).

**Библиографический список**

1 Системы автоматизации и информационные технологии управления перевозками на железных дорогах: учебник для вузов железнодорожного транспорта / В.А. Гапанович, А.А. Грачев [и др.]; под ред. В.И. Ковалева, А.Т. Осьминина, Г.М. Грошева. – М. : Маршрут, 2006. – 544 с.

2 Организация железнодорожных пассажирских перевозок / А.А. Авдовский, А.С. Бадаев, К.А. Белов [и др.]; под ред. В.А. Кудрявцева. – 2-е изд., стер. – М. : Изд. центр «Академия», 2008. – 256 с.

3 Основы эксплуатационной работы железных дорог : учеб. пособие / В.А. Кудрявцев, В.И. Ковалев, А.П. Кузнецов [и др.]; под ред. В.А. Кудрявцева. – 2-е изд., стер. – М. : Изд. центр «Академия», 2005. – 352 с.

4 Техническое обслуживание и ремонт локомотивов : учебник для вузов железнодорожного транспорта / под ред. В.А. Четвергова, В.И. Киселева. – М. : ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2007. – 558 с.

5 **Собенин, Л.А.** Организация, планирование и управление локомотиворемонтным производством : учеб. пособие для студентов вузов железнодорожного транспорта / Л.А. Собенин, А.А. Зайцев, Б.А. Чмыхов. – М. : Маршрут, 2006. – 439 с.

6 Методическое обеспечение самостоятельной работы студентов по дисциплинам кафедры «Локомотивы и локомотивное хозяйство»: учеб.-метод. комплекс / под ред. А.С. Шапшала. – Ростов н/Д : РГУПС, 2010. – 152 с.

### 3 МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

#### Введение

Подвижной состав (ПС) железных дорог – современные локомотивы, электропоезда, вагоны – это управляемые электромеханические системы, сложные по конструкции и весьма дорогостоящие.

Проектирование подвижного состава включает этап компьютерного моделирования, благодаря чему значительно сокращаются сроки разработок и снижаются материальные затраты (на примере ЭП20).

В настоящем курсе излагаются основы современных методов математического и компьютерного моделирования применительно к задачам динамики подвижного состава.

#### 3.1 Математическое моделирование динамики подвижного состава

##### *3.1.1 Современные методы компьютерного моделирования задач динамики подвижного состава*

#### Формальный метод Ньютона – Эйлера

Механическая часть локомотивов, электропоездов, вагонов и т.д. состоит из кузова и тележек. Число тележек может быть равно двум или трем, каждая тележка включает две, три и, в некоторых конструкциях, четыре оси.

Тяговый привод локомотивов, предназначенный для передачи активного момента от вала двигателя на ось колесной пары, имеет все более сложную конструкцию по мере увеличения конструкционной скорости. Так, если у грузовых локомотивов корпус тягового электродвигателя (ТЭД) опирается непосредственно на ось колесной пары и тяговый привод состоит из цилиндрической зубчатой передачи, то у скоростных пассажирских локомотивов корпус ТЭД крепится к раме тележки или к кузову и для передачи вращения применяется трансмиссия, состоящая из нескольких элементов.

Примем расчетную схему механической части единицы подвижного состава (ЕПС) в виде системы взаимосвязанных твердых тел (СТТ), к числу которых отнесем кузов, рамы тележек, корпуса двигателей и редукторов, якоря двигателей, колесные пары и т.д. Всего в состав расчетной схемы входят десятки тел, она имеет многие десятки степеней свободы. Эффекты, связанные с деформативностью перечисленных элементов конструкции, ниже во внимание не принимаются. Отметим, что в последнее время разработаны модели, которые позволяют учесть упругую податливость кузовов длиннобазных вагонов и т.п.

После того как расчетная схема механической части выбрана в виде СТТ, осуществляется переход к следующему этапу – получению математической модели, т.е. к выводу системы дифференциальных уравнений (ДУ) движения.

Традиционно для этого применяются уравнения Лагранжа второго рода либо общее уравнение динамики (принцип д'Аламбера-Лагранжа), при выводе которых большое число преобразований, выполняемых вручную «карандашом на бумаге», поглощает огромное время и ведет к неизбежным ошибкам. Вся предварительная работа должна выполняться в значительной степени заново в случае внесения каких-либо изменений в расчетную схему, а на стадии проектирования рассматриваются, как правило, несколько ее вариантов. Как видим, проблема сокращения объема ручной подготовительной работы выдвигается на первое место. С этой точки зрения наиболее подходящими представляются современные методы, где требуется задание только минимально необходимой исходной информации об изучаемой СТТ, а ДУ движения могут быть затем сформированы в автоматическом режиме с использованием средств компьютерной алгебры.

В настоящей работе к решению задачи применен формальный метод Ньютона – Эйлера. Изложение далее ведется в следующей последовательности:

- описание структуры;
- кинематика;
- массо-инерционные характеристики;
- силовые факторы;
- синтез ДУ движения;
- применение методов компьютерной алгебры;
- численное интегрирование ДУ движения и анимация полученных результатов.

Изложение сопровождается достаточно простыми примерами иллюстративного характера.

### **Выбор расчетной схемы. Описание структуры, кинематики, массо-инерционных характеристик, силового взаимодействия**

Для описания *структуры* СТТ, выбранной в качестве расчетной схемы ЕПС, воспользуемся понятиями теории графов. Графом называют объект, состоящий из совокупности вершин (узлов) и соединяющих их ребер.

Твердым телам, входящим в состав расчетной схемы ЕПС, – кузову, рамам тележек, колесным парам и т.д. – присвоим в определенном порядке, о котором будет сказано ниже, номера от 1 до  $N$ , где  $N$  – число тел. Использование нумерации для обозначения тел позволяет легко распознавать элементы механической системы, кроме того, оно очень компактно и удобно для занесения в память компьютера. Телу  $i$  соответствует един-

ственным образом вершина графа  $S_i$  ( $i = 1, \dots, N$ ). Неподвижному базису (телу отсчета) поставим в соответствие вершину  $S_0$ .

Примеры построения графов будут даны во время практических занятий.

**Кинематика.** При изучении движения локомотива оси неподвижной системы координат  $Ox_0 y_0 z_0$  (базиса  $\underline{\vec{e}}^{(0)}$ ) выбираются следующим образом. Ось  $Ox_0$  горизонтальна и направлена по оси симметрии колеи в сторону движения. Она находится на уровне, соответствующем положению центра масс кузова при статическом равновесии в предположении, что рельсовая колея горизонтальная идеально ровная, а колеса неизношенные, идеально круглые. Ось  $Oz_0$  направлена вертикально вверх, ось  $Oy_0$  – поперек направления движения.

**Число степеней свободы. Выбор обобщенных координат.** Декартовы координаты  $x_i, y_i, z_i$  центров масс тел, входящих в состав расчетной схемы механической части локомотива, и углы Кардано  $\varphi_1^{(i)}, \varphi_2^{(i)}, \varphi_3^{(i)}$ , определяющие пространственную ориентацию этих тел, должны быть представлены в функции обобщенных (лагранжевых) координат  $q_1, q_2, \dots, q_{N_s}$ , общее число которых равно числу  $N_s$  степеней свободы системы. При определении числа степеней свободы учитывается наличие кинематических связей между телами системы, таких как цилиндрические и сферические шарниры, направляющие и т.п.

Матрица-столбец лагранжевых координат  $\underline{q}$  имеет следующий вид:

$$\underline{q} = \begin{bmatrix} q_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ q_{N_s} \end{bmatrix}.$$

Примеры формирования кинематических соотношений будут даны во время практических занятий.

**Массо-инерционные характеристики.** Для тела  $i$  ( $i = 1, \dots, N$ ), входящего в состав расчетной схемы механической части локомотива, должны быть заданы его масса  $m_i$  и тензор инерции  $\hat{I}_i$ , определенный матрицей своих компонент в базисе  $\underline{\vec{e}}^{(i)}$ , начало которого совмещено с центром масс тела  $C_i$  и базисные векторы направлены по главным осям инерции тела.

**Силовое взаимодействие твердых тел.** Активные силы, приложенные к каждому из тел ( $i = 1, \dots, N$ ), должны быть приведены к центру масс тела, главный вектор и главный момент этих сил обозначим как  $\vec{F}_i^{\text{act}}$  и  $\vec{M}_i^{\text{act}}$ . К этим силам относятся силы тяжести, а также силы, вызванные действием пружин и демпферов в соединениях тел. Кроме того, сюда же отнесем полезную нагрузку (усилие на сцепке), силы и моменты электромагнитного происхождения, возникающие в режимах тяги и электрическо-

го торможения, а также силы, приложенные к колесным парам со стороны рельсов.

### Вывод дифференциальных уравнений движения в матричной форме

Дифференциальные уравнения движения тела  $i$  ( $i=1, \dots, N$ ) получаем, исходя из теорем о движении центра масс и об изменении кинетического момента:

$$\underline{M}(\underline{q}, t)\ddot{\underline{q}} + \underline{g}(\underline{q}, \dot{\underline{q}}, t) = \underline{f}(\underline{q}, \dot{\underline{q}}, t),$$

где  $\underline{M}$  – глобальная матрица инерции размера  $N_s \times N_s$ :

$$\underline{M} = \sum_{i=1}^N \underline{W}_i^T \underline{M}_i \underline{W}_i,$$

$\underline{f}$ ,  $\underline{g}$  – матрицы-столбцы размера  $N_s \times 1$ , соответствующие активным и гироскопическим силам:

$$\underline{f} = \sum_{i=1}^N \underline{W}_i^T \underline{f}_i,$$

$$\underline{g} = \sum_{i=1}^N \underline{W}_i^T (\underline{g}_i + \underline{M}_i \underline{w}_i').$$

### 3.1.2 Построение компьютерной модели механической части электровоза с осевой формулой 2о-2о

#### Выбор расчетной схемы механической части электровоза с осевой формулой 2о-2о

В состав модели входят кузов и две двухосных тележки. Описание структуры расчетной схемы мехчасти электровоза с осевой формулой 2о-2о задается ориентированным графом (рис. 3.1).

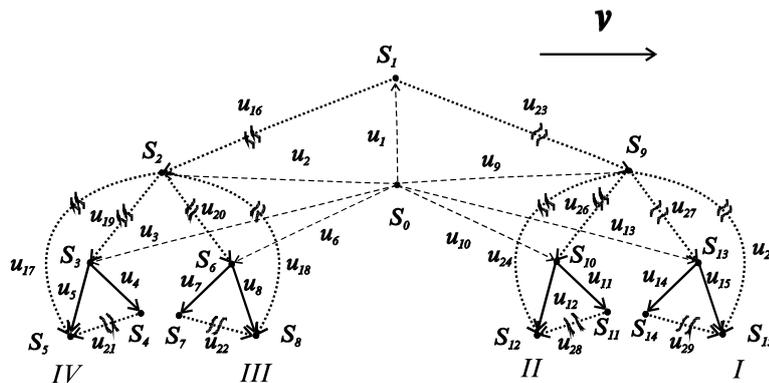


Рис. 3.1. Ориентированный граф

### Работа с пакетом «Универсальный механизм»

Тележка состоит из рамы и двух колесно-моторных блоков (КМБ) с опорно-осевой подвеской ТЭД и двухъярусным упругим рессорным подвешиванием. Каждый КМБ состоит из корпуса, якоря ТЭД и колесной пары.

В пакете «УМ-Локо» создается модель тележки (рис. 3.2).

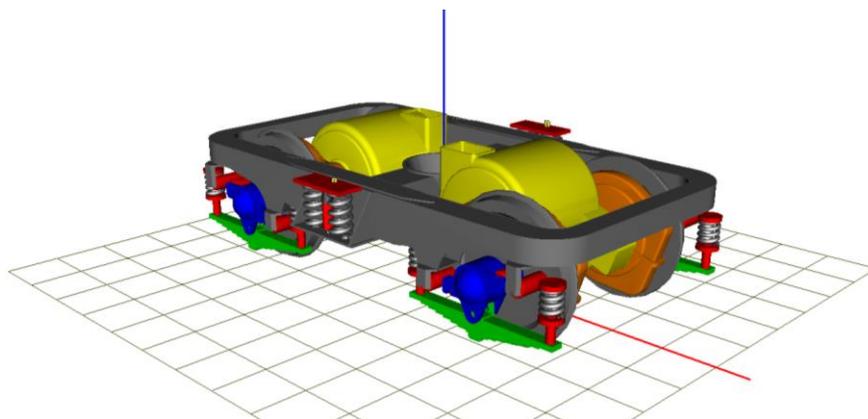


Рис. 3.2. Модель тележки

Затем создается модель секции электровоза (рис. 3.3).

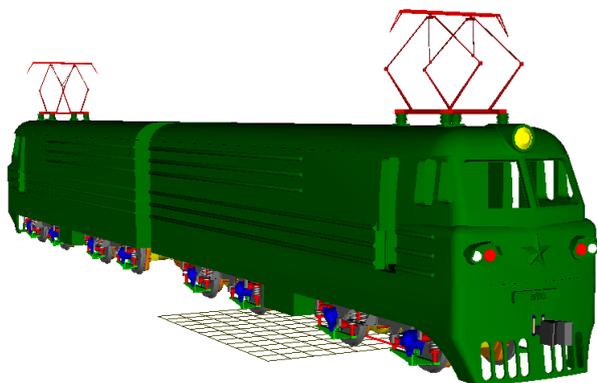


Рис. 3.3. Модель секции электровоза

### Основные режимы движения

В пакете «УМ-Локо» изучается движение с постоянной скоростью в прямой и в кривых различного радиуса. Определяются статические и динамические нагрузки. Находятся усилия в контакте «колесо – рельс».

### 3.1.3 Построение компьютерной модели механической части тепловоза с осевой формулой 3о-3о

#### Выбор расчетной схемы механической части тепловоза с осевой формулой 3о-3о

В состав модели входят кузов и две трехосных тележки. Описание структуры расчетной схемы механической части тепловоза с осевой формулой 2о-2о задается ориентированным графом (рис. 3.4).

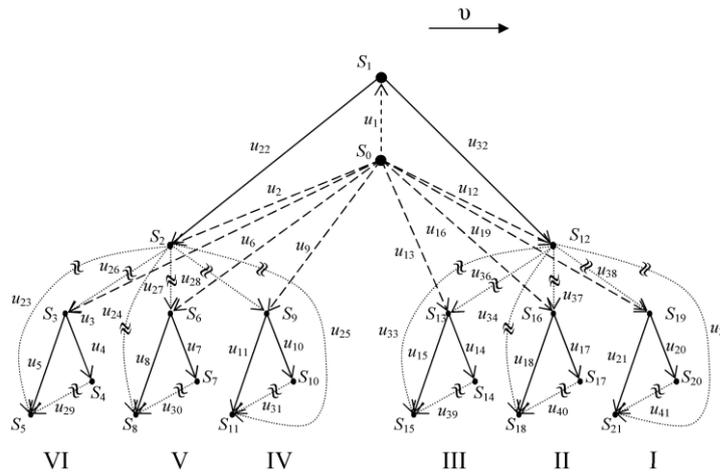


Рис. 3.4. Ориентированный граф

#### Работа с пакетом «Универсальный механизм»

Тележка состоит из рамы и трех колесно-моторных блоков (КМБ) с опорно-осевой подвеской ТЭД и двухъярусным упругим рессорным подвешиванием. Каждый КМБ состоит из корпуса, якоря ТЭД и колесной пары.

В пакете «УМ-Локо» создается модель тележки (рис. 3.5).

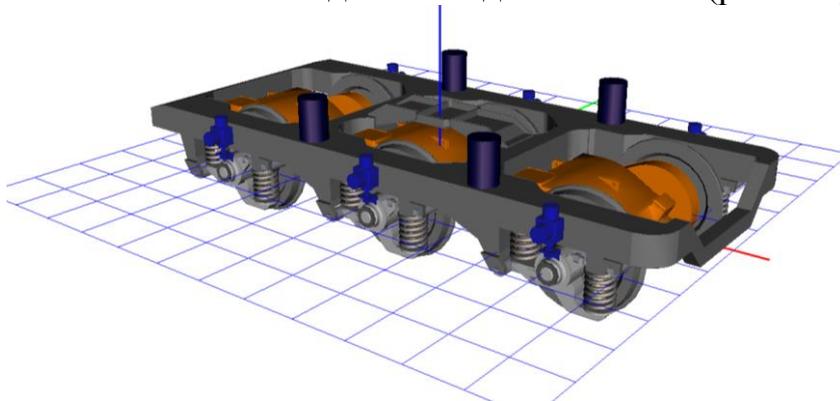


Рис. 3.5. Модель тележки

Затем создается модель секции тепловоза (рис. 3.6).

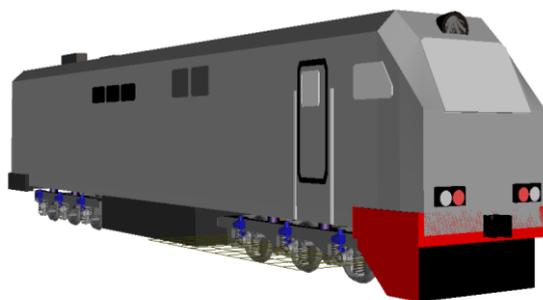


Рис. 3.6. Модель секции тепловоза

### *3.1.4 Построение компьютерной модели ходовой части пассажирского вагона*

#### **Выбор расчетной схемы ходовой части пассажирского вагона**

В состав модели входят кузов и две двухосных тележки. Тележка состоит из рамы и двух колесных пар.

#### **Работа с пакетом «Универсальный механизм»**

В пакете «УМ-Локо» создается модель тележки (рис. 3.7).

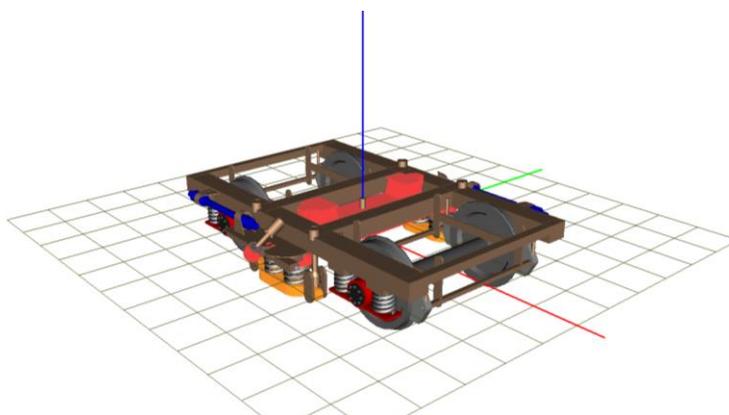


Рис. 3.7. Модель тележки

Затем создается модель вагона (рис. 3.8).

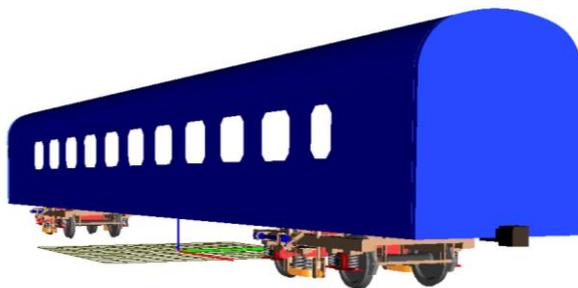


Рис. 3.8. Модель вагона

## **Основные режимы движения**

В пакете «УМ-Локо» изучается движение с постоянной скоростью в прямых участках пути и в кривых различного радиуса. Определяются статические и динамические нагрузки. Находятся усилия в контакте «колесо – рельс».

## **3.2 Математическое моделирование электрической части подвижного состава**

### ***3.2.1 Современные методы компьютерного моделирования процессов в электрических цепях***

#### **Основные задачи компьютерного моделирования**

При разработке схем и конструкций перспективных типов подвижного состава используется много новых технических решений, что требует наличия, на стадии проектных проработок, эффективных инструментов исследования. Чтобы добиться совместимости основных элементов конструкции в рабочих и аварийных режимах, необходимо выполнить прогнозирование возможных ситуаций, возникающих при движении локомотива, учесть состояние пути, контактной сети (для электровозов), систем управления и сигнализации. Для решения этих задач целесообразно применять комплексное компьютерное моделирование.

В настоящее время в области создания компьютерных моделей для исследования электромеханических процессов в тяговом приводе локомотивов накоплен определенный опыт. В большинстве известных компьютерных моделей механическая часть локомотива представляется в виде системы твердых тел, соединенных упругими и диссипативными элементами.

Процессы в электрической части представляются, как правило, с использованием методов теории цепей, в режимах, требующих подробного изучения, применяются полевые расчеты.

Известны модели, созданные с использованием пакета MatLab Simulink. Применение исключительно Simulink накладывает существенные ограничения на создание полноразмерной модели механической части. Поэтому в качестве среды для создания модели механической части целесообразно использовать пакет «Универсальный механизм», а процессы в электрооборудовании моделировать с использованием Simulink.

### **Работа с пакетом «Матлаб-Симулинк»**

Библиотека блоков SimPowerSystems является одной из множества дополнительных библиотек Simulink, ориентированных на моделирование конкретных устройств. SimPowerSystems содержит набор блоков для имитационного моделирования электротехнических устройств. В состав библиотеки входят модели пассивных и активных электротехнических элементов, источников энергии, электродвигателей, трансформаторов, линий электропередачи и подобного оборудования. Имеется также раздел, содержащий блоки для моделирования устройств силовой электроники, включая системы управления для них. Используя специальные возможности Simulink и SimPowerSystems, пользователь может не только имитировать работу устройств во временной области, но и выполнять различные виды анализа таких устройств. В частности, пользователь имеет возможность рассчитать установившийся режим работы системы на переменном токе, выполнить расчет импеданса (полного сопротивления) участка цепи, получить частотные характеристики, проанализировать устойчивость, а также выполнить гармонический анализ токов и напряжений.

Несомненным достоинством SimPowerSystems является то, что сложные электротехнические системы можно моделировать, сочетая методы имитационного и структурного моделирования. Например, силовую часть полупроводникового преобразователя электрической энергии можно выполнить с использованием имитационных блоков SimPowerSystems, а систему управления – с помощью обычных блоков Simulink, отражающих лишь алгоритм ее работы, а не ее электрическую схему. Такой подход в отличие от пакетов схемотехнического моделирования позволяет значительно упростить всю модель, а значит повысить ее работоспособность и скорость работы. Кроме того, в модели с использованием блоков SimPowerSystems (в дальнейшем SPS-модели) можно использовать блоки и остальных библиотек Simulink, а также функции самого MATLAB, что дает практически не ограниченные возможности для моделирования электротехнических систем.

Библиотека SimPowerSystems достаточно обширна. В том случае, если все же нужного блока в библиотеке нет, пользователь имеет возможность создать свой собственный блок как с помощью уже имеющихся в библиотеке блоков, реализуя возможности Simulink по созданию подсистем, так и на основе блоков основной библиотеки Simulink и управляемых источников тока или напряжения.

Таким образом, SimPowerSystems в составе Simulink на настоящее время может считаться одним из лучших пакетов для моделирования электротехнических устройств и систем.

### 3.2.2 Построение компьютерной модели силовых цепей электровоза постоянного тока с коллекторными тяговыми двигателями

#### Схема силовых цепей электровоза постоянного тока с коллекторными тяговыми двигателями

На двухсекционном восьмиосном электровозе ВЛ10 применяется последовательное (С) соединение всех восьми ТЭД, последовательно-параллельное (СП) соединение двумя параллельными группами по четыре двигателя и параллельное (П) соединение четырех групп по два двигателя (рис. 3.9).

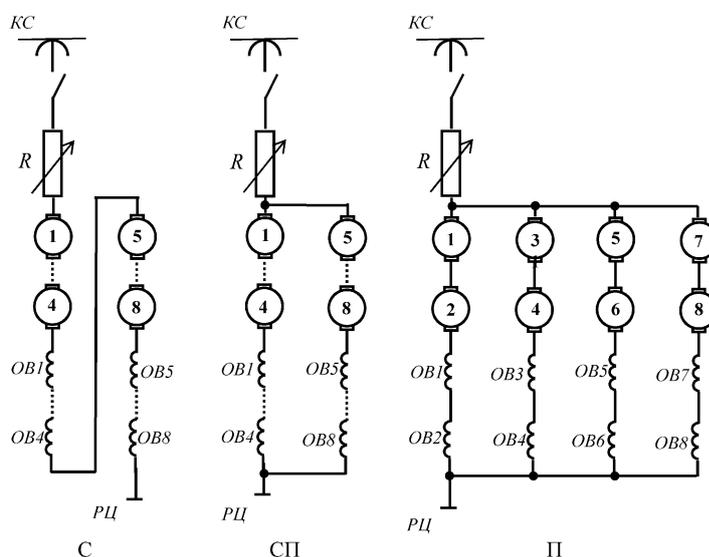


Рис. 3.9. Последовательное (С), последовательно-параллельное (СП) и параллельное (П) соединение ТЭД:

*OB* – обмотка возбуждения; *КС* – контактная сеть;

*РЦ* – рельсовая цепь; *R* – реостат

При соединении С напряжение  $U$  на каждом двигателе составляет  $1/8$  напряжения контактной сети, то есть  $U = U_{\text{КС}} / 8 = 375 \text{ В}$ , и через каждый двигатель протекает полный ток, потребляемый электровозом из контактной сети:  $I_a = I_{\text{КС}}$ . В результате на малой скорости движения создается большой тяговый момент.

При соединении СП напряжение  $U$  на каждом двигателе составляет  $1/4$  напряжения контактной сети, то есть  $U = U_{\text{КС}} / 4 = 750 \text{ В}$ , а через каждый двигатель протекает половина тока, потребляемого электровозом из контактной сети:  $I_a = 1/2 I_{\text{КС}}$ . В результате скорость движения возрастает, а тяга уменьшается.

При соединении П напряжение  $U$  на каждом двигателе составляет  $\frac{1}{2}$  напряжения контактной сети, то есть  $U = U_{\text{КС}} / 2 = 1500 \text{ В}$ , а через каждый двигатель протекает четверть тока, потребляемого электровозом из контактной сети:  $I_a = \frac{1}{4} I_{\text{КС}}$ . В результате скорость движения еще более возрастает, а тяга становится минимальной.

### Работа с пакетом «Матлаб-Симулинк»

Модель электрической машины постоянного тока показана на рис. 3.10.

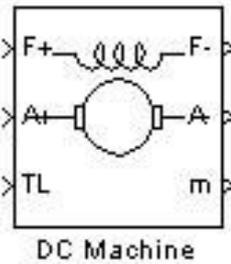


Рис. 3.10. Пиктограмма

**Назначение:** моделирует электрическую машину постоянного тока.

Порты модели A+ и A- являются выводами обмотки якоря машины, а порты F+ и F- представляют собой выводы обмотки возбуждения. Порт TL предназначен для подачи момента сопротивления движению. На выходном порту m формируется векторный сигнал, состоящий из четырех элементов: скорости, тока якоря, тока возбуждения и электромагнитного момента машины.

Схема модели машины постоянного тока представлена на рис. 3.11.

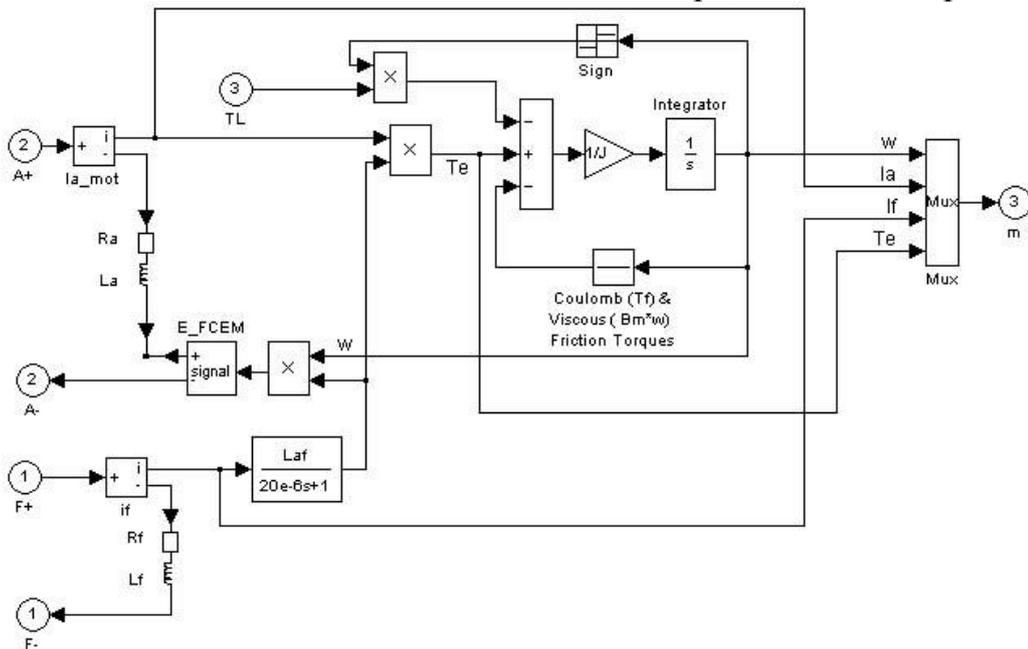


Рис. 3.11. Схема модели машины постоянного тока

Цепь якоря машины представлена последовательно включенными элементами  $R_a$  – активное сопротивление якорной цепи,  $L_a$  – индуктивность якорной цепи и  $E_{FCEM}$  – ЭДС обмотки якоря (управляемый источник напряжения).

### Основные режимы

На практических занятиях в соответствии со схемой собрать три варианта модели соединения тяговых двигателей: последовательного (С), последовательно-параллельного (СП) и параллельного (П).

### 3.2.3 Построение компьютерной модели силовых цепей электрической передачи постоянного тока грузового тепловоза

#### Схема силовых цепей электрической передачи постоянного тока грузового тепловоза

Принципиальная схема электрической передачи мощности постоянного тока приведена на рис. 3.12.

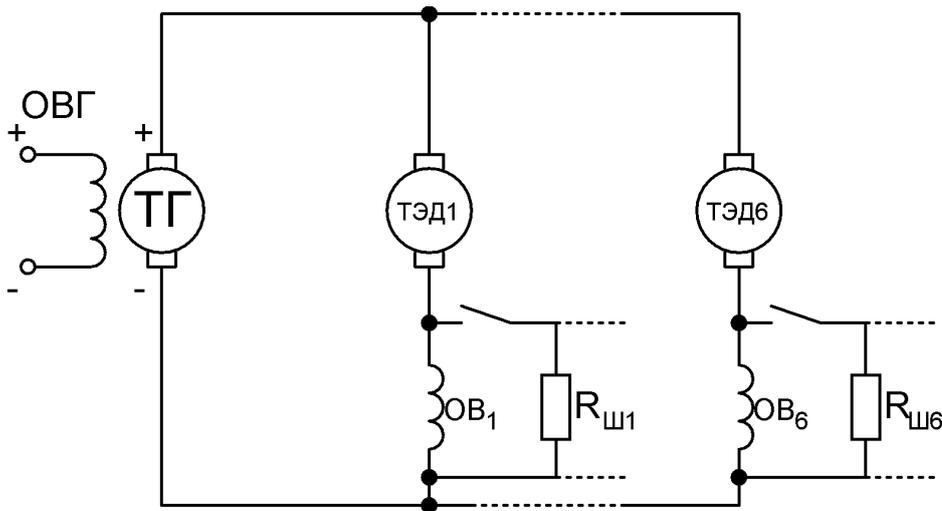


Рис. 3.12. Принципиальная схема электрической передачи постоянного тока (параллельное соединение ТЭД):

$ТГ$  – тяговый генератор;  $ТЭД$  – тяговый электродвигатель;  
 $ОВГ$  – обмотка возбуждения генератора;  $ОВ$  – обмотки возбуждения ТЭД

Ее основными элементами являются:

- тяговый генератор постоянного тока ( $ТГ$ ) с независимым возбуждением, вал которого приводится во вращение от вала дизеля. При заданной позиции контроллера машиниста генератор подает на тяговые электродвигатели постоянную электрическую мощность при переменных значениях тока и напряжения согласно (8), что позволяет гибко приспосабливаться к условиям ведения поезда, варьируя силу тяги и скорость движения;

- коллекторные ТЭД постоянного тока с последовательным возбуждением, приводящие во вращение колесные пары локомотива. Они также позволяют изменять силу тяги и скорость – за счет ослабления поля возбуждения.

### **Работа с пакетом «Матлаб-Симулинк»**

На практических занятиях собирается модель, состоящая из генератора (электрическая машина постоянного тока) и шести параллельно запитанных от генератора ТЭД.

### **Основные режимы**

Режимы работы электрической передачи мощности постоянного тока определяются мощностью дизель-генераторной установки, током обмотки возбуждения генератора, ослаблением поля возбуждения ТЭД и нагрузкой (условиями движения).

Режимы работы изучаются на лабораторных занятиях.

### ***3.2.4 Построение компьютерной модели силовых цепей пассажирского вагона с подвагонным вентильно-индукторным генератором (ВИГ)***

#### **Составление схемы силовых цепей пассажирского вагона с подвагонным ВИГ**

Приведено описание объекта исследования – трехфазного ВИГ конфигурации 18/12 разработки РГУПС (рис. 3.13). Расчетные параметры генератора: мощность – 16 кВт; диапазон частоты вращения 380...2400 об/мин; вырабатываемое напряжение –  $537 \pm 20$  В; род тока – постоянный; КПД – не менее 90 %.



Рис. 3.13. ВИГ разработки РГУПС

Рассмотрены способы его установки на подвижном составе, дана принципиальная схема его подключения (рис. 3.14).

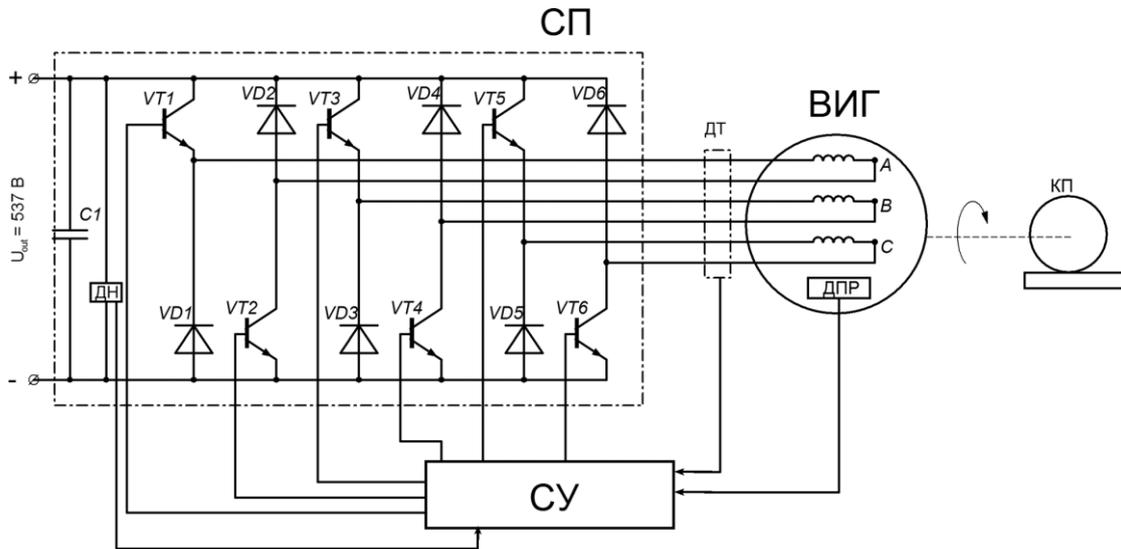


Рис. 3.14. Принципиальная схема трехфазного ВИГ

Механическая часть вагона, представленная как система твердых тел, состоит из кузова, двух рам тележек и четырех колесных пар, связанных между собой силовыми элементами и сочленениями, имеющими конкретные кинематические свойства. Подвагонный генератор пассажирского вагона приводится во вращение от колесной пары при помощи зубчатого редуктора и крепится непосредственно к кузову (рис. 3.15).

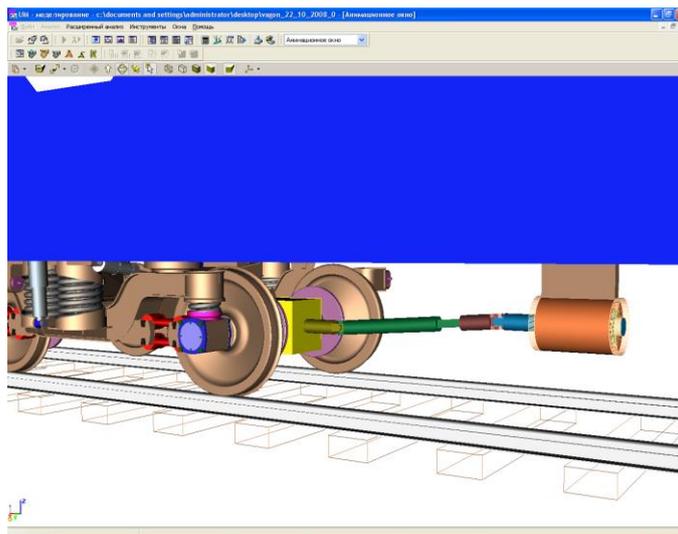


Рис. 3.15. Компьютерная модель «вагон – подвагонный ВИГ»

## **Работа с пакетом «Матлаб-Симулинк»**

Модель разрабатывается на практических занятиях.

### **Основные режимы**

Рассматриваются на лабораторных занятиях – для различных скоростей движения.

### **Библиографический список**

1 **Зарифьян, А.А.** Математическое моделирование и системы автоматизированного проектирования транспортных средств : учеб. пособие. Ч. 2 / А.А. Зарифьян, А.П. Бондарев, Г.А. Бузало. – Ростов н/Д : РГУПС, 2003.

2 **Зарифьян А.А.** Математическое моделирование и системы автоматизированного проектирования транспортных средств : учеб. пособие Ч. 1 / А.А. Зарифьян, А.П. Бондарев, В.Н. Кашников. – Ростов н/Д : РГУПС, 2002.

3 Динамические процессы в асинхронном тяговом приводе магистральных электровозов / Ю.А. Бахвалов, Г.А. Бузало, А.А. Зарифьян [и др.] ; под ред. А.А. Зарифьяна. – М. : Транспорт, 2006.

4 Моделирование электромеханической системы электровоза с асинхронным тяговым приводом / Ю.А. Бахвалов, А.А. Зарифьян, В.Н. Кашников [и др.]; под ред. Е.М. Плохова. – М. : Транспорт, 2001.

5 Научно-технический журнал «Локомотив» (ежемесячно).

6 Научно-технический журнал «Железнодорожный транспорт» (ежемесячно).

7 Научно-технический журнал «Железные дороги мира» (ежемесячно).

8 Методическое обеспечение с самостоятельной работы студентов по дисциплинам кафедры «Локомотивы и локомотивное хозяйство»: учеб.-метод. комплекс / под ред. А.С. Шапшала. – Ростов н/Д : РГУПС, 2010. – 152 с.

## 4 ТЕОРИЯ И КОНСТРУКЦИЯ ЛОКОМОТИВОВ

### Введение

Идея создания тепловозов и первые её теоретические обоснования, сопровождающиеся эскизными проектами, были высказаны отечественными инженерами и учеными прошлого столетия. Начало тепловозостроению было положено уже в первые годы советской власти, историческим постановлением Совета труда и обороны от 4 января 1922 г.

В 1924 г. был построен первый в мире советский тепловоз Щ-1. В последующие годы происходило накопление опыта проектирования, постройки и эксплуатации тепловозов.

Решительный поворот к широкому внедрению тепловозной тяги на железных дорогах страны был определен в 1955 г. Дальнейшая конкретная программа реконструкции тяги предусматривала внедрение более мощных локомотивов – магистральных (грузовых), пассажирских и значительное повышение доли прогрессивных средств тяги в маневровой работе железнодорожного транспорта. Успешное осуществление технической реконструкции на базе электрификации и широкого внедрения тепловозной тяги изменило весь облик железнодорожного транспорта. На 1 января 1975 г. был практически завершён перевод железных дорог на электровозную и тепловозную тягу.

Широкое внедрение тепловозной тяги при соответствующем развитии тепловозостроительной промышленности сопровождалось подготовкой и переподготовкой кадров, интенсивным развитием научных исследований, разработкой вопросов теории работы тепловозов и их отдельных устройств, разработкой новых конструкций и их испытаниями, совершенствованием методов проектирования и все возрастающим опытом эксплуатации.

Результаты научных исследований, теоретических разработок и расчетов, обобщение опыта эксплуатации тепловозов, полученных коллективами конструкторских бюро тепловозостроительных заводов, научно-исследовательских организаций железнодорожного транспорта, освещались в журнальных статьях, сборниках трудов и учебниках для вузов и техникумов.

В данном разделе будут рассмотрены вопросы конструкции тепловозов, теории их работы и современные методы расчета узлов и деталей, применяемые в конструкторских бюро и научно-исследовательских институтах (НИИ).

Вопросы, относящиеся к силовым установкам, тяговым передачам и системам управления работы тепловоза, будут освещены в мере, необходимой для представления работы тепловоза в целом и его отдельных узлов.

## 4.1 Тележки локомотивов

### 4.1.1 Общее устройство тележек локомотива

Тележки тепловозов в процессе эксплуатации находятся под сложным силовым воздействием. Они воспринимают вес кузова со всем находящимся в нем оборудованием и передают его на железнодорожном пути. На тележки действуют силы тяги, тормозные силы от кузова, динамические силы от ж.-д. пути (возникающие при прохождении кривых и стыков).

К конструкции современных тепловозных тележечных экипажей в целом и их тележек предъявляют следующие разносторонние требования, которые необходимо учитывать при проектировании.

Тележки должны обеспечивать следующее:

- безопасную эксплуатацию тепловоза с максимальными заданными скоростями в прямых и кривых при минимальных динамических воздействиях на путь в вертикальной и горизонтальных плоскостях;

- минимальные динамические усилия и ударные импульсы, передаваемые от пути устройствам тяговой передачи и кузову;

- максимальное использование сцепного веса при необходимости эксплуатационной надежности конструкции, ее минимальном весе, хорошей ремонтоспособности и минимальных годовых расходах.

Тележки тепловозов классифицируют по следующим основным конструктивным особенностям:

- 1) числу колесных пар, объединенных жесткой рамой (2-, 3-, 4-осные);

- 2) конструкции связи букс с рамой тележки (челюстные, поводковые, с цилиндрическими направляющими);

- 3) конструкции подвешивания ТЭД (опорно-осевое, опорно-рамное и опорно-центровое);

- 4) числу ступеней упругого подвешивания (одно- и двухступенчатое);

- 5) конструкции связи кузова с тележками в поперечном к оси пути направлении (жесткая и упругая);

- 6) числу ТЭД в тележке (много- и одноmotorные);

- 7) типу рам (брусковые и сварнолитые).

К основным узлам тележки относят следующие: раму, упругое подвешивание, колесные пары, буксы, тяговые зубчатые передачи, подвешивание ТЭД, устройство для передачи силы тяги и тормозную систему.

Рамы тележек выполняют брусковыми и корбчатыми сварнолитыми. Междурамные крепления и поперечные концевые балки – корбчатые, сваренные из прокатных профилей и листов.

Конструкция рамы тележки определяется диаметром колес, способом крепления букс, типом опор кузова и рессорного подвешивания расположением смежных узлов рамы и кузова и т.д. Рамы тележки подразделяются на листовые, брусковые, цельнолитые и сварно-листовые. В зави-

симости от расположения колес рамы делятся на внешние и внутренние. В зависимости от числа осей тележки и способа передачи на нее вертикальной нагрузки боковины рамы могут соединяться по-разному. На двухосных тележках боковины 1 соединяются тремя поперечными балками (рис. 4.1, а), средняя из которых 2 является более мощной. В случае центрального приложения вертикальной нагрузки через шкворень она называется шкворневой и передает все силы между тележкой и рамой тепловоза, причем основной нагрузкой на нее является изгибающий момент от вертикальных сил. Концевые балки 3 служат для обеспечения жесткости конструкции рамы и закрепления на ней других узлов тележки.

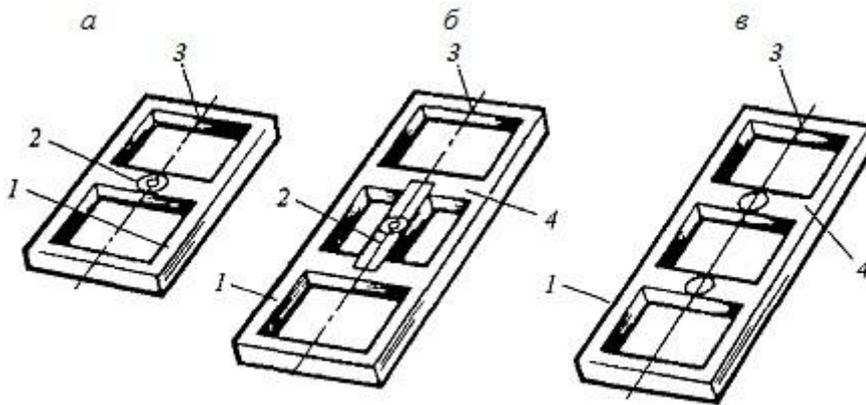


Рис. 4.1. Схемы рам тележек:

1 – боковина; 2 – шкворневая балка; 3 – концевая балка;  
4 – средняя поперечная балка

В случае когда вертикальная нагрузка передается через боковые опоры непосредственно на боковины, как у тепловозов ТЭМ2 и 2ТЭ10Л, средние поперечные балки 4 (рис. 4.1, б) не воспринимают изгибающих моментов от вертикальных нагрузок и выполняются более легкими. Однако для размещения подпятника шкворня и передачи продольных сил здесь необходима продольная шкворневая балка 2, опирающаяся на балки 4.

На трехосной тележке с передачей сил через две центральные опоры (рис. 4.1, в), как на тепловозе ТЭП60, шкворневых балок две.

Упругое подвешивание тележек предназначено для смягчения ударов, идущих от колесных пар на тележку и кузов, и для равномерного распределения подрессоренного веса между колесными парами.

Колесные пары воспринимают нагрузку от веса всего тепловоза и сил, возникающих между колесом и рельсом. Конструкция колесных пар, тип подвешивания ТЭД и тип зубчатой передачи определяют неподрессоренный вес тепловоза. Стремление к созданию конструкций с минимальным весом приводит к появлению безбандажных колес, полых осей, а также более надежных и легких зубчатых колес и шестерен.

Букса является звеном, соединяющим колесную пару с рамой тележки и опорной точкой рессорного подвешивания. В корпусах букс размещены подшипники, обеспечивающие вращение оси колесной пары при движении. В передних крышках букс установлены упругие и жесткие упоры, обеспечивающие необходимые разбеги осей колесных пар.

Различают три типа подвешивания ТЭД: опорно-осевое, опорно-центровое, опорно-рамное. Крутящий момент передается зубчатым редуктором при всех типах подвешивания ТЭД.

Опоры кузова служат для передачи веса кузова с оборудованием на тележки. Конструкция опор определяется родом службы тепловоза. В зависимости от конструкции связи тележек с кузовом опоры могут передавать как вертикальные силы от веса кузова, так и поперечные горизонтальные силы инерции, а также силу тяги и тормозные усилия. В зависимости от системы подвешивания опоры могут быть жесткими или упругими в вертикальном направлении.

Тяговые и тормозные усилия с тележки на кузов можно передавать при помощи шкворня, маятниковой опоры, наклонных тяг и шарнирно-рычажных устройств, размещенных ниже плоскости осей колесных пар.

Установлено, что передача силы тяги с тележек на кузов при помощи низкорасположенных тяг позволяет свести к минимуму изменение нагрузок по осям тележек. В связи с этим значительно повышается коэффициент использования сцепного веса.

#### ***4.1.2 Рессорное подвешивание локомотивов***

Рессорное подвешивание предназначено для уменьшения динамического воздействия колес на рельсы при движении по неровностям пути, динамических усилий и ударных импульсов, передаваемых от рельс к ТЭД и для гашения колебаний надрессорного строения.

Частота собственных колебаний надрессорного строения при достаточной гибкости рессор во много раз меньше частоты приложения нагрузок, вызываемых неровностями рельсового пути. Классификация рессорного подвешивания. Рессорное подвешивание можно классифицировать по следующим признакам:

- материалу упругих элементов (сталь, резина, пневматические элементы);
- количеству ступеней или ярусов подвешивания (одно- и двухступенчатое подвешивание);
- числу отдельных групп подвешивания в составе экипажа или тележки (трех- и четырехточечное или индивидуальное подвешивание);
- функциям, выполняемым элементами подвешивания (упругие элементы – спиральные пружины, упругодемпфирующие элементы – листовые рессоры, пневмобаллоны, резинометаллические элементы; демпфирующие элементы – фрикционные и гидравлические амортизаторы; элементы, распределяющие усилия в системе – балансиры, подвески и т. п.).

На тепловозах серии ТЭМ2, 2ТЭ10Л, М62, ТЭЗ принимается одноступенчатое, сбалансированное (четырёхточечное) рессорное подвешивание, состоящие из листовых рессор и спиральных пружин. Нагрузка на буксы передается через балансиры, связанные с элементами рессорного подвешивания валиками. Эти шарнирные соединения в эксплуатации подвержены сильному износу, причиной которого являются значительные удельные давления между валиками и втулками, особенно возрастающие вследствие перекосов подвесок при поперечных перемещениях букс относительно рамы тележки в результате наличия зазоров между лобовыми наличниками букс и рам тележек. В связи с этим шарнирная система, соединяющая упругие элементы одной стороны тележки, недостаточно чувствительна из-за значительного трения в шарнирах. К тому же динамические нагрузки, имеющие небольшую продолжительность действия, не успевают перераспределяться между колесами вследствие значительной инерции балансиров и рессор, замедляющей их угловые перемещения. Перечисленное существенно уменьшает теоретические преимущества сбалансированной системы рессорного подвешивания в отношении выравнивания нагрузок на колеса и объясняет переход к индивидуальному подвешиванию. В этой конструкции упругие элементы состоят из спиральных пружин, опирающихся на приливы поводковых букс. Между корпусом буксы и рамой тележки размещен фрикционный гаситель колебаний. Такая система примерно в три раза легче сбалансированной, кроме того, в ней отсутствуют подверженные износу шарнирные соединения. Однако индивидуальная система подвешивания требует большей точности изготовления и монтажа. Спиральные пружины комплекта не должны значительно отличаться друг от друга по жесткости и длине в свободном состоянии, иначе возникает неравенство статических нагрузок, передаваемых колесами на рельсы.

### ***4.1.3 Опорно-возвращающие устройства***

В экипажной части тягового подвижного состава и вагонов для передачи вертикальной нагрузки от кузова на тележки, создания возвращающих сил и моментов при поперечном отходе кузова и повороте тележки вокруг вертикальной оси применяются опорно-возвращающие устройства различной конструкции.

На тепловозах применяются различные конструктивные схемы опор и возвращающих устройств: роликовые с постоянным возвращающим моментом и моментом трения (тепловозы ТЭ10, 2ТЭ10Л и др.); комбинированные резиноголиковые опоры с упругим шкворневым устройством (2ТЭ10М, 2ТЭ10В, 2ТЭ116 и др.); маятниковые опоры с пружинными возвращающими устройствами (ТЭП60); пружинные, работающие на вертикальную и горизонтальную нагрузки (ТЭП70, ТЭП80, ТЭМ21); опоры на маятниковых подвесках (ТЭМ7, ЧМЭЗ).

### *Тепловозы ТЭЗ, ТЭ7, 2ТЭ10Л*

Нагрузка от кузова передается через четыре роликовые опоры, установленные на боковинах рамы тележки по окружности.

При прохождении тепловозом кривых участков пути тележка поворачивается, и в результате наклона опорных плит возникает горизонтальное перемещение (усилие), стремящееся вернуть тележку в первоначальное положение.

Опоры тепловозов 2ТЭ10Л и ТЭЗ обеспечивают только поворот тележек в плане относительно кузова и не обеспечивают поперечного перемещения. Продольные и поперечные силы от тележки на раму кузова передаются через шкворень.

### *Тепловозы 2ТЭ116, 130, 140*

На базе испытанной в эксплуатации опорно-возвращающей системы тепловоза ТЭ109 созданы опорно-возвращающие устройства тепловозов 2ТЭ116, 130, 140. Такое устройство состоит из четырех опор с роликовыми возвращающими устройствами и шкворневого узла, обеспечивающего максимальное поперечное перемещение кузова относительно тележек  $\pm 40$  мм.

Роликовые опоры аналогичны по конструкции опорам тепловоза ТЭЗ и 2ТЭ10Л, но отличаются способом установки на раме тележки. Опоры установлены так, что направление движения роликов было перпендикулярно продольной оси тепловоза. Момент, возникающий при повороте тележки, способствует уменьшению виляния.

В качестве пары трения принята сталь 65Г и пластмасса или металлокерамика, имеющая низкий коэффициент трения. Смазка поверхностей – консистентная, поверхности предохранены защитным кожухом. Такая система компактна, технологична, меньше вес, что выгодно отмечает ее от люлечной подвески.

Шкворневой узел отличается от рассмотренных ранее конструкций, на данном типе тележек он подпружинен, состоит из: собственно шкворня, двух стаканов, установленных с обеих сторон гнезда шкворневой балки. Внутри стакана перемещается шток, опирающийся на пружины. Это позволяет перемещаться шкворню до 40 мм на сторону, что значительно улучшает динамику подвижного состава.

### *Тепловоз ТЭП60*

По конструкции эти устройства отличаются от опорно-возвращающих устройств роликового типа тепловозов ТЭЗ, 2ТЭЛ и 2ТЭ116. Нагрузка от кузова на тележку передается через две центральные и четыре боковые опоры. Опоры допускают относительное перемещение кузова и тележек. При поперечном смещении тележек центральные опоры наклоняются. Устойчивость центральных опор в поперечном направлении обеспечивается специальными возвращающими устройствами, создающими возвращающую силу и момент, способствующий плавному повороту тележек в кривых.

Тяговые и тормозные силы от тележки к раме кузова передаются также центральными опорами. Для этого как в стойке опоры, так и в кронштейнах рамы кузова предусмотрены специальные устройства (камни), изготовленные из легированной стали с термообработкой.

#### *Возвращающие устройства люлечного типа*

Для обеспечения плавного входа в кривые участки пути и выхода из них, а также для смягчения боковых колебаний – подвешивание кузова к раме тележки часто выполняют в виде люльки. Подвески в тележках можно располагать как вертикально, так и наклонно. Наклонное расположение люлечных подвесок способствует более быстрому нарастанию возвращающего усилия.

Улучшение динамических качеств и снижение бокового воздействия на путь – один из важнейших этапов решения проблемы скоростного движения. Плавность хода локомотива, его воздействие на путь во многом зависят от величины боковых сил, возникающих при движении по прямым и кривым участкам пути. Известно, что на величину этих сил оказывают влияние характеристики поперечных связей кузова с тележками и колесными парами. Исследования ВНИТИ показали, что хорошие ходовые качества имеют конструкции, в которых обеспечена поперечная связь кузова с тележками, без начальной возвращающей силы. При этом жесткость на первом этапе смещения должна быть не высокой, а на втором этапе – такой, чтобы при полном смещении возвращающая сила исключала возможные соударения кузова и тележек.

Главным фактором, определяющим указанное преимущество по динамическим показателям в горизонтальной плоскости, является наличие гибкой поперечной связи кузова с тележками. Применение на современных локомотивах конструкции роликовых опорно-возвращающих устройств в сочетании с упругим шкворнем (ТЭ109, 130, 140 и 2ТЭ116), люлечных подвесок или элементов их заменяющих (ТЭП60, ТЭП70), а также возвращающих устройств в виде пружин, резинометаллических блоков обеспечивают заданную характеристику возвращающей силы.

### **4.1.4 Тяговые устройства**

Тяговые устройства локомотивов предназначены для передачи от тележки к кузову продольных (тяговых и тормозных) и поперечных сил.

По конструкции тяговые устройства разнообразны. На рис. 4.2 показана схема классификации основных типов тяговых устройств, применяемых в локомотивах.

При движении локомотива происходит перераспределение нагрузок между колесными парами, вызванное вертикальными реакциями от действия на тележку моментов сил тяги и торможения. Появление этих моментов связано с различной высотой приложения к тележке сил тяги (на уровне головки рельса) и сопротивления движению (уровень автосцепки и шкворневого шарнира).

В практике локомотивостроения в качестве критерия оценки тяговых свойств введено понятие «использование сцепного веса», определяемое величиной статического коэффициента использования сцепного веса  $\eta_i$ . Наибольшая по сцеплению сила тяги локомотива  $F_{ксп}$  находится в прямой зависимости от его сцепного веса  $G$  и коэффициента сцепления  $\psi$ . Однако расчеты и практика эксплуатации показывают, что не весь сцепной вес локомотива используется для создания силы тяги.

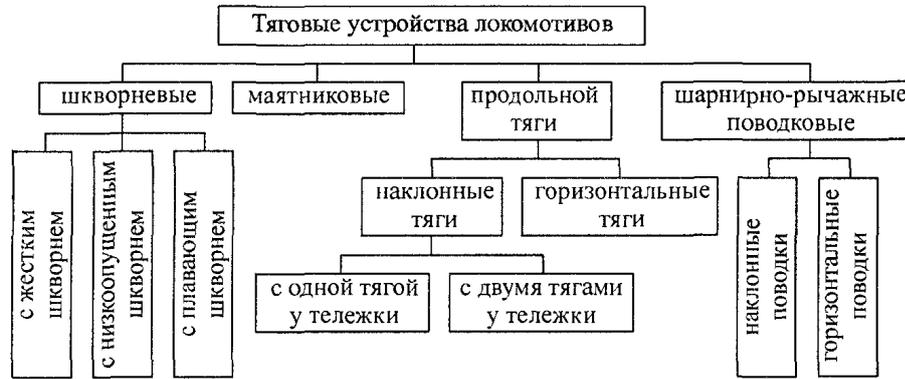


Рис. 4.2. Классификация тяговых устройств локомотивов

Наиболее распространенное решение, которое применялось на грузовых и маневровых тепловозах (2ТЭЗ, 2ТЭ10Л, ТЭМ2, ТГМ4, ТГМ6), – это жесткие опоры кузова (роликовые, плоские). При этом рама тележки не может поворачиваться в продольной вертикальной плоскости относительно кузова и перераспределения нагрузки по колесным парам тележки от продольных сил, приложенных к шкворню, не происходит.

На магистральных локомотивах (тепловозы ТЭП70, ТЭП80, ТЭ136, электровозы типа ВЛ80 и др.) применяется двухступенчатое рессорное подвешивание, а низко опущенный шкворень несколько повышает коэффициент использования сцепного веса. Так, на тепловозе ТЭП70 плоскость передачи продольных сил от тележки к кузову при низко опущенном шкворне, расположенном между первой и второй колесными парами, перенесена на уровень осей колесных пар.

В некоторых локомотивах применяют специальные пневмо- или гидродогружатели, устанавливаемые между рамой тележки и кузова. С помощью догружателей создается противомoment, компенсирующий действие тягового момента в шкворневом узле. Однако в этом случае необходимо применить систему автоматического регулирования давления воздуха или жидкости в цилиндрах в зависимости от величины силы тяги локомотива.

Существенно можно решить проблему применением одной или двух наклонных тяг, через которые передается сила тяги от тележек к кузову. В зависимости от схемы включения тяги могут работать только на растяжение или на растяжение и сжатие. В последнем случае, как правило, применяется одна наклонная тяга на тележку.

В отечественном локомотивостроении наибольшее распространение получили шкворневые тяговые устройства.

Тяговое устройство с жестким шкворнем применялось на магистральных тепловозах 2ТЭЗ, 2ТЭ10Л, а также на всех маневровых тележечных тепловозах.

Шкворень, кроме передачи продольных и поперечных сил, является еще и вертикальной осью вращения тележки относительно кузова.

В отечественной практике локомотивостроения систему продольной связи с наклонными тягами впервые применили в экспортном электровозе Sri для Финляндии, а затем в переработанном виде она была использована в электровозах ВЛ85, ВЛ15 и ВЛ65.

#### *4.1.5 Тормозное оборудование локомотивов*

Тормозные устройства тягового подвижного состава по способу образования тормозной силы можно разделить на четыре типа:

- механические, реализующие тормозную силу колодочным или дисковым тормозом;
- электрические, создающие тормозную силу при превращении кинетической энергии движущегося поезда в электрическую, при помощи тяговых электродвигателей, работающих в генераторном режиме;
- электромагнитные, в которых тормозная сила возникает при притягивании электромагнитным полем специальных башмаков к рельсам и их скольжению по рельсам;
- гидравлические, создающие тормозную силу преобразованием кинетической энергии поезда в энергию потока жидкости, циркулирующей в специальной гидромуфте.

Тормозное оборудование размещают в кузове и на тележках локомотива. На тележке устанавливают тормозные цилиндры, рычажную передачу и трубопровод питания тормозных цилиндров, остальное оборудование располагают в кузове локомотива. Число тормозных цилиндров локомотива зависит от принятой схемы рычажной передачи. Работа воздушных (пневматических) тормозов основана на использовании в тормозном цилиндре энергии сжатого воздуха.

Тормозная рычажная передача предназначена для равномерного распределения усилия между тормозными колодками и передачи его от поршня тормозного цилиндра на колеса локомотива. Тормозные передачи по принципу действия бывают с односторонним и двусторонним нажатием колодок на колеса локомотива.

При одностороннем нажатии обеспечивается тормозное усилие с одной стороны колеса, при двустороннем – с двух сторон. Односторонние передачи просты по конструкции, сравнительно небольшого веса и обеспечивают хороший доступ для осмотра и ремонта. Однако эти передачи обладают существенными недостатками: при торможении на ось действует дополнительный крутящий момент от нажатия тормозных колодок на колесо; большое давление на тормозные колодки приводит к снижению ко-

коэффициента трения между колодкой и колесом, а следовательно и тормозной силы локомотива, вызывая значительный износ колодок и нагрев бандажей. Эти передачи применяют в тепловозах ТЭ10, 2ТЭ10Л, ТЭМ2У с челюстными тележками. Односторонние передачи целесообразнее применять с композиционными колодками с высоким коэффициентом трения при условии обеспечения допустимых давлений на колодку. У односторонней рычажной передачи есть недостатки: малая жесткость в поперечном направлении, препятствующая применению безгребневых секционных колодок, высокая трудоемкость и сложность регулировки; невозможность эффективно применять противоюзные устройства, т. к. при юзе одного из колес необходимо обеспечить отпуск сразу шести тормозных колодок.

Двухсторонние рычажные передачи гораздо сложнее по конструкции и имеют большую массу, в эксплуатации затрудняют осмотр экипажной части, но обеспечивают увеличение тормозной силы локомотива.

Рычажные передачи изменяют передаточные отношения в зависимости от материала и типа тормозных колодок. В конструкциях вертикальных (или горизонтальных) рычагов предусмотрены отверстия для роликов, положение которых обуславливает изменение передаточного отношения, а следовательно, и коэффициента нажатия тормозных колодок. Так, например, у тепловоза ТЭП60 передаточные отношения при композиционных и чугунных колодках соответственно равны 2,38 и 5,77, а действительные коэффициенты нажатия – 0,6 и 0,3.

В рычажной передаче тормоза предусматривается возможность регулирования зазоров между бандажами и тормозными колодками и применение автоматических устройств для изменения силы нажатия колодок, противоюзных устройств. При проектировании стараются уменьшить массу тормозной системы и количество шарнирных соединений.

Двустороннее расположение колодок применяют в локомотивах 2ТЭ10В, 2ТЭ10М, ТЭП60, ТЭП70, 2ТЭ116 и др. На каждой тележке тепловоза установлено по четыре тормозных цилиндра диаметром 254 мм. Каждый цилиндр приводит в действие три тормозные колодки. Характерной особенностью этой рычажной передачи является возможность изменения передаточного отношения в зависимости от типа применяемых тормозных колодок.

Рычажная передача тормоза тепловозов 2ТЭ116, ТЭП70, ТЭП80 отличается от передач тепловозов 2ТЭ10Л, ТЭП60 и других тем, что в ней каждое колесо обслуживается одним тормозным цилиндром.

## **4.2 Главные рамы и кузова локомотивов**

### ***4.2.1 Типы рам локомотивов***

Кузов и главная рама предназначены для размещения локомотивной бригады, силового и вспомогательного оборудования, устройств управления локомотивом. Конструкция главной рамы и кузова определяется родом службы локомотива, компоновкой оборудования, способом восприятия и

передачи нагрузок, производственно-технологическими условиями изготовления и эксплуатации локомотива. Поэтому к кузовам и главным рамам предъявляются высокие требования по жесткости, прочности и надежности.

По способу восприятия и передачи нагрузок принято различать кузова двух типов – несущие (цельнонесущие) и ненесущие. К ненесущим относят кузова, которые не воспринимают основных внешних нагрузок. Эту функцию выполняет главная рама локомотива. Кузов несущего типа воспринимает и передает нагрузки совместно с главной рамой, которую изготавливают меньшего веса, чем у локомотива с ненесущим кузовом. При одинаковой несущей способности у локомотива с несущим кузовом меньшая масса металлоконструкций, чем у локомотива с ненесущим кузовом. Так, масса современных локомотивов, приходящаяся на 1 м длины несущего кузова с рамой, равна 1,1–1,4 т/м, а несущего с рамой – 0,86–1,0 т/м.

Для отечественных локомотивов применяют кузова вагонного (закрытого) и капотного типа. Кузова закрытого типа используют преимущественно на магистральных локомотивах, капотные кузова на маневровых. Закрытые кузова защищают обслуживающий персонал и оборудование от воздействия внешней среды при выполнении работ по обслуживанию агрегатов во время движения локомотива. Кроме того, кузова вагонного типа обладают меньшим аэродинамическим сопротивлением. Их боковые стенки размещают с учетом наибольшего использования ширины подвижного состава, кузова вагонного типа используют на тепловозах 2ТЭ10М, М62, ТЭ109, ТЭП60, ТЭП70, ТЭП80 и др. При этом кузова тепловозов ТЭ109, ТЭП60, ТЭП70, ТЭП70БС, ТЭП80 являются несущими.

Несущие кузова можно условно классифицировать на два типа: кузова с несущей фермой (ТЭП60, ТЭП70, ТЭП80) и кузова с несущей обочкой (ТЭ109, ТЭП70БС). У первых основную нагрузку воспринимают стержневые металлоконструкции, напоминающие ферму моста. У вторых основную нагрузку воспринимает обшивка кузова, впрочем, подкрепленная изнутри продольными и поперечными стержневыми элементами.

У маневровых локомотивов одна кабина машиниста, поэтому капотный кузов обеспечивает лучший обзор станционных путей из кабины. Он проще в изготовлении, чем кузов вагонного типа. Его легко снимать с рамы при необходимости демонтажа и ремонта агрегатов локомотива. Капотные кузова имеют тепловозы ТЭМ2У, ТЭМ18, ТЭМ21, ТГМ4, ТГМ6, ТЭМ7, ТГК1, ТГМ23 и др.

Главные несущие рамы воспринимают и передают вертикальные тяговые, тормозные и инерционные силы на тележки (оси) и на ударно-тяговые приборы.

Основными элементами главных несущих рам являются две продольные балки и поперечные крепления. Если эти балки расположены вблизи продольной оси симметрии рамы, они носят название хребтовых балок. Элементы рамы соединяют сваркой или клепкой. Расположение

продольных балок и поперечных креплений обусловлено компоновкой оборудования локомотива на раме, способом передачи вертикальных и горизонтальных усилий на тележки и ударно-тяговые приборы.

При проектировании рамы стремятся обеспечить наибольшую надежность, прочность и жесткость при наименьшей металлоемкости. Важные требования к конструкции рамы: удобство компоновки оборудования, технологичность изготовления, обслуживания и ремонта. Практически сложно добиться полного удовлетворения одного из этих показателей, не ухудшив другие. Например, уменьшение металлоемкости конструкции связано с опасностью снижения ее несущей способности. Компромиссные решения следует искать на основе технико-экономического анализа. Наиболее приемлемым при этом будет считаться то конструктивное решение, которое может дать наибольший экономический эффект при эксплуатации тепловоза.

#### 4.2.2 Типы кузовов локомотивов

Ненесущие кузова могут быть капотного или вагонного (закрытого) типа (рис. 4.3). Кузова капотного типа применяются на всех отечественных маневровых тепловозов.

Кузов тепловоза ТЭМ2У состоит из кузовов холодильной камеры, двигателя, высоковольтной камеры, аккумуляторного отсека и кабины машиниста. Кузов двигателя выполнен съемным. Для удобства обслуживания и доступа к агрегатам и узлам тепловоза в кузове сделаны боковые двери, а также съемные листы и люки на крыше.

Кузов аккумуляторного отсека представляет собой металлическую конструкцию из уголкового сортового проката, гнутых профилей и наружной обшивки. Внутри сделаны двухъярусные полки для установки поддонов с аккумуляторами. С каждой стороны кузова предусмотрены двухстворчатые двери с просечками для вентиляции и люк для обслуживания и выемки аккумуляторных батарей. Вытяжной колпак люка предназначен для удаления образующихся в аккумуляторном помещении газов. На торцевой части кузова между бункерами песочницы есть дверь и ниша для установки прожектора.

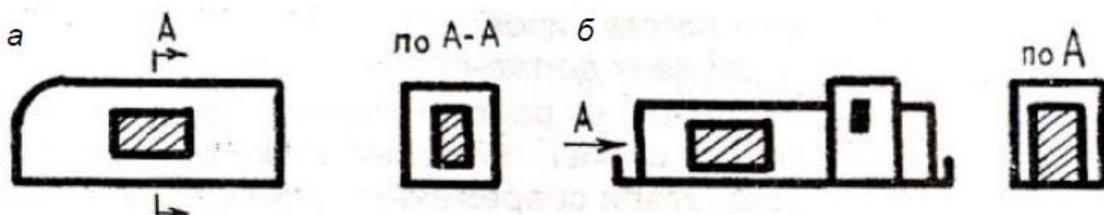


Рис. 4.3. Типа кузова: *а* – вагонный; *б* – капотный

### *Несущие кузова и особенности их работы*

Повышение секционной мощности локомотивов приводит к увеличению массы агрегатов в условиях ограниченной нагрузки на оси. Поэтому следует уменьшать массу наиболее металлоемких узлов, которыми являются главная рама и кузов локомотива.

На их долю приходится до 15–20 % общей массы тепловоза. Применяя несущие кузова, удается существенно снизить суммарную массу главной рамы и кузова. Причем в зависимости от компоновки и массы размещаемых в кузове агрегатов хребтовые балки можно располагать на всей длине кузова или только по его концам.

На тепловозах ТЭП60, ТЭП70 и ТЭП75 применены кузова с несущими раскосными фермами. Толщина обшивки стен 1,5–2 мм. Обшивка воспринимает некоторую долю нагрузки.

У тепловозов ТЭ109, ТЭП70БС основным несущим элементом является обшивка (оболочка) боковых стен толщиной 2–2,5 мм. Она подкреплена каркасом в виде прямоугольной решетки (безраскосная ферма). Безраскосные кузова потенциально обладают большей несущей способностью при одинаковой металлоемкости по сравнению с раскосными кузовами. Впрочем, это определяется еще и удачностью конструкции.

Каркас можно значительно облегчить применением трехслойных оболочек, известных под названием «сэндвич». Они состоят из двух тонких внешних слоев из высокопрочного материала, связанных между собой слоем маложесткого и легкого заполнителя, который является шумо- и термоизоляцией. Такие конструкции, как показала практика их применения, обеспечивают высокую устойчивость, жесткость и надежность при малой массе. Кроме того, они снижают вибрации. Элементы крыши кузова и топливные баки включают в общую несущую систему кузова для максимального использования несущей способности (тепловозы ТЭ109, ТЭП60, ТЭП70, ТЭП70БС).

Кузов тепловоза ТЭП70 несущий, ферменно-раскосный со съемной крышей блочного типа. Конструкция кузова ТЭП70 является дальнейшим развитием хорошо зарекомендовавшего себя кузова тепловоза ТЭП60. Конструктивно кузов можно разделить на пять основных частей: рама, бак для топлива, боковые стенки с обшивными листами, блоки крыши и кабины машиниста.

Рама кузова охватывающего типа образована двумя продольными балками коробчатого сечения, двумя лобовыми поперечными балками, образующими короба для установки сцепных приборов, и четырьмя поперечными шкворневыми балками.

### **4.2.3 Расчет рам и кузовов**

Методика расчета кузовов, главных рам и рам тележек включает несколько последовательно выполняемых этапов. На каждом из этапов учитывают часть свойств несущей системы. При этом последовательно уточ-

няют данные о напряжениях и деформациях отдельных элементов. Необходимость в таком комбинированном расчете обусловлена большой сложностью пространственных конструкций. Эта сложность повышается вследствие наличия больших и малых вырезов разнообразной формы, расположенных в различных местах несущей системы кузова, а также сложностью сочленения несущих элементов рам. Наряду со стержневой основой (каркасом, фермой) в работе участвуют пластины внешней обшивки кузова. Характерной особенностью таких конструкций является возможность потери устойчивости стержней и пластин. Это обстоятельство учитывают в расчетах введением редуцированных коэффициентов при определении геометрических характеристик поперечных сечений.

В процессе проектирования, во-первых, проводят расчеты прочности с оценкой устойчивости отдельных элементов и узлов конструкции. Во-вторых, выполняют расчет главной рамы и кузова в целом, а также рам тележек. Расчетные схемы, используемые при этом на разных этапах проектирования одного и того же объекта, могут быть разными. Начинают, как правило, с простых схем, например, раму или кузов рассматривают как плоскую балку, а заканчивают сложными пространственными схемами метода конечных элементов (МКЭ).

При проектировании локомотивов, предназначенных для эксплуатации на железных дорогах России, необходимо использовать порядок проектирования и расчетов, предусмотренный действующими на этот момент «Нормами».

Расчетам на прочность в процессе проектирования подвергаются: кузов, главная рама, шкворневой или иной узел для передачи силы тяги, рама тележки, колесная пара, буксовый узел, рессорное подвешивание, тяговый привод, тормозная передача и др.

Нормативная оценка несущей способности экипажной части локомотивов выполняется по допускаемым: а) напряжениям и коэффициентам запаса статической прочности; б) коэффициентам запаса сопротивления усталости; в) коэффициентам запаса устойчивости.

При оценке прочности по допускаемым напряжениям действующие напряжения сравниваются с допускаемыми. В случаях сложного напряженного состояния используются соответствующие теории прочности, предусматривающие расчет эквивалентных напряжений и сравнение их с допускаемыми.

#### *Расчетные нагрузки и схемы их приложения*

В расчетах прочности экипажной части локомотивов в соответствии с действующими нормами учитываются следующие нагрузки:

- вес локомотива и вес его оборудования;
- инерционные, упругие и диссипативные силы, возникающие при движении;
- силы от работы тяговых двигателей и других механизмов на локомотиве;

- силы, связанные с тягой локомотива и торможением поезда;
- аэродинамические силы;
- силы, возникающие при вписывании локомотива в кривые участки пути;
- силы соударения;
- силы, прикладываемые к элементам локомотива при ремонтно-аварийных работах.

Все перечисленные силы приводят к основным схемам их приложения: вертикальные, боковые, продольные, кососимметричные.

Для изготовления несущих элементов кузова, главной рамы и рам тележек рекомендуется использовать малоуглеродистые и низколегированные спокойные стали, не склонные к хрупкому разрушению при температурах воздуха до  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Для тонкостенной обшивки кузова допускается применение нержавеющей, малоуглеродистой кипящей и низколегированной сталей. Кроме этого, возможно применение алюминиевых сплавов. Они, как правило, используются в слабонагруженных элементах конструкции (съемные элементы крыши, двери и т.п.). У тепловоза ТЭП60 алюминиевый сплав использован для наружной обшивки кузова.

При использовании низколегированных сталей (например, 09Г2, 09Г2С, 10Г2С1Д, 10ХСНД, 15ХСНД и т.д.) необходимо принимать во внимание их повышенную чувствительность к концентрации напряжений, особенно в зоне сварных швов. Поэтому узлы соединения элементов главной рамы, рам тележек и кузова должны тщательно конструктивно прорабатываться.

### **4.3 Тяговые приводы локомотивов**

#### **4.3.1 Классификация тяговых приводов**

Тяговые приводы локомотивов работают в тяжелых условиях: они подвергаются воздействию больших динамических нагрузок, возникающих при взаимодействии колес с рельсом, колебаниях надрессорного строения, боксования. На них длительное время воздействуют пыль, сырость, снег. Габариты передаточных механизмов ограничены.

Конструкции приводов локомотивов разнообразны, что зависит от типа и назначения локомотива, выбранной передачи, условий работы и т.п.

Все приводы можно разделить на индивидуальные и групповые. В индивидуальном приводе крутящий момент от тягового электродвигателя передается на одну движущую колесную пару. Классификация наиболее распространенных индивидуальных электрических приводов современных локомотивов приведена на рис. 4.4.

Индивидуальные приводы отличаются один от другого способом подвешивания тягового двигателя: опорно-осевое, опорно-центровое и опорно-рамное, а также тягового редуктора (опорно-осевое, опорно-рамное).

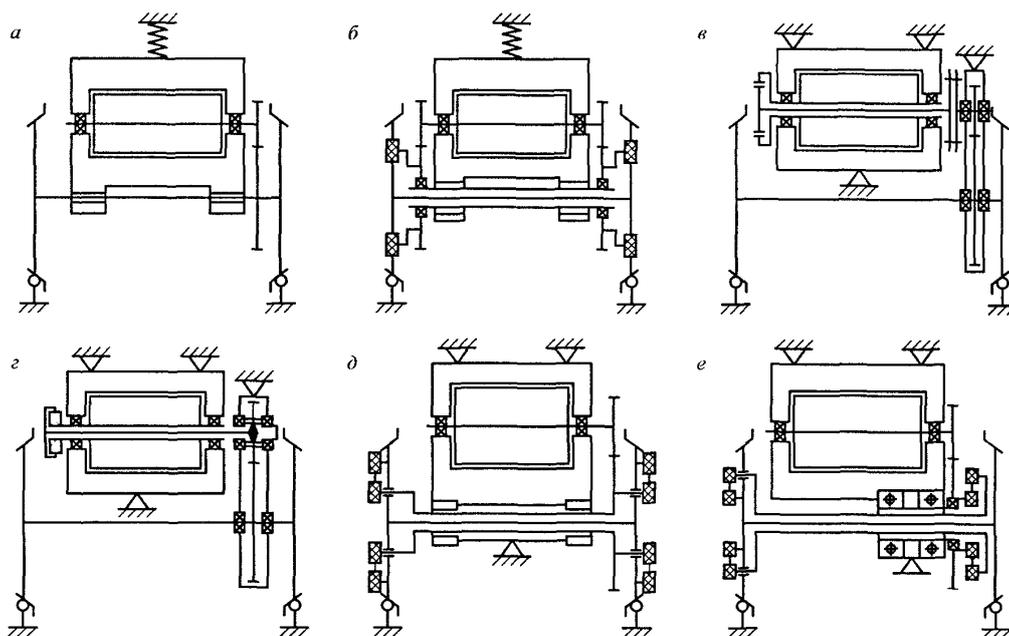


Рис. 4.4. Классификация индивидуальных тяговых электрических приводов локомотивов:

- a* – привод I класса с опорно-осевым подвешиванием ТЭД;
- б* – привод с опорно-центровым подвешиванием ТЭД;
- в, з* – приводы II класса с опорно-рамным подвешиванием ТЭД и опорно-осевым подвешиванием редуктора;
- д, е* – приводы III класса с опорно-рамным подвешиванием ТЭД и осевого редуктора

В групповом приводе крутящий момент от одного электродвигателя или выходного вала коробки передач распределяется редукторами, карданными валами или спарниками по колесным парам одной тележки или экипажной части. Групповой привод с одним электродвигателем на тележку и редуктором применяется у некоторых магистральных тепловозов и электровозов Франции. Групповой привод с карданными валами применяется для маневровых и промышленных тепловозов. За рубежом (Германия, Австрия) он использовался и для магистральных тепловозов с гидropередачей.

Привод с карданными валами подразделяют на две группы. Приводы первой группы характеризуются тем, что все движущие оси локомотива связаны единой системой карданных валов (рис. 4.5). Ко второй группе относятся приводы, рассчитанные на независимое обслуживание каждой тележки. В этом случае гидравлическая коробка передач может быть расположена как на раме тележки (рис. 4.6, *a*), так и на раме локомотива (рис. 4.6, *б, в*).

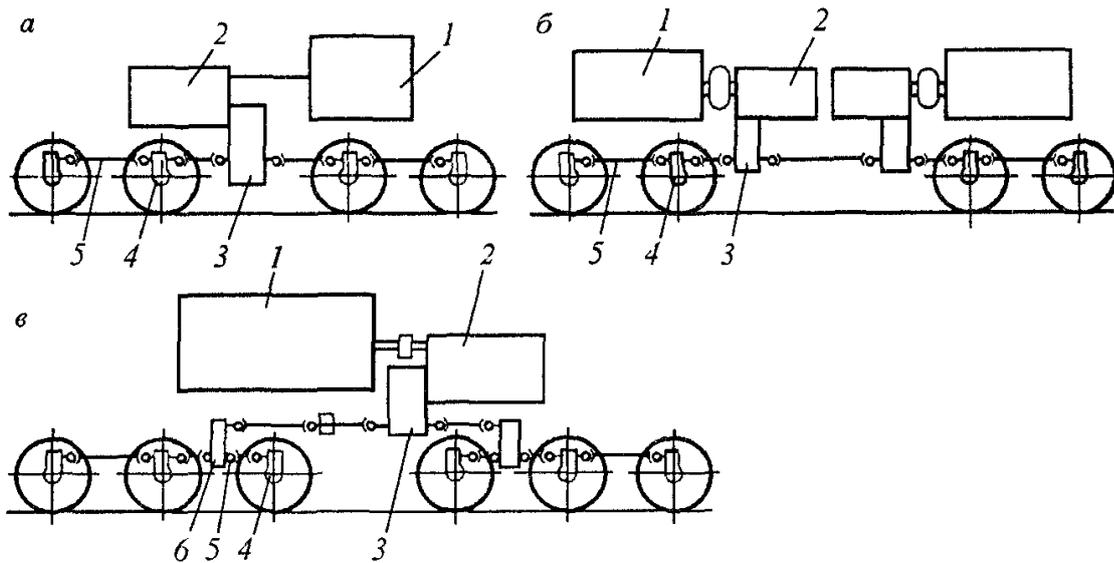


Рис. 4.5. Кинематические схемы передачи с единой системой карданных валов:

*а* – с одной силовой установкой; *б* – с двумя силовыми установками; *в* – с промежуточными редукторами; 1 – дизель; 2 – гидравлическая коробка передач; 3 – реверс-редуктор; 4 – осевой редуктор; 5 – карданный вал; 6 – промежуточный редуктор

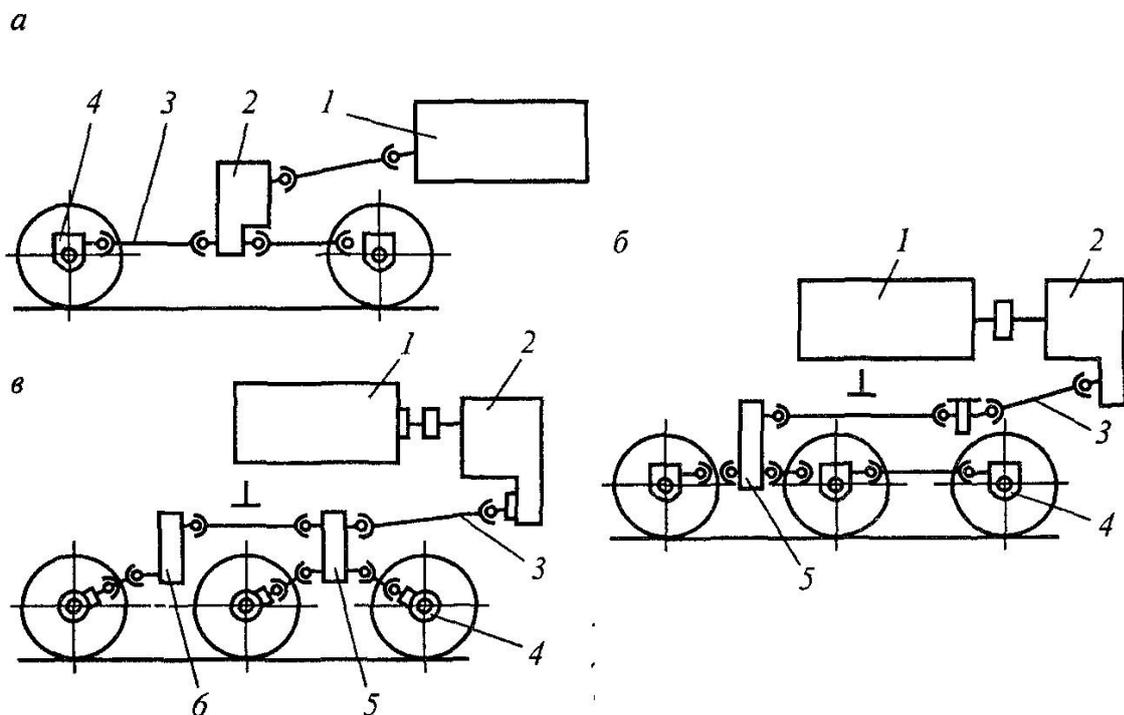


Рис. 4.6. Схемы карданного привода к тележке:

1 – дизель; 2 – коробка передач; 3 – карданный вал; 4 – осевой редуктор; 5 – раздаточный редуктор; 6 – промежуточный редуктор

### 4.3.2 Тяговые приводы с электрической передачей

Конструкция опорно-осевого подвешивания (рис. 4.7). Большинство грузовых и маневровых локомотивов с электропередачей оборудованы индивидуальными приводами движущих колес с опорно-осевым подвешиванием тяговых двигателей.

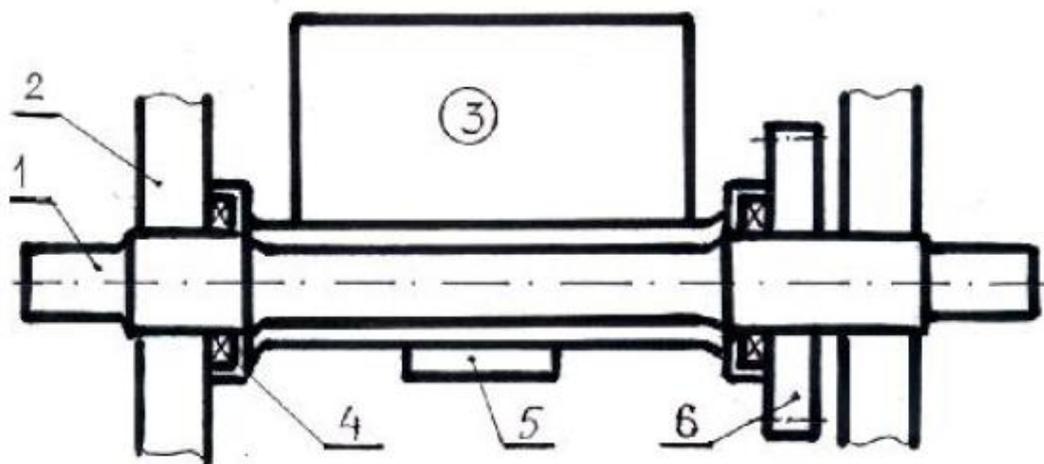


Рис. 4.7. Опорно-осевое подвешивание с подшипниками качения:  
 1 – ось колесной пары; 2 – колесный центр; 3 – тяговый электродвигатель;  
 4 – роликовый подшипник; 5 – корпус подшипниковый;  
 6 – зубчатое колесо

При опорно-осевом подвешивании ТЭД одной стороной опирается на ось колесной пары через моторно-осевые подшипники, а другой – на раму тележки через пружины, установленные в траверсе. Ведомая шестерня непосредственно напрессовывается на ось. Моторно-осевые подшипники смазываются через пакет фитилей и дополнительно с помощью шестерчатого насоса. Такое подвешивание применяется на тепловозах 3ТЭ10М, 2ТЭ116, ТЭМ2 и др. В эксплуатации этот узел часто выходит из строя из-за прекращения подачи смазки. Для повышения надежности подвешивания и снижения затрат на его обслуживание на тепловозе 2ТЭ25А установлены роликовые конические подшипники, которые смазываются консистентной смазкой и дефектируются только на тяжелых ремонтах.

При опорно-рамном подвешивании второго класса ТЭД с помощью пружин подвешивается к раме тележки, а ведомая шестерня жестко соединена с осью колесной пары. Для компенсации взаимных перемещений этих узлов якорь соединен с шестерней резинокордовой муфтой (рис. 4.8), позволяющей передавать крутящий момент в условиях их взаимного перемещения.

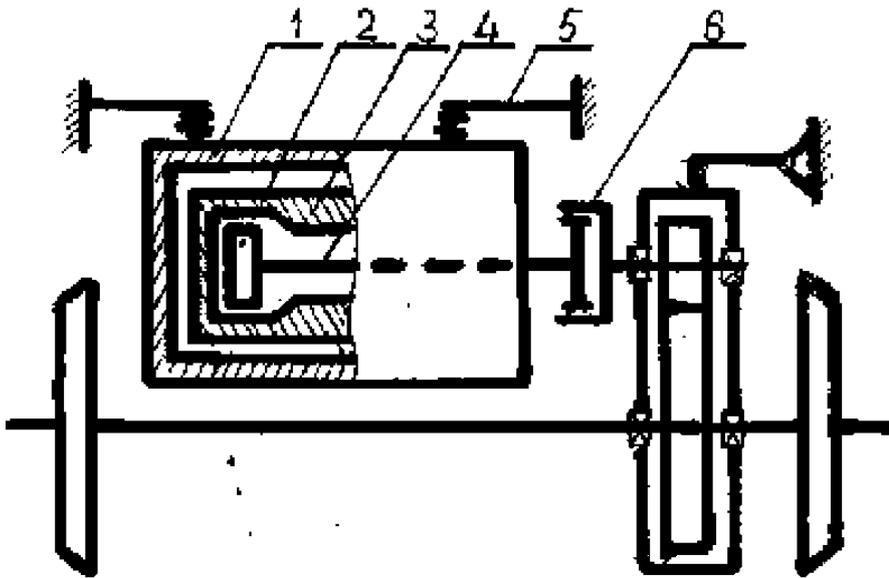


Рис. 4.8. Опорно-рамное подвешивание 2-го класса:  
 1 – остов ТЭД; 2 – зубчатая муфта; 3 – якорь ТЭД; 4 – торсионный вал;  
 5 – пружинная подвеска; 6 – резинокордовая муфта

Для обеспечения параллельности осей шестерен редуктора и постоянства расстояний между ними корпус редуктора делается несущим с подшипниками для валов. Кроме того, для восприятия реактивного момента редуктор дополнительно крепится реактивной тягой к раме тележки. Редуктор сварно-литой, с ребрами жесткости, расположенными снаружи. Подвешивание второго класса обладает лучшими динамическими качествами, чем опорно-осевое, но требует усложнения конструкции ТЭД (якорь через прямозубую передачу и торсионный вал передает крутящий момент к резинокордовой муфте). Такое подвешивание ТЭД применено на тепловозах 2ТЭ121 и 2ТЭ136.

При опорно-рамном подвешивании третьего класса ТЭД и тяговый редуктор опираются на раму тележки. Для обеспечения такого подвешивания на ось колесной пары устанавливается полый вал, а на него через подшипники – зубчатое колесо (рис. 4.9). Для передачи крутящего момента с зубчатого колеса на колесную пару устанавливается тяговая муфта. Схема передачи крутящего момента следующая: шестерня – зубчатое колесо – кронштейн зубчатого колеса – тяговая муфта – поводок – резинометаллический шарнир – полый вал – тяговая муфта другого колесного центра.

Данное подвешивание ТЭД имеет наилучшие динамические качества, но обладает значительной сложностью, что увеличивает расходы на ремонт. Подвешиванием 3-го класса оборудуются пассажирские локомотивы ТЭП70, ТЭП60, ЭП1.

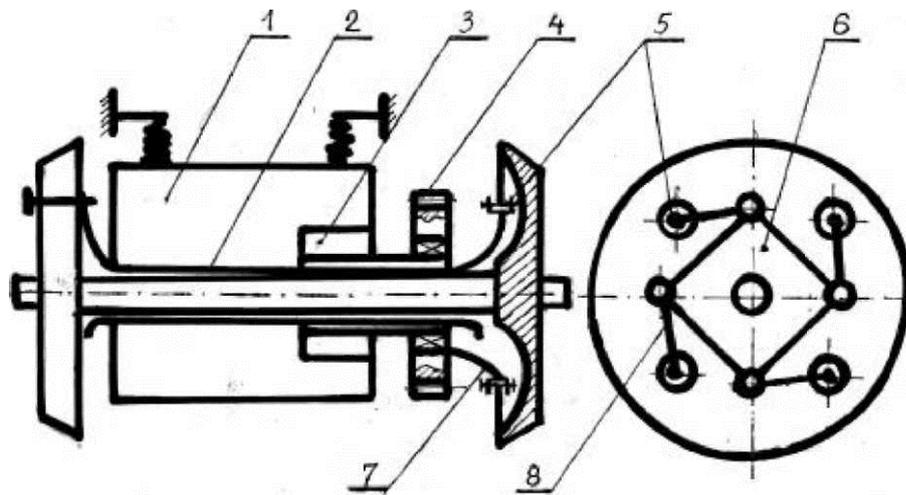


Рис. 4.9. Опорно-рамное подвешивание 3-го класса:

1 – тяговый электродвигатель; 2 – полый вал; 3 – корпус подшипников;  
4 – зубчатое колесо; 5 – резинометаллический шарнир; 6 – тяговая муфта;  
7 – кронштейн зубчатого колеса; 8 – поводок

#### 4.3.3 Выбор основных параметров тягового привода

Передаточное число тягового редуктора определяют после выбора тягового двигателя и диаметра движущих колес. Передаточное число  $u$  находят из условия обеспечения заданной скорости движения локомотива на расчетном подъеме:

$$u = 1,8 \cdot D_k \left( \frac{\omega_p}{v_p} \right),$$

где  $\omega_p$  – угловая скорость якоря тягового электродвигателя при расчетном режиме работы, рад/с;

$D_k$  – диаметр колеса, м;

$v_p$  – скорость движения, км/ч.

Выбранным передаточным числом обеспечивается достижение локомотивом скорости не меньше конструкционной при наибольшей угловой скорости якоря тягового двигателя  $\omega_{\max}$ , т. е. соответствие неравенству:

$$v_p = 1,8 \cdot D_k \left( \frac{\omega_{\max}}{u} \right).$$

Выбор параметров зубчатого зацепления тягового редуктора.

Здесь и далее ограничимся рассмотрением лишь прямозубых передач. Зубчатую передачу приходится вписывать в ограниченные габариты при заданном межцентровом расстоянии, что существенно затрудняет выбор ее оптимальных параметров. Для повышения работоспособности зуб-

чатой передачи применяют высококачественные стали, контурную закалку рабочих поверхностей и фланкирование зубьев, упругие зубчатые колеса и другие конструктивные и технологические мероприятия.

Коррекция зубьев наиболее эффективно обеспечивает компактность передачи без снижения надежности. У некоррегированной шестерни, нарезанной стандартным инструментом, наименьшее количество зубьев  $z_{\min} = 17$ , а при положительной коррекции это количество можно довести до шести. Практика показала, что по условиям прочности соединения шестерни с валом якоря двигателя их должно быть не меньше 14. Суммарное число зубьев зубчатой передачи:

$$z_{\Sigma} = z_1 + z_2 = z_1(u + 1),$$

где  $z_1, z_2$  – числа зубьев соответственно ведущего и ведомого колес.

Для редуктора пассажирских локомотивов суммарное число зубьев может быть предварительно оценено по формуле:

$$z_{\Sigma} = \frac{2a_{\omega} - m}{m},$$

где  $a_{\omega}$  – межосевое расстояние;

$m$  – модуль зубьев.

Модуль  $m$  принимают равным 9–10 мм при крутящем моменте на колесной паре, не превышающем 20 кН·м; при большем крутящем моменте модуль увеличивают до 11–12 мм. Межосевое расстояние обычно выбирают из условий компоновки передачи. Параметры тяговых редукторов современных тепловозов приведены в табл. 4.1. Коэффициенты смещения (коррекции) и геометрические параметры шестерни и зубчатого колеса определяют по ГОСТ 16532-70.

Таблица 4.1

Параметры тяговых редукторов локомотивов

Параметр	Серия локомотива				
	2ТЭ116 2ТЭ10В	ТЭМ18	2ТЭ121	ТЭП70	ЧМЭЗТ
$u$	4,412	4,53	4,32	3,12	5,06
$z_1$	17	15	22	25	15
$z_2$	75	68	95	78	76
$m$ , мм	10	10	10	10	10
$a_{\omega}$ , мм	468,8	468,8	595	520	–

Расчет зубьев передачи на прочность. Продолжительность действия  $F_{\text{кmax}}$  не превышает 0,2–1 % времени работы передачи, если считать пробег локомотива не менее 1 млн км. Поэтому прочность локомотивных зубчатых колес обуславливают не наибольшие нагрузки, возникающие при трогании с места, а те усталостные явления, которые действуют при переменных нагрузках. В связи с этим зубья колес рассчитывают на усталостные контактную прочность и прочность при изгибе, а затем проверяют статическую прочность колес на наибольшую нагрузку при трогании локомотива с места.

Расчет на усталостную прочность проводят по расчетной нагрузке и эквивалентному числу циклов. Для определения этих данных необходимы сведения о режимах работы тепловоза, для которого проектируют зубчатую передачу.

При проектировании карданного привода прежде всего выбирают кинематическую схему передачи. Основные агрегаты передачи располагают таким образом, чтобы угол взаимного отклонения осей двух валов, сопрягаемых карданным шарниром, был не более  $10^\circ$ . Для промышленных и маневровых локомотивов, работающих на кривых малого радиуса, допускают увеличение этого угла до  $15^\circ$ . При отсутствии взаимной подвижности сопрягаемых карданным валом узлов для нормальной работы подшипников качения угол в шарнирных соединениях принимают не менее  $3^\circ$ .

#### **4.4 Вспомогательное оборудование локомотивов**

##### ***4.4.1 Вспомогательные системы и оборудование энергетической установки***

Масляная система (рис. 4.10) служит для подачи масла к трущимся поверхностям дизеля с целью смазывания и охлаждения (особенно охлаждения поршней). Тепловоз оборудован циркуляционной системой смазывания.

Все основные узлы и трубопроводы масляной системы, кроме фильтра тонкой очистки, трубопроводов к нему, заправочного и сливного трубопроводов, системы регулирования температуры масла, установлены на дизель-генераторе. В систему входят фильтр грубой очистки, два центробежных фильтра, охладитель масла, установленные на дизель-генераторе, и полнопоточный фильтр, расположенный в машинном отделении у правой стенки кузова.

Для отвода тепла, выделяющегося при работе дизель-генератора, служит водяная система тепловоза закрытого типа с принудительной циркуляцией.

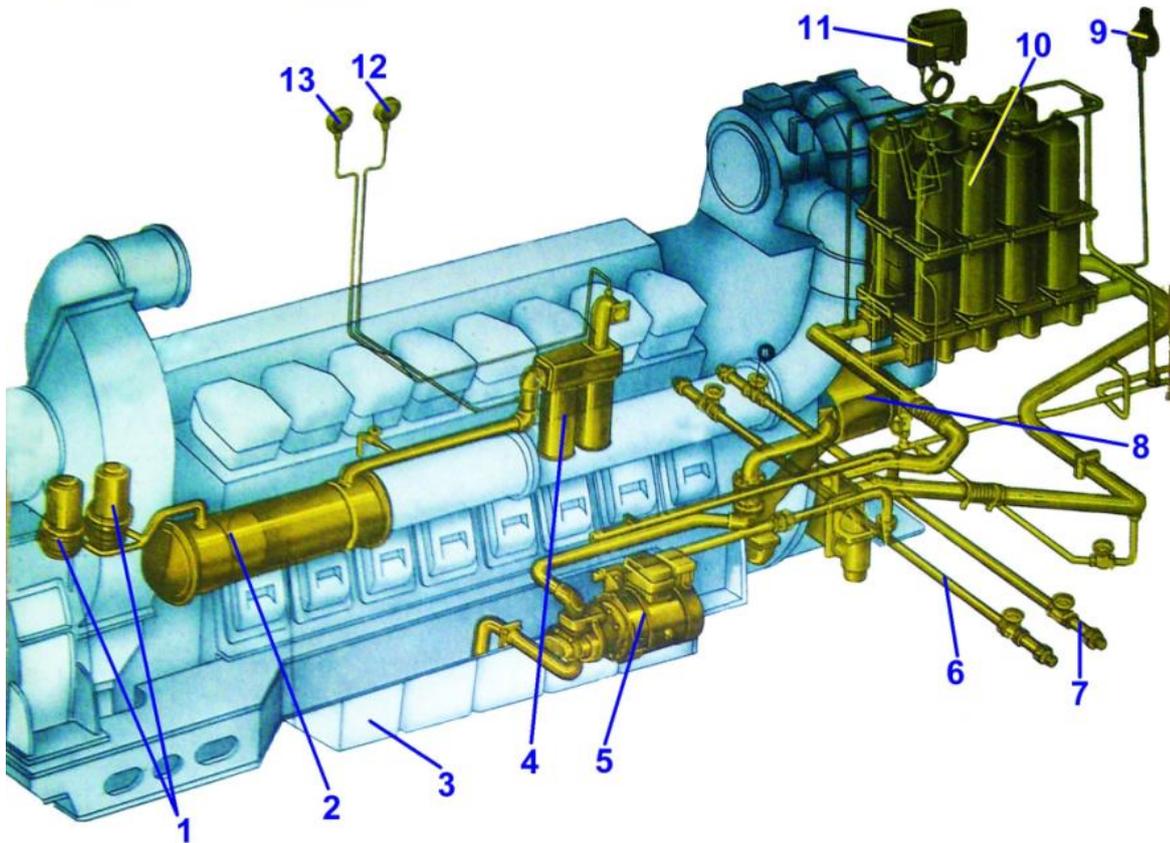


Рис. 4.10. Элементы масляной системы:

1 – центробежные фильтры масла; 2 – охладитель масла; 3 – масляная ванна(поддон); 4 – фильтры грубой очистки масла (сетчатые); 5 – маслопрокачивающий агрегат; 6 – сливная труба; 7 – заправочная труба; 8 – масляный насос; 9 – манометр (давление масла после фильтра тонкой очистки); 10 – полнопоточные фильтры масла (фильтры тонкой очистки); 11 – терморегулятор; 12 – манометр (давление масла до сетчатого фильтра); 13 – манометр (давление масла после сетчатого фильтра)

Водяная система охлаждения дизеля предназначена для охлаждения втулок и крышек цилиндров дизеля, корпуса турбокомпрессора и выпускных коллекторов. В холодное время года вода используется для подогрева топлива, обогрева кабины машиниста отопительно-вентиляционной установкой, подогрева воды в баке санитарного узла и огнегасящей жидкости в резервуаре установки пенного пожаротушения. Эта система предусматривает как высокотемпературное, так и низкотемпературное охлаждение, причем переход на высокотемпературное охлаждение допускается при наличии давления в расширительном баке не менее 0,03 МПа (0,3 кгс/см<sup>2</sup>). Переход осуществляется вручную установкой тумблера на шкафу холодильной камеры в положение «104 °С», при этом отключается реле, работающее на снятие нагрузки дизель-генератора при 96 °С.

На тепловозе 2ТЭ116 имеются две самостоятельные системы охлаждения воды (рис. 4.11), каждая из которых имеет свой трубопровод, водяной насос, секции радиатора и мотор-вентиляторы.

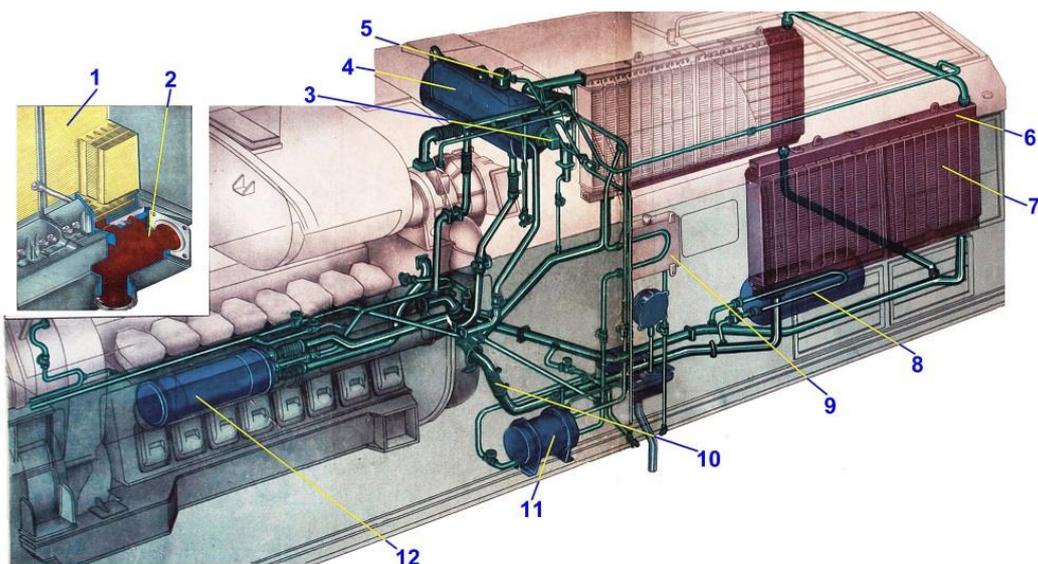


Рис. 4.11. Основные узлы системы:

- 1, 7 – секции радиаторов; 2, 6 – коллекторы охлаждающих устройств;  
 3 – реле уровня воды; 4 – расширительный бак; 5 – паровоздушный клапан;  
 8 – обогрев огнегасящей жидкости; 9 – обогрев воды бачка санузла;  
 10 – упругое компенсирующее соединение; 11 – топливоподогреватель;  
 12 – охладитель масла

Топливная система предназначена для подачи топлива к топливной аппаратуре дизеля. Согласно требованиям, предъявляемым к ней, топливная система должна обеспечивать:

– хорошую фильтрацию топлива, его подогрев в холодное время года до  $t = 35\text{--}55\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;

– избыточное давление в топливном коллекторе в пределах 0,15 МПа, что достигается подбором производительности топливоподкачивающего насоса, которое должно быть больше потребности дизеля в 2–3 раза;

– иметь аварийное питание топливных насосов высокого давления при отказе топливоподкачивающего насоса. При этом мощность дизеля не должна быть ниже (0,5–0,6) Ne.

Схема работы топливной системы: топливный бак – фильтр грубой очистки топлива – топливоподкачивающий насос – фильтр тонкой очистки топлива – топливные насосы высокого давления – топливоподогреватель (его включают в холодное время года) – топливный бак.

#### 4.4.2 Охлаждающие устройства локомотивов

Охлаждающие устройства тепловозных дизелей (радиаторы, вентилятор и его привод) занимают обычно часть кузова тепловоза, называемую шахтой холодильника (рис. 4.12, а), в боковых стенках которой размещаются воздухоприемники – поворотные жалюзи и секции радиаторов – во-

дьяные 2 и масляные 3 (на тепловозах 2ТЭ10Л первых выпусков. На тепловозах 2ТЭ10В и 2ТЭ10Л с водомасляным охлаждением секции 3 также водяные). Охлаждающие жидкости собираются в коллекторах 9. В центре камеры размещается осевой вентилятор 4. Внутренняя часть камеры ограничена наклонными стенками 8, которые, смыкаясь с горизонтальным листом 7, образуют арку («шахту»), которая служит для прохода к торцовым дверям секции.

Воздух засасывается вентилятором через боковые жалюзи 1 и секции радиаторов 2 и 3 и, охлаждая их, проходит через диффузор 5 вентилятора и выбрасывается наружу. Открытием боковых жалюзи 1, а также верхних 6 регулируется подача воздуха, а следовательно, температура воды и масла.

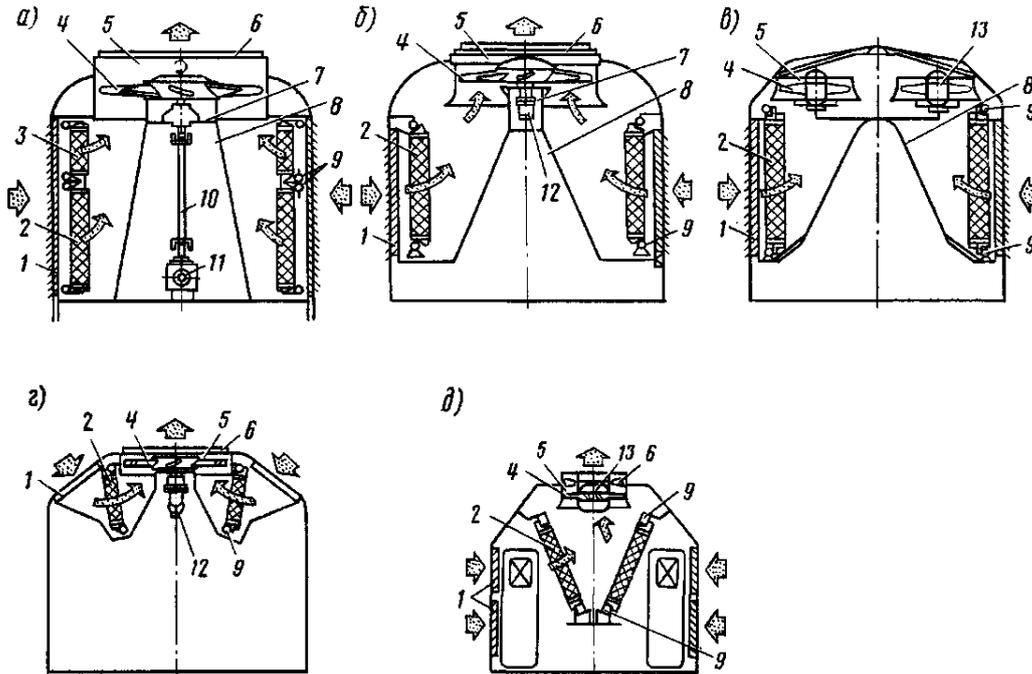


Рис. 4.12. Схемы размещения радиаторов на тепловозах: а – 2ТЭ10В(М); б – ТЭП60; в – 2ТЭ116; г – ТГ16; д – ТЭ109 (стрелками показано течение охлаждающего воздуха)

Вентилятор 4 имеет либо механический привод (через редуктор 11 и карданный вал 10 от вала дизеля (рис. 4.12, а)), либо индивидуальный гидростатический 12 (рис. 4.12, б и г), либо электрический 13 привод. Число вентиляторов зависит от длины фронта радиаторов и схемы компоновки холодильной камеры. При центральном размещении вентиляторов их может быть один (тепловозы ТЭЗ, 2ТЭ10В), два (ТЭП60) или три (ТЭП70, ТЭ109). При двухрядном расположении (рис. 4.12, в) на тепловозе 2ТЭ116 установлены четыре вентилятора.

Водомасляные теплообменники обычно размещаются непосредственно на дизеле (дизель Д49) либо вблизи него в машинном помещении тепловоза (2ТЭ10В, ТЭП60). Воздухоохладители размещаются непосредственно на дизелях.

Привод вентилятора охлаждающего устройства, как и прочих вспомогательных механизмов, на тепловозах может осуществляться тремя основными способами:

- а) прямым механическим приводом от коленчатого вала дизеля через зубчатые передачи и карданные валы;
- б) гидравлическим (гидродинамическим или гидростатическим);
- в) электрическим (переменного или постоянного тока).

В отечественном тепловозостроении распространение получили механический и гидродинамический приводы. Сейчас применяется также гидростатический и электрический приводы.

#### ***4.4.3 Пневматические системы локомотивов***

На тепловозах сжатым воздухом приводят в действие тормоза, песочницы, некоторые электрические аппараты, жалюзи охлаждающих устройств, системы пожаротушения и подачи звуковых сигналов.

Пневматическая система состоит из тормозной системы, систем автоматики, подачи песка и пожаротушения.

Тормозная система предназначена для приведения в действие тормозов тепловоза и поезда. Для независимого управления торможением локомотива применен вспомогательный пневматический тормоз. Источником сжатого воздуха для тормозной системы локомотива и поезда служит локомотивный компрессор. В отечественных локомотивах применяются обычно компрессоры поршневого типа с приводом от дизеля или электродвигателя.

Воздухопроводы тормозных систем отечественных локомотивов принципиально одинаковые. Их отличительными особенностями являются лишь примененные тормозные приборы, выбор которых зависит от рода службы и наличия электродинамического тормоза. В настоящее время электродинамическим тормозом оборудуются все магистральные и маневровые локомотивы с электропередачей. На тепловозах с гидропередачей применяют гидродинамическое торможение, которое осуществляется специальной гидромуфтой, встроенной в гидропередачу и работающей только в режиме торможения локомотива.

Для удержания одиночного локомотива на стоянках служит ручной тормоз, который предназначен удерживать локомотив на спусках с уклонами до  $i = 30 \text{ ‰}$ .

Воздушная система автоматики предназначена для преобразования электрического сигнала в исполнительное действие, осуществляемое воздушными цилиндрами, а также приведение в работу сжатым воздухом специальных устройств: тифона, свистка, стеклоочистителей, песочниц и т.д. Необходимость применения пневмопривода вызвана тем, что для создания больших сил и значительных перемещений электромагниты, широко используемые в цепях локомотивов, непригодны, так как развиваемая ими сила резко изменяется даже при относительно небольшом их перемещении. Мощные электромагниты дороги потребляют много электроэнергии. Пневматический привод позволяет получить большие силы, не изме-

няющиеся в зависимости от времени и перемещений при малой затрате цветных металлов и небольшом расходе электроэнергии. Системы воздухопроводов автоматики отечественных тепловозов в принципе одинаковые.

Песочная система служит для хранения и подачи песка под колеса с целью повышения сцепления движущихся колес с рельсами. Необходимость в этом возникает при трогании локомотива с места (для уменьшения опасности буксования), при следовании с составом в кривых, по подъему или при резком торможении (во избежание юза), особенно если поверхности рельсов замаслены или влажны. В современных локомотивах наибольшее распространение получила песочная система с дистанционным электропневматическим управлением. В песочную систему входят: бункеры для хранения песка, электропневматические клапаны, воздухо-распределители, форсунки, трубопроводы, электрическая система управления.

#### 4.4.4 Приводы вспомогательного оборудования локомотивов

Механический привод вентилятора с двухступенчатым изменением скорости вращения применен на тепловозах ТЭЗ (рис. 4.13).

Вентилятор приводится во вращение от нижнего коленчатого вала дизеля через систему промежуточных валов и редукторов.

Переключение передач осуществляется вручную перемещением подвижных шестерен 5–6 рычагом.

Гидродинамический привод вентилятора с плавным регулированием скорости применен на тепловозах 2ТЭ10В(М). В этой схеме (рис. 4.14) регулирующим звеном является гидродинамическая муфта переменного наполнения ГМ. Она заменяет два звена из схемы механического привода: звено регулирования – зубчатую передачу распределительного редуктора и звено отключения – фрикционную муфту. Более того, гидромуфта переменного наполнения позволяет регулировать частоту вращения вентиляторного колеса не ступенчато, а плавно и непрерывно. Остальные элементы привода работают так же, как и в предыдущей схеме.

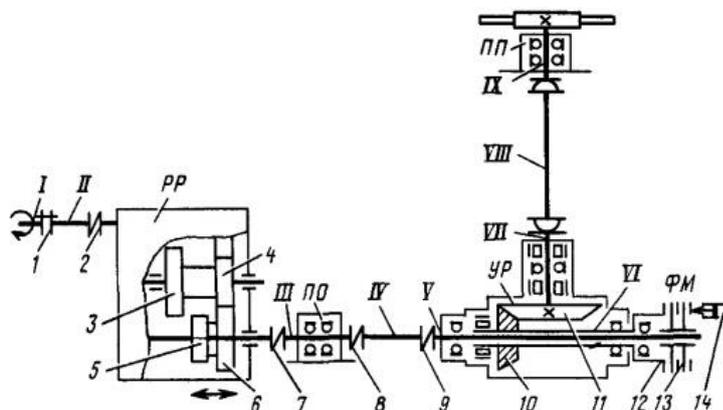


Рис. 4.13. Схема механического привода вентилятора холодильника

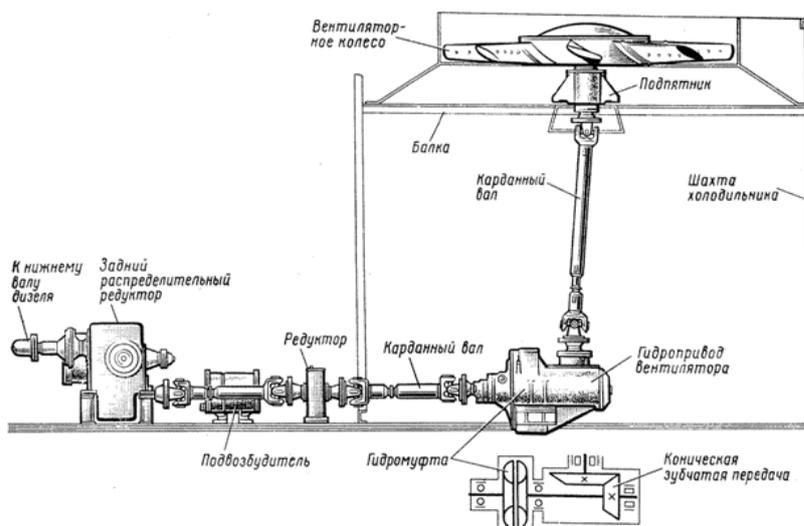


Рис. 4.14. Схема гидродинамического привода вентилятора холодильника

Гидростатический привод вентилятора с плавным регулированием (рис. 4.15) применен на тепловозах ТЭП70, ТЭП60, ТГ16 и др. Передача мощности от дизеля к вентиляторам осуществляется аксиально-поршневыми гидроагрегатами, в работе которых используется не кинетическая энергия жидкости, как в гидродинамических аппаратах, а энергия ее статического давления.

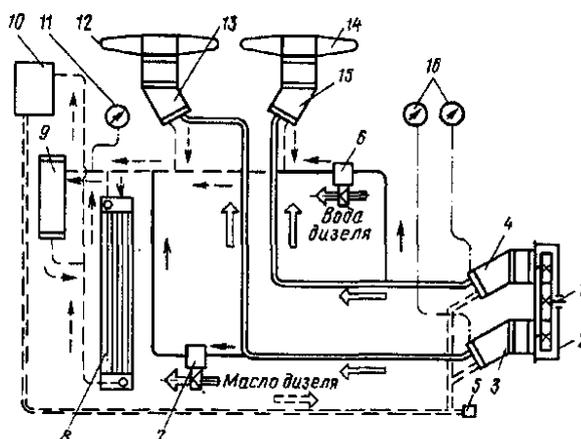


Рис. 4.15. Схема гидростатического привода вентилятора холодильника тепловоза

На тепловозе ТЭП60 работают два гидравлических аксиально-поршневых насоса 3 и 4, имеющих привод от вала 1 дизеля через общий редуктор 2. Закачивая жидкость (масло) из бака 10, они нагнетают его под высоким давлением (от 4 до 11,8 МПа в зависимости от режима) соответственно в аксиально-поршневые гидромоторы 13 и 15, вращающие вентиляторные колеса 12 и 14. Из гидромоторов обоих контуров масло поступает через соединенные параллельно фильтр 9, состояние которого контролируется манометром 11, и охлаждающую секцию радиатора 8 в бак 10 (конструктивно фильтр 9 и бак 10 объединены в один узел – фильтр-бак).

Электрический привод вентилятора имеет простую принципиальную схему и может применяться на постоянном и переменном токе. В этом случае энергия для привода, отбираемая от вала дизеля, сначала преобразуется в электрическую и затем поступает в электродвигатель вентилятора.

Энергоснабжение электродвигателя вентилятора может осуществляться либо от специального генератора постоянного тока – на тепловозах ТГМЗ (рис. 4.16) или переменного тока – на дизель-поездах ДР1 и ДР2, либо непосредственно от тягового генератора (передача переменного-постоянного тока). Такая схема принята на тепловозах 2ТЭ116. Применение электрического привода облегчает размещение как охлаждающих устройств, так и прочего оборудования на тепловозах, так как исключает необходимость громоздкой системы валов и редукторов. Система электрического привода легче автоматизируется.

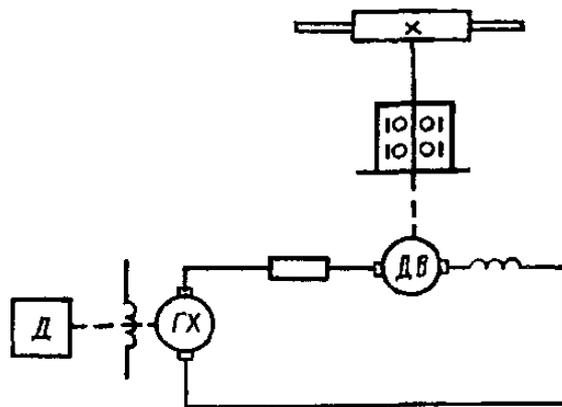


Рис. 4.16. Принципиальная схема электрического привода вентилятора на постоянном токе (тепловоз ТГМЗА):

Д – дизель; ГХ – вспомогательный генератор привода вентилятора;  
ДВ – электродвигатель вентилятора

Существенное упрощение конструкции электрического привода может быть достигнуто за счет встраивания приводного электродвигателя непосредственно в вентиляторное колесо. Мотор-вентиляторы такого типа применены на тепловозах 2ТЭ116.

Основой конструкции мотор-вентилятора (рис. 4.17) является обращенный («вывернутый») асинхронный электродвигатель, статор 3 которого свернут в виде цилиндра с обмоткой на внешней поверхности, а короткозамкнутый ротор 8 выполнен в виде кольца, охватывающего статор. Статор неподвижен. В его внутренней расточке размещен корпус 4, укрепляемый в станине 9, и в нем подшипники 6 и 10, в которых вращается внутренний вал 11 ротора. Ротор укреплен на валу 11 при помощи ступицы 5 и крышки 7 полусферической формы. Лопастей 1 вентилятора укреплены непосредственно на внешней поверхности ротора. Мотор-вентилятор тепловоза 2ТЭ116 устанавливается вместе с системой радиальных поворотных

жалюзи 2. Для управления поворотом жалюзи мотор-вентилятор имеет пневматический сервопривод с рычажной передачей (на схеме рис. 4.17 не показаны).

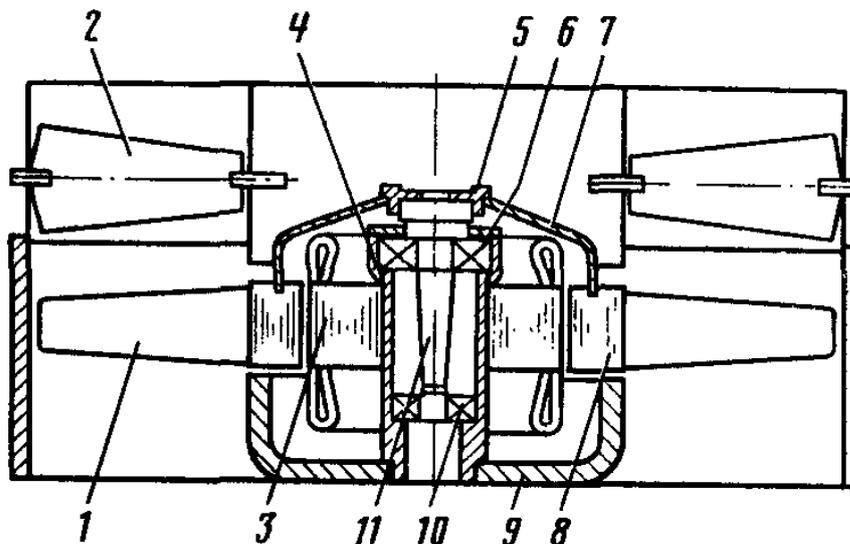


Рис. 4.17. Мотор-вентилятор переменного тока тепловоза 2ТЭ116

Привод переменного тока по размерам и массе имеет лучшие показатели по сравнению с приводом постоянного тока, хотя с точки зрения регулирования постоянный ток дает больше возможностей (можно регулировать частоту вращения вентилятора, в то время как при переменном токе регулирование осуществляется лишь включением и выключением двигателей отдельных мотор-вентиляторов). Преимущества электрического привода по сравнению с механическим и даже гидродинамическим позволяют ожидать его широкого применения на мощных тепловозах.

Системы автоматического регулирования температуры охлаждающих жидкостей состоят из датчиков температуры с усилителями и исполнительными механизмами. Конструкция механизмов определяется типом и особенностями системы привода вентилятора холодильника. В зависимости от конструкции охлаждающих устройств и числа контуров водяной системы возможно раздельное регулирование температур воды и масла (тепловозы 2ТЭ10В, ТЭП60, ТЭП70, 2ТЭ116) или объединенное (тепловоз ТЭ109).

В системах автоматического регулирования температуры охлаждающих жидкостей на современных тепловозах применяются специальные терморегуляторы. Их конструкция на разных тепловозах несколько различна, но принцип действия один. Измерительным элементом (датчиком) в них является термобаллон, заполненный церезином – кристаллическим веществом, обладающим большим коэффициентом объемного расширения (в диапазоне температур от 5 до 80 °С его объем увеличивается на 4–5 %).

Объемное расширение церезина в термобаллоне, помещенном в охлаждаемую жидкость, в конструкции терморегулятора преобразуется в

линейное перемещение штока (у терморегулятора тепловоза 2ТЭ10В примерно на 1 мм при повышении температуры на 1 °С в диапазоне от 75 до 80 °С).

Перемещение штока терморегулятора является управляющим воздействием в системе регулирования. В зависимости от конструкции системы автоматического регулирования и типа привода вентилятора холодильника оно передается дальше:

а) на тепловозе 2ТЭ10В при повышении температуры до 73 °С микровыключателям, управляющим включением привода жалюзи; при повышении температуры от 75 до 80 °С гидравлическому сервомотору, воздействующему через зубчатую рейку на положение черпательных трубок в гидромуфте привода вентилятора холодильника;

б) на тепловозах ТЭП60 и ТЭП70 непосредственно дросселю, управляющему подачей жидкости к гидромотору;

в) на тепловозах 2ТЭ116 микровыключателям, управляющим открытием боковых жалюзи со стороны секций радиатора первого и второго контуров и включением (поочередным) мотор-вентиляторов.

### **Библиографический список**

1 Теория и конструкция локомотивов: учебник для вузов ж.-д. транспорта / под ред. Г.С. Михальченко. – М. : Маршрут, 2006. – 584 с.

2 **Григоренко, В.Г.** Теория и конструкция локомотивов : курс лекций / В.Г. Григоренко, И.В. Дмитренко, А.С. Слободенюк. – Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2011. – 108 с.

3 Конструкция и динамика тепловозов / под ред. В.Н. Иванова. – М. : Транспорт, 1974. – 336 с.

4 Тепловозы. Основы теории и конструкции / под ред. В.Д. Кузьмища. – М. : Транспорт, 1982. – 317 с.

## 5 ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

### Введение

Железные дороги, являясь одной из важнейших составных частей материально-технической базы нашей экономики, во многом определяют эффективность работы всех отраслей хозяйства страны. Одной из важнейших задач, стоящих перед железнодорожным транспортом, является дальнейшее повышение провозной и пропускной способности железных дорог и несомненное выполнение плана перевозок важнейших народно-хозяйственных грузов.

Дисциплина «Эксплуатация и техническое обслуживание подвижного состава» является такой научной дисциплиной, которая помогает и позволяет решить ряд задач, стоящих перед железнодорожным транспортом, рассматривает вопросы, касающиеся методов наиболее рациональной эксплуатации, обслуживания и ремонта локомотивов, безопасности движения поездов.

### 5.1 Организация эксплуатации подвижного состава

#### *5.1.1 Организация работы локомотивов*

В зависимости от размещения на линии железной дороги основных и оборотных депо, транзитности грузопотока, типа графика движения применяют различные способы работы локомотивов с поездами.

#### Плечевой способ

Плечевой способ (рис. 5.1) используют, когда к основному депо примыкает лишь один участок обращения (одно тяговое плечо) или основное депо размещено на сортировочной станции и большинство локомотивов на этой станции от поездов отцепляется. При плечевом способе после обслуживания поезда локомотив направляют в депо для проведения ТО-2, экипировки и смены бригад.

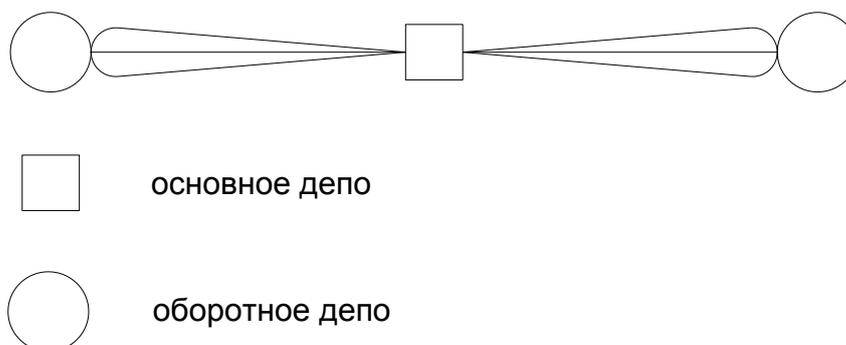


Рис. 5.1. Плечевой способ работы локомотивов с поездами

### Кольцевой способ

Кольцевой способ (рис. 5.2) применяют, если к основному депо примыкают минимум два тяговых плеча и высок коэффициент транзитности поездопотока по станции основного депо. Локомотивы проследуют станцию основного депо без отцепки от поездов до очередного ТО-3 или текущего ремонта. Экипировка локомотивов в зависимости от потребности может выполняться в пунктах оборота, на станционных путях основного депо и на промежуточных станциях (при необходимости), где сооружаются специальные экипировочные устройства. ТО-2, как правило, выполняется в пунктах оборота, по месту размещения ПТОЛ.

При кольцевом способе сокращается непроизводительное время их работы и уменьшается потребность в парке локомотивов примерно на 6...9 % по сравнению с плечевым. Снижается загрузка горловин приемо-отправочных парков станций основных депо, увеличивается их пропускная способность. Дополнительные капиталовложения в экипировочное хозяйство окупаются за 2...3 года.

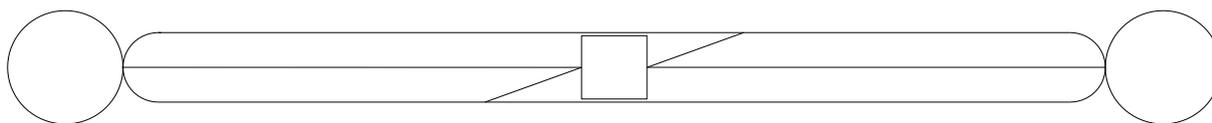


Рис. 5.2. Кольцевой способ работы локомотивов с поездами

### Петлевой способ

Петлевой способ (рис. 5.3) представляет собой разновидность кольцевого и применяется также в случае примыкания к станции с основным депо не менее двух тяговых плеч. Этот способ эффективен при переформировании поездов на станции с основным депо или при отсутствии экипировочных устройств на ней и вынужденном направлении локомотива на экипировку (и ТО-2) в основное депо. При петлевом способе потребный парк локомотивов сокращается на 3...4 % по сравнению с плечевым.

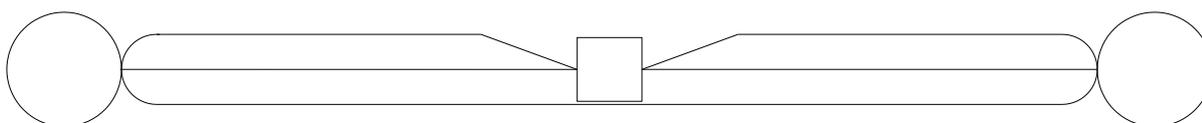


Рис. 5.3. Петлевой способ работы локомотивов с поездами

При работе локомотивов на участках большой протяженности и в зонах обращения сложной конфигурации между двумя смежными заходами в основное депо на ТО-3 или ремонт локомотивы могут сделать несколько плечевых, кольцевых и петлевых поездов.

На некоторых дорогах практикуется организация работы локомотивов по системе накладных тяговых плеч, когда одно и то же тяговое плечо (участок обращения) обслуживается локомотивами двух основных депо. Это обеспечивает большую маневренность и взаимопомощь, но требует более высокой управленческой дисциплины и четкого диспетчерского руководства.

### **5.1.2 Аналитические методы расчета локомотивного парка**

#### **Расчет по коэффициенту потребности**

Эксплуатируемый парк локомотивов:

$$M_{\text{э}} = \alpha \cdot \beta \cdot k \cdot N,$$

где  $\alpha$  – коэффициент неравномерности движения поездов на участке;  
 $\beta$  – кратность тяги;  
 $k$  – коэффициент потребности;  
 $N$  – размер движения поездов на участке.

$$k = \frac{T_{\text{ОБ}}}{24},$$

где  $T_{\text{ОБ}}$  – время оборота локомотива.

$$T_{\text{ОБ}} = \frac{2L}{V_{\text{уч}}} + t_{\text{ПР}}^{\text{ОС}} + \Sigma t_{\text{ПР}}^{\text{ОБ}},$$

где  $L$  – длина участка обращения, км;  
 $V_{\text{уч}}$  – участковая скорость, км/ч;  
 $t_{\text{ПР}}^{\text{ОС}}$  – время простоя локомотива в основном депо, ч;  
 $t_{\text{ПР}}^{\text{ОБ}}$  – время простоя локомотива в оборотных депо, ч.

#### **Расчет по производительности локомотивов**

$$M_{\text{э}} = \frac{\Sigma PL}{365 \cdot W_{\text{л}}},$$

где  $\Sigma PL$  – годовой грузооборот;  
 $W_{\text{л}}$  – среднесуточная производительность локомотива.

$$W_{Л} = \frac{2 \cdot L \cdot N \cdot Q_{CP}}{M_{Э}'},$$

где  $Q_{CP}$  – средняя масса состава;  
 $M_{Э}'$  – начальный эксплуатируемый парк локомотивов.

### **Расчет по среднесуточному пробегу локомотивов**

$$W_{Л} = \frac{\Sigma MS}{365 \cdot S_{CP.CYT}},$$

где  $\Sigma MS$  – годовой пробег всех локомотивов;  
 $S_{CP.CYT}$  – среднесуточный пробег.

### **5.1.3 Графоаналитический и графический метод расчета локомотивного парка**

#### **Анализ расписания движения поездов (РПД)**

График движения поездов является организующей и технологической основой работы всех подразделений железных дорог, планом всей эксплуатационной работы. Движение поездов строго по графику обеспечивается правильной организацией работы и точным выполнением технологического процесса работы станций, депо, тяговых подстанций, пунктов технического обслуживания и других подразделений, связанных с движением поездов. График движения поездов – это отображение процесса движения поезда в декартовой системе координат, где ось  $X$  – это ось времени, а ось  $Y$  – ось расстояния. Движение поезда между раздельными пунктами выражается функцией вида  $Y = kX + b$ , поезд принят за материальную точку.

Согласно приложению № 6 к Правилам технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации, график движения поездов – непреложный закон для работников железнодорожного транспорта, выполнение которого является одним из важнейших показателей работы железных дорог. Соблюдение графика движения поездов и предупреждение его нарушений должно быть главным для всех работников, связанных с организацией движения поездов. Нарушение графика движения поездов не допускается.

График движения поездов (рис. 5.4) должен обеспечивать:

- удовлетворение потребностей в перевозках пассажиров и грузов;
- безопасность движения поездов;
- эффективное использование пропускной и провозной способности участков и перерабатывающей способности станций;
- рациональное использование подвижного состава;

- соблюдение установленной продолжительности непрерывной работы локомотивных бригад;
- возможность производства работ по текущему содержанию и ремонту пути, сооружений, устройств СЦБ, связи и электроснабжения.

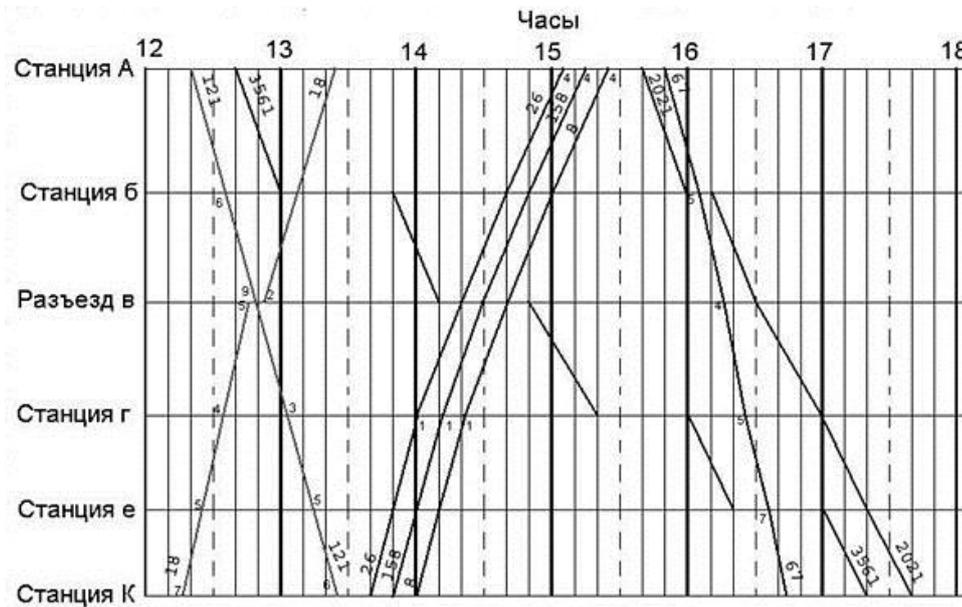


Рис. 5.4. Пример графика движения поездов однопутного участка с автоблокировкой

Составляют график движения на специальной масштабной сетке. Расстояния между отдельными пунктами откладываются по вертикали, а время – по горизонтали. Горизонтальными линиями обозначают отдельные пункты (их оси), а вертикальными время (жирными – часовые периоды, штриховыми – получасовые, тонкими – десятиминутные интервалы). Время указывается московское, поясное от 00:00 до 24:00 часов или от 18:00 до 18:00. Движение поездов на графике изображают прямыми наклонными линиями, условно принимая, что в пределах перегона скорость их равномерна (используется перегонное время хода, специально высчитываемое в зависимости от профиля пути, типа поезда, направления хода, опыта работы ведущих машинистов и т. д. – по данным тяговых расчётов). Время проследования (прибытия или отправления) поездом каждого отдельного пункта определяется пересечением линии хода поезда с осью соответствующего отдельного пункта и отмечается цифрой сверх целого десятка в тупом углу, образованном линией хода поезда и осью отдельного пункта. На перегонах, прилегающих к станциям, ограничивающим диспетчерский круг, над линией хода поезда ставят его номер. Поезда нумеруют в зависимости от направления движения и категории перевозок. Линии хода нечетных поездов наносят сверху вниз, четных - снизу вверх. На основе графика движения поездов составляют расписание движения поездов, где указывается время прибытия, отправления и проследования поездов по каждому отдельному пункту.

### Составление ведомости оборота локомотивов по РПД

Составляется ведомость оборота (табл. 5.1). При этом учитываются:

- время отправления по обороту в оборотном депо равно времени прибытия плюс 2 ч на поведение ТО;
- время отправления по обороту в основном депо равно времени прибытия плюс 3 ч на поведение ТО и экипировки;
- отправление со ст. Б равно разнице времени прибытия на ст. А и времени хода по перегону.

Простой считается после того, как произведена увязка локомотивов с поездами.

Простой равен разнице времени прибытия и времени отправления.

Увязка производится параллельно, что обеспечивает минимальные простои поездов.

Определяется эксплуатационный парк пассажирских локомотивов, для чего суммируются время хода А-Б, простой на ст. Б, время хода Б-А, простой на ст. А:

$$M_{\text{э}} = \frac{\sum t_{\text{ПП}}^{\text{Б}} + \sum t_{\text{Х}}^{\text{А-Б}} + \sum t_{\text{ПП}}^{\text{А}} + \sum t_{\text{Х}}^{\text{Б-А}}}{24}.$$

По результатам расчета строится график оборота локомотивов в составе пассажирских поездов. Анализируя график, необходимо сделать вывод о его виде (единый или групповой).



### 5.1.4 Показатели использования локомотивов

Показатели использования локомотивов представлены на рис. 5.5.

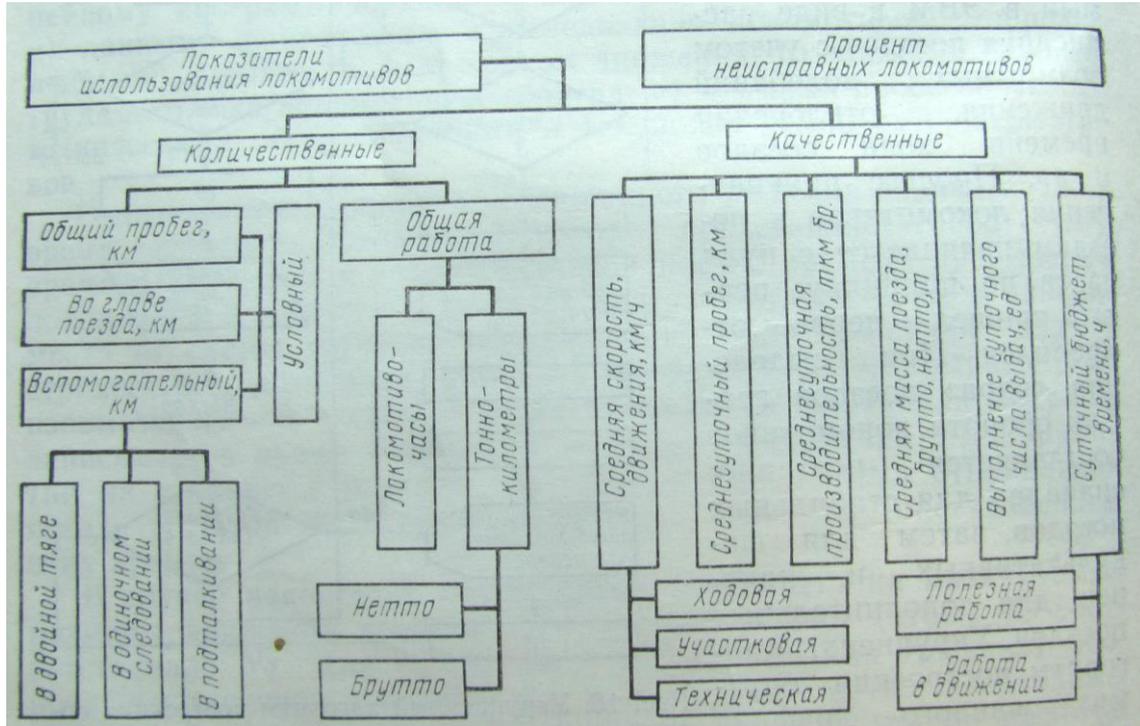


Рис. 5.5. Показатели использования локомотивов

#### Количественные показатели

Пробеги локомотивов в локомотиво-километрах. Общий годовой пробег локомотивов эксплуатируемого парка депо (отделения, дороги) определяется как сумма:

$$\Sigma MS_{\text{Л}}^{\text{общ}} = 365 \left( \Sigma MS_{\text{Л}}^{\text{гл}} + \Sigma MS_{\text{Л}}^{\text{вт}} + \Sigma MS_{\text{Л}}^{\text{ман}} + \Sigma MS_{\text{Л}}^{\text{всп}} + \Sigma MS_{\text{Л}}^{\text{ус}} \right),$$

где  $\Sigma MS_{\text{Л}}^{\text{гл}}$  – пробег во главе поездов;

$\Sigma MS_{\text{Л}}^{\text{вт}}$  – пробег вторым локомотивом;

$\Sigma MS_{\text{Л}}^{\text{ман}}$  – пробег маневровых локомотивов;

$\Sigma MS_{\text{Л}}^{\text{всп}}$  – вспомогательный пробег;

$\Sigma MS_{\text{Л}}^{\text{ус}}$  – условный пробег.

Нормативы условного пробега указаны в табл. 5.2.

## Нормативы условного пробега

Вид работы	Показатель	Условный пробег, км
С транзитными поездами	1 ч простоя локомотива на станциях, в пунктах смены бригад и оборота	1
В хозяйственном движении	1 ч работы	10
Маневровая со сборными поездами	1 ч работы со сборными поездами на промежуточных станциях	5
Специальная маневровая	1 ч работы	5
	1 ч простоя	1

Работа локомотивов в локомотиво-часах ( $\Sigma MT$ ). Этот показатель определяет объем работы локомотивов депо (отделения дороги) по видам движения и работы в часах.

Работа локомотивов в тонно-километрах. Различают тонно-километры брутто грузового и пассажирского движения и тонно-километры нетто эксплуатационные. Определяется по маршрутам машинистов и по формуле:

$$A_T = 2 \sum_{i=1}^n l_{бpi} N_i Q_{сpi},$$

где  $Q_{сpi}$  – средняя масса состава брутто на  $i$ -м участке обслуживания (работы) локомотивных бригад на участке (или зоне) обращения, т.

**Качественные показатели***Скорости движения*

Ходовая скорость  $V_X$  – средняя скорость движения локомотива (поезда) в км/ч по перегону или участку  $L$  без учета времени стоянок  $t_{ст}$  на промежуточных станциях, на разгоны и замедления:

$$V_X = \frac{L}{t_y - \Sigma(t_{CT} + t_{P3})},$$

Техническая скорость  $V_T$  – средняя скорость движения локомотива (поезда) в км/ч по перегону или участку  $L$  без учета времени стоянок  $t_{ст}$  на промежуточных станциях, но с учетом затрат времени на разгоны и замедления:

$$V_T = \frac{L}{t_y - \Sigma t_{CT}}.$$

Участковая скорость  $V_y$  – средняя скорость движения локомотива (поезда) в км/ч по перегону или участку  $L$  с учетом затрат времени на стоянки  $t_{ст}$ , разгоны и замедления:

$$V_y = \frac{L}{t_y}.$$

Средняя масса поезда  $Q_{cp}$  – количество тонн, приходящихся в среднем на один проведенный поезд по данному участку, определяется отношением на  $i$ -м участке:

$$Q_{cpi} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_{\bar{o}pi}}{\sum_{i=1}^n N_{\bar{o}pi}},$$

где  $\sum_{i=1}^n Q_{\bar{o}pi}$  – суммарная масса составов на  $i$ -м участке;

$\sum_{i=1}^n N_{\bar{o}pi}$  – суммарный размер движения на  $i$ -м участке.

Среднесуточная производительность локомотива – основной показатель использования локомотивов.

Под производительностью локомотива  $W_{л}$  понимают количество тонно-километров брутто, приходящихся в среднем за сутки на один локомотив эксплуатируемого парка. Определяют ее только для грузового движения по видам тяги:

$$W_{л} = \frac{\sum NLQ}{M_{\text{э}}},$$

где  $\sum NLQ$  – общие т-км брутто с учетом одиночно следующих локомотивов;

$M_{\text{э}}$  – эксплуатируемый парк локомотивов дело.

Среднесуточный пробег:

$$S_{cp} = \frac{\sum MS}{M_{\text{э}}},$$

где  $\sum MS$  – суммарный пробег всех локомотивов.

Среднесуточный бюджет времени локомотива характеризует распределение суточного фонда времени электровозов и тепловозов эксплуатиру-

емого парка депо в часах или процентах от 24 ч суточного фонда времени в движении и во всех видах простоя. Элементы бюджета времени позволяют определить время полезной работы локомотива в чистом движении  $P_{дв}$  и общее время полезной работы  $P_{п}$ .

Бюджет времени выражается зависимостью:

$$\frac{1}{M_{\text{э}}} \left( \sum_1^n \frac{2L_i}{V_{Ti}} + \sum_1^a t_{ocj} N_{ocj} + \sum_1^b t_{обк} N_k + \sum_1^c t_{сму} N_u + \sum_1^n t_{ппr} N_r \right) = 24 \text{ ч},$$

где  $\sum_1^n \frac{2L_i}{V_{Ti}}$  – суммарное за сутки время нахождения локомотивов в движении на  $i$ -х участках обслуживания в границах дороги, локомотиво-ч;

$\sum_1^a t_{ocj} N_{ocj}$  – суммарное за сутки время нахождения всех локомотивов на  $j$ -х станциях основных депо (приписки), локомотиво-ч;

$\sum_1^b t_{обк} N_k$  – то же на  $k$ -х станциях пунктов (депо) оборота локомотивов;

$\sum_1^c t_{сму} N_u$  – то же на  $u$ -х станциях смены бригад;

$\sum_1^n t_{ппr} N_r$  – то же на  $r$ -х промежуточных станциях.

## 5.2 Организация работы локомотивных бригад

### 5.2.1 Работа локомотивных бригад

#### Обязанности локомотивных бригад

В своей работе локомотивные бригады руководствуются ПТЭ и должностными инструкциями. Локомотивная бригада состоит из двух человек: машиниста и его помощника. Возглавляет локомотивную бригаду машинист, который отвечает за управление локомотивом и его состояние, ведение поезда или выполнение маневровой работы. Локомотивные бригады назначаются для управления и технического обслуживания локомотивов.

Высокоскоростные поезда могут обслуживаться одним машинистом.

В большинство маневровых локомотивов стали обслуживаться одним машинистом без помощника («в одно лицо»). Подбор таких машинистов ведется с учетом требований к возрасту и квалификации. Маневровый локомотив в этих случаях должен оборудоваться устройством контроля бдительности машиниста, вторым пультом управления и радиостанцией.

### *Основные обязанности локомотивных бригад*

Локомотивная бригада обязана явиться на работу в установленное время в работоспособном состоянии. После явки на работу к дежурному по депо бригада знакомится с последними приказами и распоряжениями в книге приказов. Затем бригада направляется в медпункт, где проходит медосмотр.

При приемке локомотива в депо машинист должен лично осмотреть экипажную часть локомотива, ознакомиться с записями в Журнале технического состояния локомотива формы ТУ-152 и убедиться, что все ранее указанные в нем неисправности локомотива устранены, проверить его соответствие ПТЭ, проверить приборы безопасности и только после этого приводить локомотив в движение.

При приемке локомотива на станционных путях от прибывшей бригады, кроме ранее перечисленных работ, принимающая бригада проверяет работу радиосвязи, приборов безопасности, фиксирует показания счетчиков расхода электроэнергии или дизельного топлива и др. Кроме того, принимающая бригада оценивает качество технического обслуживания ТО-1 сданной бригадой.

По прибытии на станцию оборота бригада сдает локомотив. Перед сдачей машинист обязан сделать запись в журнале формы ТУ-152 об обнаруженных им неисправностях, зафиксировать расход топлива или электроэнергии.

После сдачи локомотива на станции основного депо бригада является к дежурному по депо, сдает ему маршрут и уточняет время явки на следующую поездку, после чего поездка считается завершенной, а бригада отправляется домой на отдых.

Во время поездки бригада обязана строго выполнять цикл работ по поддержанию в нормальном техническом состоянии локомотива, который предусмотрен техническим обслуживанием ТО-1. Во всех случаях выхода из строя агрегатов локомотива, вызвавших остановку поезда на перегоне или промежуточной станции, машинист докладывает по радиосвязи поездному диспетчеру о случившемся и с учетом обеспечения безопасности движения принимает все меры для следования локомотива с поездом до станции смены бригад, когда невозможно ничего сделать, требует подсылки резервного локомотива.

Контроль за работой локомотивных бригад осуществляют машинист-инструктор, заместитель начальника депо по эксплуатации, работники ревизорского аппарата отделения и управления дороги, дирекции тяги.

Результаты проверки должностными лицами качества работы локомотивных бригад фиксируются в формуляре. Формуляры выдаются каждому машинисту и его помощнику. Наличие формуляра у бригады во время поездки обязательно. Формуляры периодически проверяет начальник депо и по результатам записей в них принимает определенные решения.

В случае грубых нарушений приказом начальника отделения дороги или начальника дороги машинисты могут лишаться прав управления локомотивом.

### **Надежность работы локомотивных бригад и безопасность движения**

Машинист локомотива является оператором весьма сложной технической системы «машинист – локомотив». Деятельность машиниста направляется на решение двух по существу различных задач: управление энергетической и механической системой локомотива и ведение поезда. Решение этих задач протекает на фоне постоянного значительного нервно-эмоционального напряжения, обусловленного сознанием огромной ответственности за жизнь пассажиров, сохранение материальных ценностей, обеспечение графика движения, выполнение ПТЭ.

Почти любая ошибка в деятельности машиниста может повлечь за собой самые тяжелые последствия.

Главными элементами надежности работы локомотивной бригады выступают высокая квалификация, работоспособность и производственная бдительность. Таким образом, надежность работы локомотивной бригады обеспечивается обучением, созданием комфортных условий труда в соответствии с основами научной организации труда (НОТ) и специальными устройствами и приборами контроля бдительности.

Для контроля надежности работы локомотивных бригад используются современные приборы безопасности.

Показателем надежности для системы «машинист – локомотив» является вероятность безотказного, безошибочного и своевременного протекания процесса управления поездом в течение определенного времени.

Очень важным в повышении надежности работы локомотивной бригады является медицинский, психофизический, психологический отбор кандидатов на должности машиниста и помощника, оптимальное построение процесса профессиональной подготовки.

В предрейсовой подготовке важное место занимает медицинский осмотр с применением специальной аппаратуры. Готовность к работе должны подтверждать машинист и помощник росписью в специальном журнале.

Надежным средством обеспечения безопасности движения является предрейсовая информация о приказах и распоряжениях, касающихся поездной работы, ограничениях на участке, метеорологических условиях, характерных происшествиях в поездной работе и т. д. Большое значение имеет поездная радиосвязь локомотивной бригады с диспетчерами, дежурным по депо и бригадами других локомотивов с соблюдением установленного регламента переговоров.

Безопасность движения поездов возможна только при совершенно исправном техническом состоянии локомотивов и мотор-вагонного по-

движного состава (МВПС), что обеспечивается функционированием системы ТО, ТР и систематическими осмотрами (проверками) подвижного состава не только локомотивными бригадами, но и руководящим составом депо, отделения дороги и службы локомотивного хозяйства. Один раз в год (обычно во второй половине года) такие осмотры проводятся в плановом порядке. Это так называемый осенний комиссионный осмотр локомотивного парка.

В депо систематически проводятся технические занятия для локомотивных бригад, отдохнувших и свободных от поездок. Во время занятий изучаются конструкция, электрическая схема и модернизация локомотивов; особое внимание уделяется изучению действий локомотивной бригады в аварийных ситуациях.

### ***5.2.2 Обслуживание локомотивов бригадами***

#### **Сменный способ**

Сменный – предусматривающий обслуживание локомотива очередными сменными бригадами, назначаемыми на работу по мере окончания отдыха.

При сменном обслуживании локомотивов возможны следующие способы организации их работы: по принципу обслуживания видов движения – раздельное, когда грузовое и пассажирское движение обслуживается отдельными бригадами, и совместное, при котором грузовое и пассажирское движение обслуживается одними и теми же бригадами; по схемам обслуживания участков – плечевая и наклад.

#### **Прикрепленный способ**

Прикрепленный – предусматривающий обслуживание локомотива определенным количеством постоянно прикрепленных к нему бригад (1, 2, 3, 4), сменяемых поочередно после окончания отдыха в пункте жительства, где происходит их смена.

#### **Турный способ**

Турный – когда локомотив обслуживается несколькими (обычно четырьмя) постоянно закрепленными за ним бригадами, из которых две находятся в поездках вместе с локомотивом, поочередно работают и отдыхают в специально приспособленном для жилья бригад пассажирском вагоне, следующем все время с локомотивом. Этот способ обслуживания применяется при командировках локомотивов с бригадами на другие дороги, на строящихся железных дорогах, при опытных поездках.

### 5.2.3 Нормирование времени труда и отдыха

#### Определение времени отдыха локомотивной бригады в пункте оборота

Время отдыха бригады. Отдых бригаде в пункте оборота  $t_{om}^{об}$  предоставляется продолжительностью не менее половины предшествующего рабочего времени:

$$t_{om}^{об} \leq 0,5 \cdot T'_P, \text{ ч.}$$

Отдых в оборотном депо может предоставляться менее половины предшествующей работы, но не менее 1 ч.

#### Определение времени отдыха по месту жительства локомотивной бригады

По завершении очередной поездки локомотивной бригаде предоставляется отдых в пункте жительства (отдых в основном депо). Продолжительность такого отдыха после обслуживания пары поездов:

$$t_{OT}^{OC} \geq 2,6(T'_P + T''_P - t_{om}^{об}) \geq 16 \text{ ч,}$$

где  $T'_P$  – время поездки «туда»;

$T''_P$  – время поездки «обратно».

В случае опоздания поездов, а также в целях регулировки работы бригад продолжительность отдыха в основном депо может быть сокращена на 25 % с последующей его компенсацией после очередных поездок.

Продолжительность выходного дня  $t_{ВЫХ}$  после обслуживания предшествующей ему поездки нормируется как положенное время отдыха в основном депо с добавлением 24 ч, т. е.:

$$t_{ВЫХ} = (t_{OT}^{OC} + 24) \geq 42 \text{ ч.}$$

### 5.2.4 Определение штата локомотивных бригад

Потребный явочный штат локомотивных бригад для обслуживания локомотивов на всём заданном железнодорожном участке определяется по формуле:

$$\sum B_{яв} = \frac{\bar{D} \cdot \sum_1^n T_{бр} \cdot N_i \cdot n}{\bar{\Phi}_я},$$

где  $\bar{D}$  – среднее за год количество дней в месяце ( $\bar{D} = 30,4$ );  
 $T_{бр}$  – участковый оборот локомотивной бригады, ч;  
 $N_i$  – размеры движения на участке работы локомотивных бригад, пар поездов;  
 $n$  – число участков обращения при каждом варианте организации работы локомотивных бригад;  
 $\bar{\Phi}$  – среднемесячный за год фонд рабочего времени одной локомотивной бригады, ч ( $\bar{\Phi} = 169$  ч).

Оборот локомотивной бригады определяется по формуле:

$$T_{бр} = t_{np}^{oc} + t'_x + t_{cd}^{об(см)} + t_{ож} + t_{np}^{об(см)} + t''_x + t_{cd}^{oc},$$

где  $t_{np}^{oc}$  – время работы бригады по приёму тепловоза на станции основного депо, ч;  
 $t'_x$  – время работы бригады в пути следования «туда» (на участке обслуживания), ч;  
 $t_{cd}^{об(см)}$  – время работы бригады по сдаче локомотива при прибытии в пункт оборота (смены), ч;  
 $t_{np}^{об(см)}$  – время работы бригады по приёму тепловоза при отправлении со станции пункта оборота (смены), ч;  
 $t''_x$  – время работы бригады в пути следования «обратно» (на участке обслуживания), ч;  
 $t_{cd}^{oc}$  – время работы бригады по сдаче тепловоза при прибытии на станцию основного депо, ч;  
 $t_{ож}$  – время ожидания работы в пунктах оборота (смены) бригады (при организации работы бригад без отдыха в этом пункте), ч.

## 5.3 Экипировка подвижного состава и экипировочные устройства

### 5.3.1 Организация и средства экипировки

#### Устройство для снабжения песком

Техническими условиями на песок для локомотивов предусматривает кварцевый песок двух категорий: нормального и повышенного качества.

Лаборатория депо систематически контролирует кондицию зернового и минерального состава песка: рабочую массу песка, поступающего в песочницы локомотивов после сушки и просеивания, состав зерна разме-

ром в поперечнике от 0,1 до 2 мм. Такие размеры отвечают условиям минимального рассеивания песка в момент попадания на головку рельса и способствуют сохранению высоких сцепных свойств при раздавливании песка колесом.

Влажность песка, подаваемого в песочницы локомотивов, не должна превышать 0,5 %. Устройства хозяйства пескоснабжения состоит из складов для хранения сырого песка, пескосушильной установки и оборудования и коммуникаций для транспортировки песка к месту хранения и подачи на локомотивы.

Количество устройств и их мощность определяются суточным расходом песка.

### **Устройство для обмывки и очистки локомотивов**

Обмывка, очистка и обдувка локомотивов обязательны в процессе экипировки, перед постановкой на техническое обслуживание и текущий ремонт. Для этой цели применяют механизированные и автоматизированные моечные и обдувочные установки открытого и закрытого типа на стационарных позициях, а также передвижные самоходные обмывочные средства. Наибольшее распространение получили стационарные устройства, смонтированные на открытой площадке в зонах теплового и умеренного климата.

Закрытые стойла, располагаемые в отдельном здании, секции или блоке экипировочного депо, сооружают на дорогах с суровыми климатическими условиями. В отдельных депо используют обмывочные установки, работающие по принципу вагонмоечных машин. Стационарная моечная установка включает в себя: моечную рамку, имеющую сопловые наконечники для опрыскивания боковых сторон и крыши локомотива специальной эмульсией, подаваемой насосами под давлением  $(4...5)10^5$  Па; моечный механизм барабанного типа с капроновыми щетками для растирки нанесенной на локомотив моечной эмульсии; устройство для натирки кузова защитной пастой; приспособление для обмывки боковых стен и крыши локомотива (обмывочный душ); аппарат для сушки локомотива горячим воздухом; моечную тележку, используемую для обмывки экипажа снизу и мойки пола смотровой канавы. Оборудование для обмывки включает в себя также грязенефтеуловительную систему и пылесосные агрегаты для очистки и просушки электрических машин и аппаратов в кузове и тяговых электродвигателей. В целях защиты окружающей среды от загрязнения разработаны моечные установки с замкнутым циклом использования моющего раствора.

Обмывку выполняют за два-три прохода локомотива примерно в течение 15 мин. Перемещение локомотивов может осуществляться своим ходом или при помощи маневрового локомотива. Тепловозы и дизель-поезда передвигаются обычно своим ходом.

## **Устройство для поворота локомотивов**

Все двухсекционные и современные односекционные локомотивы при эксплуатации поворачивать на  $180^\circ$ , как правило, не требуется, т. к. они имеют две кабины управления. Поворотные устройства нужны для локомотивов, постоянно работающих одной секцией вместо двух-трех, и для фиксированной постановки тепловозов на ремонтную позицию. Кроме того, поворотные устройства используют для периодического поворота локомотивов с целью предупреждения одностороннего подреза гребней бандажей колесных пар и в отдельных случаях при обкатке паровозов.

Для поворота локомотивов могут применяться поворотные круги, путевые треугольники и петли. В депо первого разряда наличие одного из поворотных средств обязательно. Наиболее простыми и удобными в эксплуатационном отношении устройствами являются треугольники, поскольку они в отличие от поворотных кругов не требуют специального оборудования, стоят дешевле, а расходы на их обслуживание незначительны. Недостатком треугольников является сравнительно большая площадь, потребная для их укладки, минимальный радиус кривой поворотного треугольника должен быть 180...200 м, уклон путей – не более 10...16 ‰. Длина тупика принимается из расчета установки на нем двух двухсекционных локомотивов с добавлением 5 м. Наиболее целесообразны две основные схемы поворотного треугольника.

## **5.4 Техническое обслуживание и ремонт подвижного состава**

### ***5.4.1 Системы ремонтов***

#### **Ремонт по техническому состоянию**

В этом случае объём и момент начала ремонта определяют по фактическому техническому состоянию единицы тягового подвижного состава (ТПС), а техническое состояние контролируется в объеме и в сроки, установленные нормативно-технической документацией. По существу, это ремонт по потребности.

Ремонт по потребности назначается независимо от пробега локомотива и определяется фактом отказа в эксплуатации и обнаружением неисправности или предельно допустимого износа.

#### **Планово-предупредительная система ремонта**

Регламентированные ТО и ТР выполняются в объеме и в межремонтный период, установленные нормативно-технической документацией, независимо от технического состояния ТПС.

Планово-предупредительный ремонт назначается после выполнения определенного пробега (или времени работы) локомотива.

Основой установления системы планово-предупредительных ремонтов являются наблюдения за изменениями состояния локомотивов, приводящими к отказам при нормальных условиях эксплуатации.

В ОАО «РЖД» для единиц ТПС принята планово-предупредительная система технического обслуживания и ремонтов, т. е. регламентированное выполнение ТО и ТР. Для этой системы характерны:

- постановка локомотивов в ремонт после нормированного пробега или времени работы, фиксированный объем ремонтных работ;
- профилактическое проведение ремонтных работ, т. е. не после завершения отказов оборудования, а заранее с целью их предупреждения;
- чередование ремонтов разной сложности и их повторяемость после определенного межремонтного пробега.

### **Ремонт по показанию средств диагностики**

Ремонт и ТО могут осуществляться двумя способами:

- техническое обслуживание с периодическим контролем, при котором объем операций по поддержанию исправности и работоспособности определяется техническим состоянием ТПС в момент начала ТО;
- техническое обслуживание с непрерывным контролем. При таком порядке операции, необходимые для поддержания исправности и работоспособности ТПС, выполняют по мере надобности на основе непрерывного наблюдения за техническим состоянием ТПС в эксплуатации.

#### ***5.4.2 Основы планово-предупредительной системы ремонта***

### **Понятие надежности**

Многочисленными исследованиями установлена характеристика распределения отказов во времени или пробеге. Получаемая кривая интенсивности отказов  $\lambda(l)$  называется  $\lambda$ -характеристикой. Гистограмма (рис. 5.6) (ступенчатая кривая) и ее огибающая (кривая распределения) интенсивности отказов  $\lambda(l)$  для всех изделий, в том числе и локомотивов, поступающих в эксплуатацию после постройки или ремонта, состоит из трех периодов (участков): приработки 1, которому соответствуют приработочные отказы, нормальной эксплуатационной работы 2 с примерно постоянным потоком отказов и старения 3, когда преобладают постепенные отказы как следствие старения и изнашивания материала.

$\lambda$ -характеристики позволяют определять максимальный пробег локомотива между очередными ремонтами или техническими обслуживаниями с профилактическими регулировками. Этот пробег определяется точкой перехода с участка 2 на участок 3.

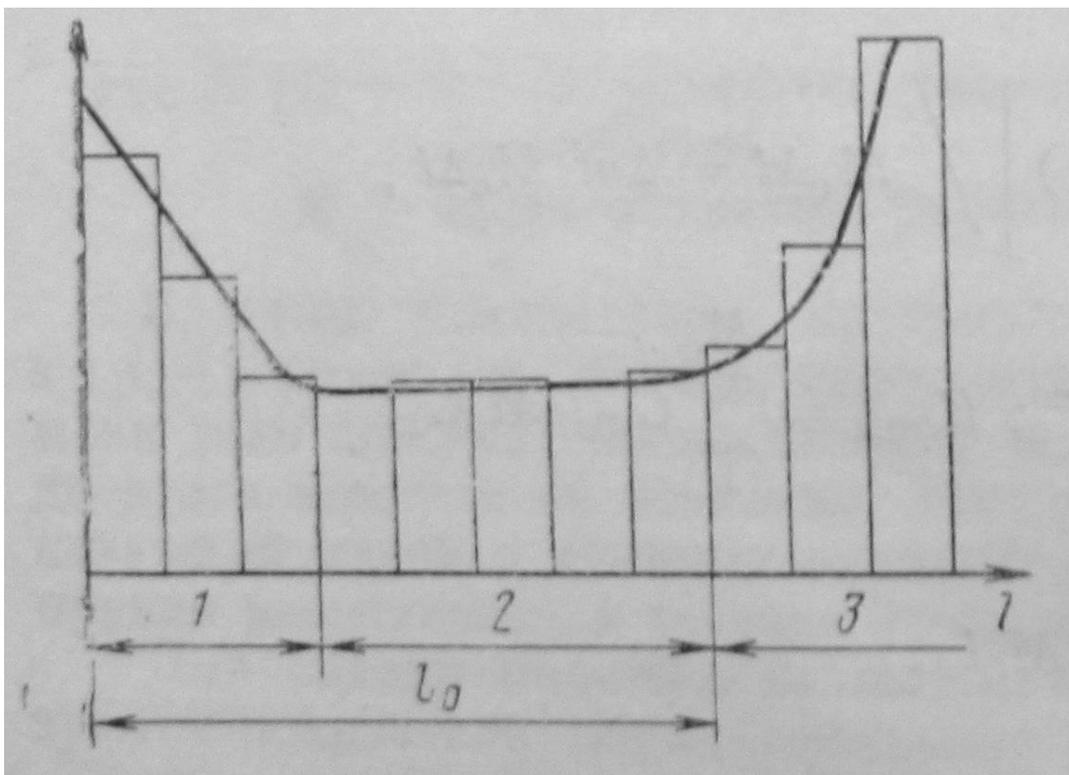


Рис. 5.6. Гистограмма и кривая распределения интенсивности отказов

### Формирование ремонтного цикла

На рис. 5.7 представлена схема формирования ремонтного цикла (ТР-1, ТР-2 и ТР-3). На нем  $t_r$ ,  $t_x$ ,  $t_z$  – наработки на отказ соответственно групп элементов  $k$ ,  $x$ ,  $z$  с равными наработками на отказ; 1, 2, 3 – кривые уменьшения надежности групп элементов;  $P_{нач}$ ,  $P_{доп}$  – уровни надежности соответственно начальный и предельно допустимый.

В процессе эксплуатации с увеличением наработки снижается надежность группы элементов  $k$  (кривая 1) до предельно допустимой  $P_{доп}$  после чего надежность этих элементов восстанавливается ремонтом ТР-1. Однако надежность локомотива в целом достигает лишь уровня, ограниченного кривой надежности другой группы элементов –  $x$ . При дальнейшей эксплуатации через наработку  $t_k$  надежность локомотивов по техническому состоянию группы элементов  $k$  вновь упадет до  $P_{доп}$  и вновь производится их восстановление ремонтом ТР-1. Так продолжается до тех пор, пока надежность второй группы элементов  $x$  не упадет до уровня  $P_{доп}$ . Теперь для восстановления элементов групп  $k$  и  $x$  требуется назначить ремонт ТР-2. Далее надежность локомотива определяется кривой снижения надежности группы элементов  $r$ , и при снижении надежности этой группы элементов до уровня  $P_{доп}$  назначается ремонт ТР-3, на котором будут восстанавливаться элементы всех трех групп ( $k$ ,  $x$ ,  $r$ ).

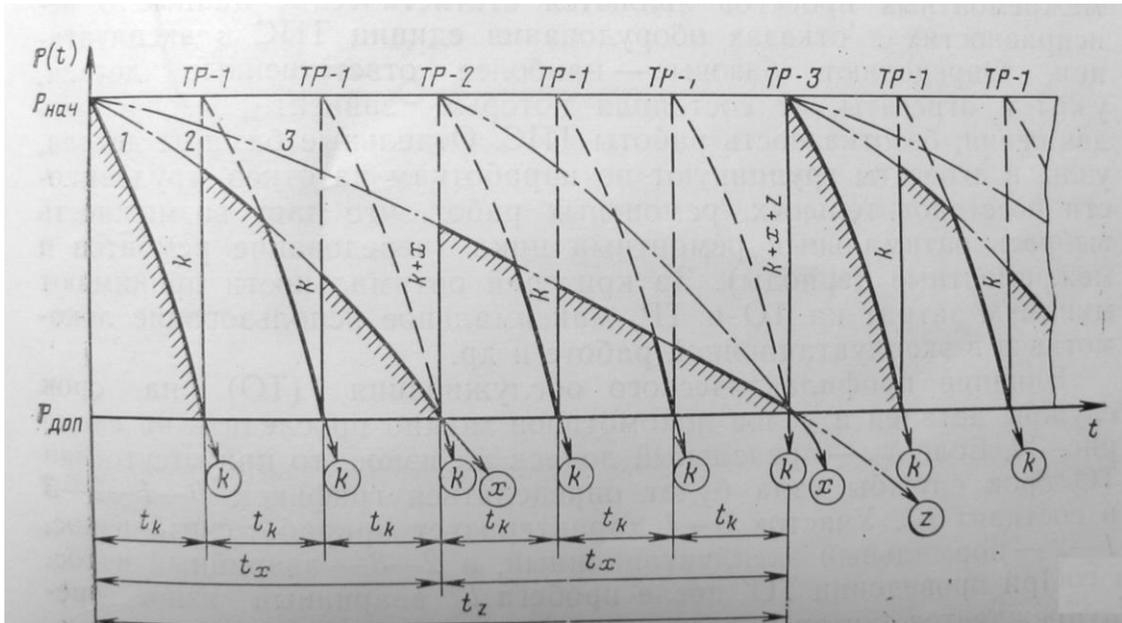


Рис. 5.7. Схема формирования ремонтного цикла

### 5.4.3 Определение годовой программы ремонта

#### Программа ремонта поездных локомотивов

Годовая программа ремонтов и технических обслуживаний поездных локомотивов, для которых межремонтный период измеряется в км пробега, подсчитывается по формуле:

$$M_{pi}^{год} = \frac{L_{год}}{L_{pi}} - \sum_1^n M_{pj}^{год},$$

где  $L_{год}$  – годовой пробег поездных локомотивов, приписанных к депо, км (принимают по заранее рассчитанным формулам);

$L_{pi}$  – межремонтный пробег для  $i$ -го вида ремонта (обслуживания), км (принимаем по данным [3]);

$M_{pi}^{год}$  – общая годовая программа ремонтов, предшествующих по категории рассчитываемому  $i$ -му ремонту.

#### Программа ремонта маневрово-вывозных и хозяйственных локомотивов

Годовая программа ремонтов маневровых тепловозов определяется с учётом эксплуатационного парка  $M_9^M$  и коэффициентов цикличности  $R_i^M$ :

$$M_9^M = M_9^M \cdot R_i^M.$$

Значение коэффициентов цикличности  $R_i^M$  :

$$R_{крп}^M = \frac{1}{16} = 0,0625 ,$$

$$R_{ср}^M = \frac{3}{16} = 0,1875 ,$$

$$R_{мп*}^M = \frac{4}{16} = 0,25 ,$$

$$R_{мп}^M = \frac{24}{16} = 1,5 ,$$

$$R_{то-3}^M = \frac{112}{16} = 7 .$$

#### **5.4.4 Организация ремонта подвижного состава**

##### **Методы ремонта локомотивов**

Организационные формы ТО и ТР должны обеспечивать максимальную вероятность выявления и устранения всех неисправностей локомотивов при минимальных затратах трудовых и материальных ресурсов и простоях в ремонтном обслуживании.

Применяют два основных метода выполнения ТО и ТР: индивидуальный и агрегатный – и две основных формы организации ремонтных работ – стационарную и поточную.

Индивидуальный метод ремонта предусматривает возвращение деталей, агрегатов и узлов после ремонта на тот же локомотив, с которого они были сняты.

При агрегатном методе ремонта на ремонтируемый локомотив устанавливают заранее отремонтированные или новые детали, узлы и агрегаты из технологического запаса. В этом случае ремонтные мастерские работают не непосредственно на конкретный локомотив, а на пополнение технологического запаса, т. е. на кладовую.

Агрегатный метод дает существенное сокращение простоя локомотивов в ремонте, причем особую эффективность обеспечивает крупноагрегатный метод, при котором предусматривается замена на ремонтах таких крупных узлов и частей локомотивов, как тележки в сборе, дизель-генераторная установка, силовые трансформаторы электровозов переменного тока, компрессоры и т. п.

Непременным условием применения агрегатного или крупноагрегатного метода ремонта является взаимозаменяемость агрегатов, узлов и деталей локомотивов. В локомотивных депо крупноагрегатный метод применяется при ТР-3 и ТР-2. Агрегатный метод приводит к значительному повышению производительности труда ремонтных бригад, улучшению ка-

чества работ, снижению себестоимости ремонта, исключает непредвиденные задержки, вызываемые различным объемом ремонтных работ, что обеспечивает выпуск локомотивов точно по графику.

### **Формы ремонта локомотивов**

При стационарной форме организации ремонтных работ локомотив в течение всего периода ремонта находится на одном рабочем месте, оборудованном в соответствии с объемом и характером ремонтных работ и обслуживаемом прикрепленной комплексной бригадой рабочих.

Поточной называют такую форму организации ТО и ТР, при которой объем обслуживания и ремонтных работ разбивают на технологически однородные, равные по суммарной трудоемкости части и закрепляют их за несколькими специально оборудованными рабочими местами (постами), образующими поточную линию. Каждый пост (рабочее место) обслуживает специализированная группа рабочих или часть комплексной бригады. Локомотив в процессе ремонта передвигают с одного рабочего места (поста) на другое через равные промежутки времени, называемые тактом поточной линии.

Условиями применения поточной формы ремонта являются: достаточная программа однотипных ремонтов; сравнительно небольшие отклонения объемов и трудоемкости ремонтов; возможность расчленения объема ремонта на технологически родственные группы операций равной трудоемкости по числу постов поточной линии.

Основные достоинства поточной формы работ: поток дисциплинирует производство, сокращаются непроизводительные потери рабочего времени и простой локомотивов в ремонте; распределение ремонтных работ по отдельным специализированным постам со строго определенным объемом работ обеспечивает возможность высокого насыщения их специализированным технологическим оборудованием, механизацию трудоемких процессов и четкую организацию рабочих мест в соответствии с требованиями научной организации труда (НОТ), благодаря всему этому резко повышается производительность труда; закрепление за постами групп ремонтных рабочих дает возможность обеспечить четкое разделение труда между рабочими разных специальностей, освободить высококвалифицированных рабочих от выполнения вспомогательных работ; поток обеспечивает удобство технического руководства и контроля качества работ на всех постах, что способствует высокому качеству ремонта; снижается себестоимость ремонтных работ по сравнению с другими формами ремонта; лучше используются производственные площади. Главное условие экономичности поточной формы организации ремонта – однотипность и постоянный объем ремонтных работ на локомотивах, в противном случае такт поточной линии приходится рассчитывать с большим запасом (резервом), что снижает ее экономическую эффективность. Поточная форма организаций ТО и ТР сочетается с агрегатным методом работ.

### 5.4.5 Расчет количества ремонтных позиций

При стационарном методе ремонта требуемое количество ремонтных позиций рассчитывается по формуле:

$$A = \frac{M_p^{zod} \cdot t_p'}{T_{\text{ц}}} \cdot \varphi_i,$$

где  $t_p'$  – время простоя локомотива на ремонтной позиции в соответствующем виде ТО или ТР, сутки;

$\varphi_i$  – коэффициент, учитывающий неравномерность подхода локомотивов в ТО или ТР.

### 5.4.6 Расчет рабочей силы

Слесари по ремонту локомотивов могут быть организованы в комплексные бригады или находиться в составе специализированных бригад.

Комплексная бригада создается по техническому признаку и объединяет группы рабочих различных профессий (специальностей) для выполнения комплекса технически разнородных, но взаимосвязанных работ, охватывающих полный цикл производства (единица технического обслуживания или ремонта локомотива). Рабочие комплексных бригад должны уметь выполнять работы по одной или нескольким профессиям.

Специализированная бригада создается из рабочих одной профессии, занятых техобслуживанием или ремонтом одноименных узлов локомотивов: ремонт дизеля, автотормозного оборудования, АЛСН, аккумуляторных батарей и т.д.

Расчет штата для деповских видов ремонта локомотивов производится в соответствии с годовой программой ремонта, затратой рабочей силы в человеко-часах на единицу ремонта и годовым фондом рабочего времени одного работника.

Количество комплексных бригад, необходимых для выполнения программы ремонта локомотивов, приписанных к проектируемому депо, определяется по формуле:

$$A = \frac{M_p^{zod} \cdot t_p^{к.бр}}{T_{\text{ц}}},$$

где  $t_p^{к.бр}$  – принятое время работы комплексной бригады на соответствующем виде ремонта, сутки.

$T_{\text{ц}}$  – число рабочих дней в году соответствующего ремонтного участка.

**Библиографический список**

- 1 Системы автоматизации и информационные технологии управления перевозками на железных дорогах : учебник для вузов ж.-д. транспорта / В.А. Гапанович, А.А. Грачев [и др.]; под ред. В.И. Ковалева, А.Т. Осьминина, Г.М. Грошева. – М. : Маршрут, 2006. – 544 с.
- 2 Организация железнодорожных пассажирских перевозок / А.А. Авдовский, А.С. Бадаев, К.А. Белов [и др.] ; под ред. В.А. Кудрявцева. – 2-е изд., стер. – М. : Изд. центр «Академия», 2008. – 256 с.
- 3 Основы эксплуатационной работы железных дорог : учеб. пособие / В.А. Кудрявцев, В.И. Ковалев, А.П. Кузнецов [и др.] ; под ред. В.А. Кудрявцева. – 2-е изд., стер. – М. : Изд. центр «Академия», 2005. – 352 с.
- 4 Техническое обслуживание и ремонт локомотивов : учебник для вузов ж.-д. транспорта / под ред. В.А. Четвергова, В.И. Киселева. – М. : ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2007. – 558 с.
- 5 Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации.
- 6 Организация, планирование и управление локомотиворемонтным производством : учеб. пособие для студентов вузов ж.-д. транспорта / Л.А. Собенин, А.А. Зайцев, Б.А. Чмыхов ; под ред. Л.А. Собенина. – М. : Маршрут, 2006. – 439 с.
- 7 Научно-технический журнал «Локомотив» (ежемесячно).
- 8 Научно-технический журнал «Железнодорожный транспорт» (ежемесячно).
- 9 Научно-технический журнал «Железные дороги мира» (ежемесячно).
- 10 Методическое обеспечение самостоятельной работы студентов по дисциплинам кафедры «Локомотивы и локомотивное хозяйство»: учеб.-метод. комплекс / под ред. А.С. Шапшала. – Ростов н/Д : ФГБОУ ВПО РГУПС, 2010. – 152 с.

## 6 ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ЛОКОМОТИВОВ

### 6.1 Общие сведения об электрическом оборудовании тепловозов

Главенствующее место в любом автономном локомотиве принадлежит его силовой установке – двигателю внутреннего сгорания на дизельном или газообразном топливе. Именно он является источником энергии в локомотиве. Однако для передачи этой энергии колесным парам тепловоза, а также для управления режимами работы двигателя и его систем невозможно обойтись без дополнительных и промежуточных устройств, в качестве которых на локомотивах используют специальные электрические аппараты, приборы и электрические машины, которые в совокупности и составляют электрическое оборудование локомотивов.

Применение электрического оборудования обусловлено целым рядом его достоинств, таких как управляемость, устойчивость к перегрузкам, возможность дистанционного управления и объединения в сложные системы, позволяющие добиться высокого уровня автоматизации управления тепловозом.

Электрическое оборудование современных тепловозов можно классифицировать по ряду признаков: типу, выполняемым функциям, рабочему напряжению, особенностям конструкции и т.д.

#### *6.1.1 Классификация электрического оборудования по типу*

Все электрическое оборудование тепловозов можно разделить на две большие группы – электрические машины и электрические аппараты (рис. 6.1).

Электрическая машина является электромеханическим преобразователем, в котором преобразуется механическая энергия в электрическую или электрическая энергия в механическую. Электрические машины, применяемые на тепловозах, выполняют функции генераторов или же двигателей. Эти машины могут быть постоянного тока (коллекторные) или переменного (синхронные генераторы и асинхронные двигатели).

Машины постоянного тока (рис. 6.2) являются обратимыми, т. е. могут работать как в качестве генераторов, так и в качестве двигателей. Они имеют обмотки статора и ротора. На статоре двигателей располагают обмотку возбуждения, а на роторе – якорную обмотку, соединяемую с внешними цепями посредством коллекторно-щеточного аппарата. Ток от источника питания проходит через обе эти обмотки, в результате чего каждая из них создает магнитное поле. Взаимодействие магнитных полей двух обмоток заставляет якорь вращаться. На тепловозных тяговых двигателях эти обмотки соединяются последовательно, т. е. применяется последовательное возбуждение (рис. 6.3, *а*), а на некоторых двигателях вспомогательных нужд используется смешанное возбуждение, при котором обмотки соединяются комбинированным способом (рис. 6.3, *б*). Ток от источника питания проходит через обмотки двигателя, в результате чего каждая из них создает магнитное поле. Взаимодействие магнитных полей обмоток возбуждения и якоря заставляет якорь вращаться.

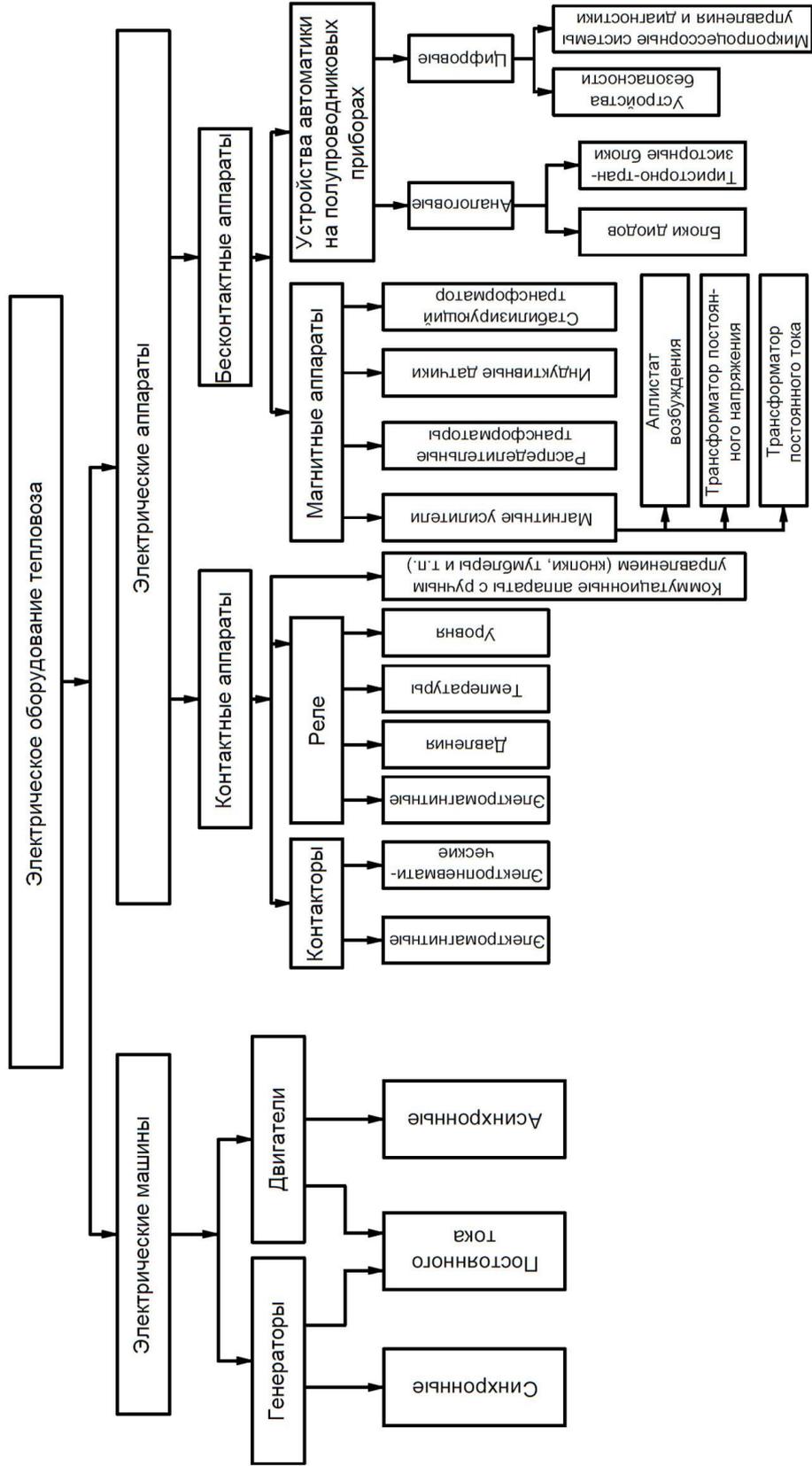


Рис. 6.1. Классификация электрического оборудования тепловозов по типу

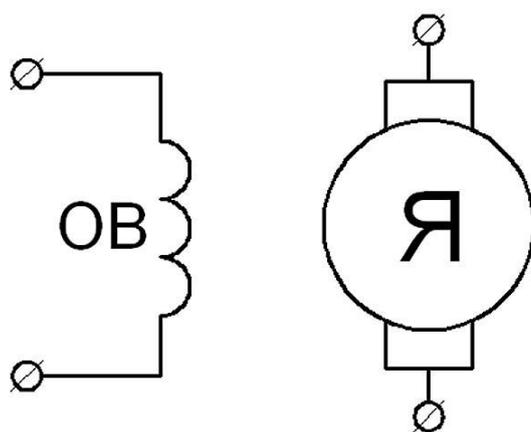


Рис. 6.2. Электрическая машина постоянного тока:  
ОВ – обмотка возбуждения; Я – якорная обмотка

Тяговые генераторы постоянного тока также имеют указанные выше обмотки. Разница заключается лишь в том, что якорь получает вращение от внешнего механизма, а обмотка, расположенная на якоре, вращается в поле, создаваемом неподвижной статорной обмоткой возбуждения, подключенной к внешнему источнику питания. В результате этого в якорной обмотке наводится ЭДС, приводящая к появлению напряжения на щетках, контактирующих с коллекторными пластинами.

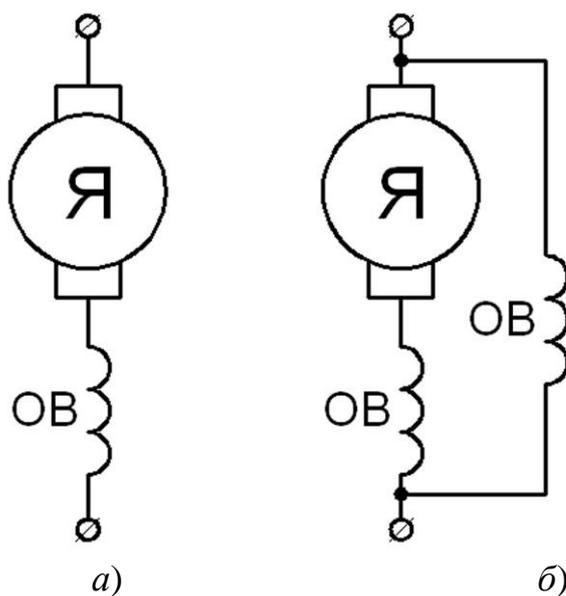


Рис. 6.3. Включение обмоток двигателей постоянного тока:  
а) последовательное возбуждение; б) смешанное возбуждение

В синхронной тяговом генераторе поле возбуждения создается обмоткой, расположенной на роторе и питающейся постоянным током. Обмотка статора соединяется с сетью переменного тока.

В синхронной машине обмотка, в которой индуцируется ЭДС и протекает ток нагрузки, называется обмоткой якоря, а часть машины с этой обмоткой называется якорем. Часть машины, на которой расположена обмотка возбуждения, называется индуктором. Таким образом, якорная обмотка синхронного генератора неподвижна, поскольку расположена на статоре, а обмотка возбуждения, находящаяся на роторе машины, вращается.

Схема синхронной машины показана на рис. 6.4. Ток в обмотке ротора появляется не при вращении ее в магнитном поле статора, а подводится к ней от постороннего источника постоянного тока. На статоре синхронной машины обычно расположена трехфазная обмотка. Обмотка ротора образует магнитную систему с тем же числом полюсов  $2p$ , что и у статора. Она создает магнитный поток возбуждения и называется обмоткой возбуждения.

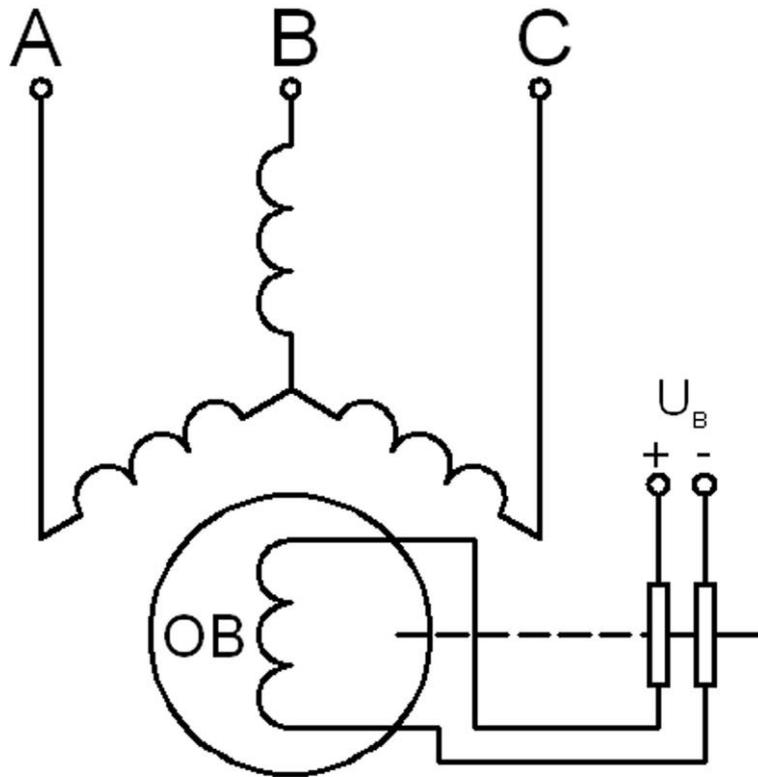


Рис. 6.4. Схема синхронной машины:

ОВ – обмотка возбуждения;  $U_{\text{в}}$  – напряжение питания обмотки возбуждения

Вращающаяся обмотка ротора соединяется с внешней цепью источника постоянного тока с помощью контактных колец и щеток. При вращении ротора с частотой  $n_2$  его магнитное поле возбуждения наводит в статоре ЭДС  $E_1$ , частота которой

$$f_1 = p \cdot n_2 / 60.$$

При подсоединении обмотки статора к нагрузке протекающий по ней ток будет создавать магнитный поток, частота вращения которого

$$n_1 = 60f_1 / p.$$

Из сравнения этих выражений видно, что  $n_1 = n_2$ , т.е. магнитные поля статора и ротора вращаются с одинаковой частотой, поэтому такие машины называются синхронными.

В асинхронной машине поле создается в обмотке статора и взаимодействует с током, наводимым в обмотке ротора.

Асинхронные машины применяются в основном в качестве двигателей. На тепловозах используются асинхронные двигатели вентиляторов системы охлаждения дизеля, а также, в последние годы, в качестве тяговых двигателей.

Схема асинхронной машины показана на рис. 6.5. В схеме асинхронной машины и ее принципе действия есть сходство с трансформатором. Отличие заключается в том, что вторичная обмотка размещается на вращающемся роторе и не связана с внешней сетью. На схеме рис. 6.5, а эта обмотка состоит из стержней, замкнутых накоротко, что соответствует двигателю с короткозамкнутым ротором, а в двигателях с фазным ротором она соединяется с внешними сопротивлениями – рис. 6.5, б.

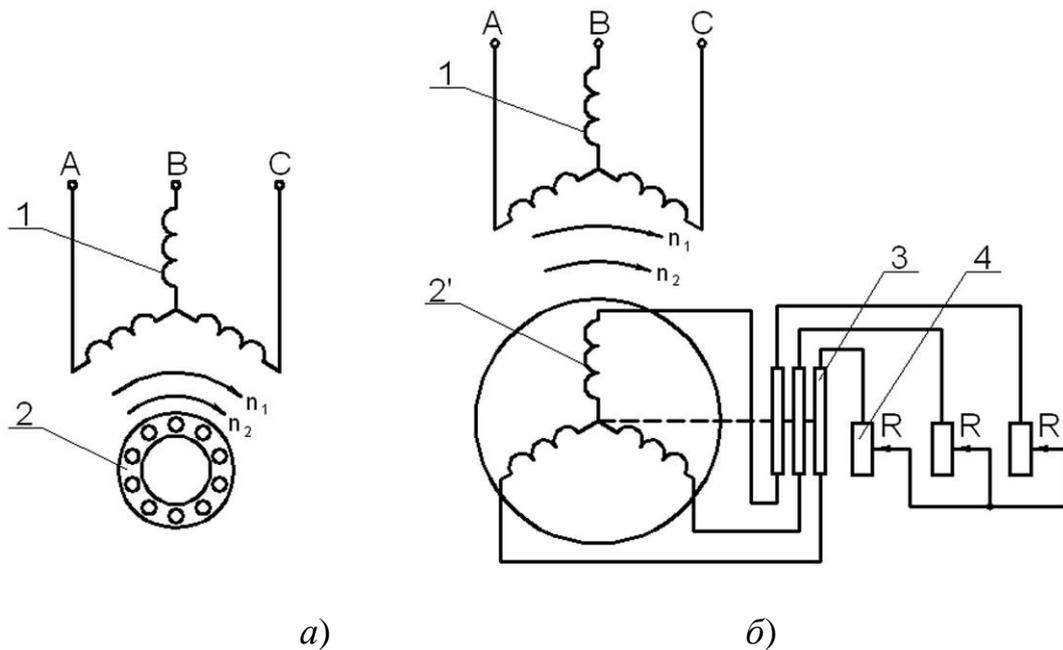


Рис. 6.5. Схемы асинхронных машин:

- а) – с короткозамкнутым ротором; б) – с фазным ротором;  
 1 – обмотки статора; 2 – ротор с короткозамкнутыми стержнями;  
 2' – обмотки фазного ротора; 3 – контактные кольца;  
 4 – сопротивления в цепи фазного ротора

Обмотка статора равномерно распределена по его окружности. Обмотки фаз статора соединяются в звезду или в треугольник.

При питании трехфазной обмотки статора трехфазным током создается вращающееся магнитное поле, частота вращения которого

$$n_1 = 60f_1 / p,$$

где  $f_1$  – частота тока питающей сети, Гц;  
 $p$  – число пар полюсов обмотки статора.

Вращающийся магнитный поток  $\Phi$  индуцирует в обмотках статора и ротора ЭДС  $E_1$  и  $E_2$ . Под действием ЭДС  $E_2$ , в обмотке ротора возникает ток  $I_2$  при взаимодействии которого с магнитным полем создается электромагнитный вращающий момент  $M$ . Величина ЭДС  $E_2$  и частота ее изменения  $f_2$  зависят от скорости пересечения магнитным полем статора  $\Phi$  витков обмотки ротора. Частоту вращения поля ротора обозначим  $n_2$ .

Частота пересечения магнитным полем статора обмотки ротора является относительной частотой поля статора относительно ротора и равна разности  $n_1 - n_2$ . Если разность равна 0, то нет движения поля статора относительно ротора, нет ЭДС  $E_2$  и тока  $I_2$  и вращающего момента  $M$ . При увеличении разности  $n_1 - n_2$  величины  $E_2$ ,  $I_2$ ,  $f_2$  и  $M$  увеличиваются.

Условием работы асинхронной машины является неравенство частот вращения поля статора и ротора, поэтому машина и называется асинхронной, т. е. несинхронной.

Относительная разность частот вращения поля статора и ротора называется скольжением:

$$s = n_1 - n_2 / n_1.$$

Выражение частоты вращения ротора через скольжение:

$$n_2 = n_1(1 - s).$$

В отличие от двигателей постоянного тока, где частота вращения зависит от величины напряжения, приложенного к обмоткам, в асинхронных двигателях частоту вращения можно изменить лишь путем увеличения или уменьшения частоты питающего переменного напряжения. В связи с этим при использовании таких машин в качестве тяговых двигателей появляется необходимость в сложных силовых преобразовательных устройствах.

**Электрические аппараты** целесообразно прежде всего разделить на контактные и бесконтактные. В контактных аппаратах под действием внешней силы или специального дистанционного привода осуществляется замыкание или размыкание контактных групп, состоящих из одной или нескольких пар подвижных и неподвижных контактов. Часть таких аппаратов, называемых **контакторами**, предназначена для замыкания или размыкания электрических цепей тепловоза под током или без него. Контактторы не выполняют никаких других функций помимо коммутационных. В зависимости от типа используемого привода контакторы могут быть элек-

ромагнитными и электропневматическими. У первых перемещение подвижных контактов осуществляется с помощью электромагнита, а у вторых – с помощью поршня или диафрагмы, на которые действует сжатый воздух.

Еще одной группой коммутационных аппаратов являются *реле*. Эти приборы также управляют соединением и разъединением контактных групп скачкообразно. Таким образом, реле имеет два устойчивых состояния: включенное, когда неподвижный контакт замыкается с подвижным, и выключенное, когда эти контакты размыкаются.

Название этих аппаратов происходит от английского слова relay – сменять, обеспечивать смену. Таким образом, в самом названии заложена скачкообразность изменения состояния аппарата при отсутствии промежуточных состояний.

Некоторые реле попросту выполняют функции маломощных контактов, замыкая или размыкая участки электрических цепей, другие реле имеют более сложные и специфические функции, которые подробнее будут рассмотрены ниже.

Третья группа контактных аппаратов – это коммутационные аппараты с ручным приводом: кнопки, рубильники, тумблеры, переключатели. Такие аппараты широко применяются на тепловозах для управления режимами работы тепловоза в целом, а также его агрегатов и устройств.

Следующий тип электрических аппаратов – это бесконтактные аппараты. Эти аппараты осуществляют более сложные функции за счет процессов в магнитных системах или полупроводниковых устройствах.

**Трансформаторы** используются на тепловозах для распределения напряжения между несколькими потребителями (распределительные трансформаторы), а также для компенсации скачков напряжения и тока в цепях возбуждения (стабилизирующие трансформаторы).

**Магнитные усилители** – это отдельный класс приборов, по конструкции и принципу действия схожих с трансформаторами. Однако они имеют и принципиальные отличия.

В основе работы магнитных усилителей лежит управляемый дроссель. Управляемый дроссель – это устройство, состоящее из замкнутого стального сердечника с двумя катушками: переменного тока и подмагничивания. Первая из них подключается к переменному напряжению, которое создаёт в сердечнике магнитный поток, недостаточный для насыщения материала сердечников. Вследствие этого индуктивное сопротивление катушки будет значительным, а сила тока, наоборот, незначительной. Если подключить вторую катушку к источнику постоянного тока (подмагничивающего), то с его увеличением сердечник будет насыщаться, и индуктивное сопротивление подключённой к переменному напряжению катушки снижается. Таким образом, с помощью постоянного тока подмагничивания можно управлять величиной переменного тока во второй катушке (рис. 6.6).

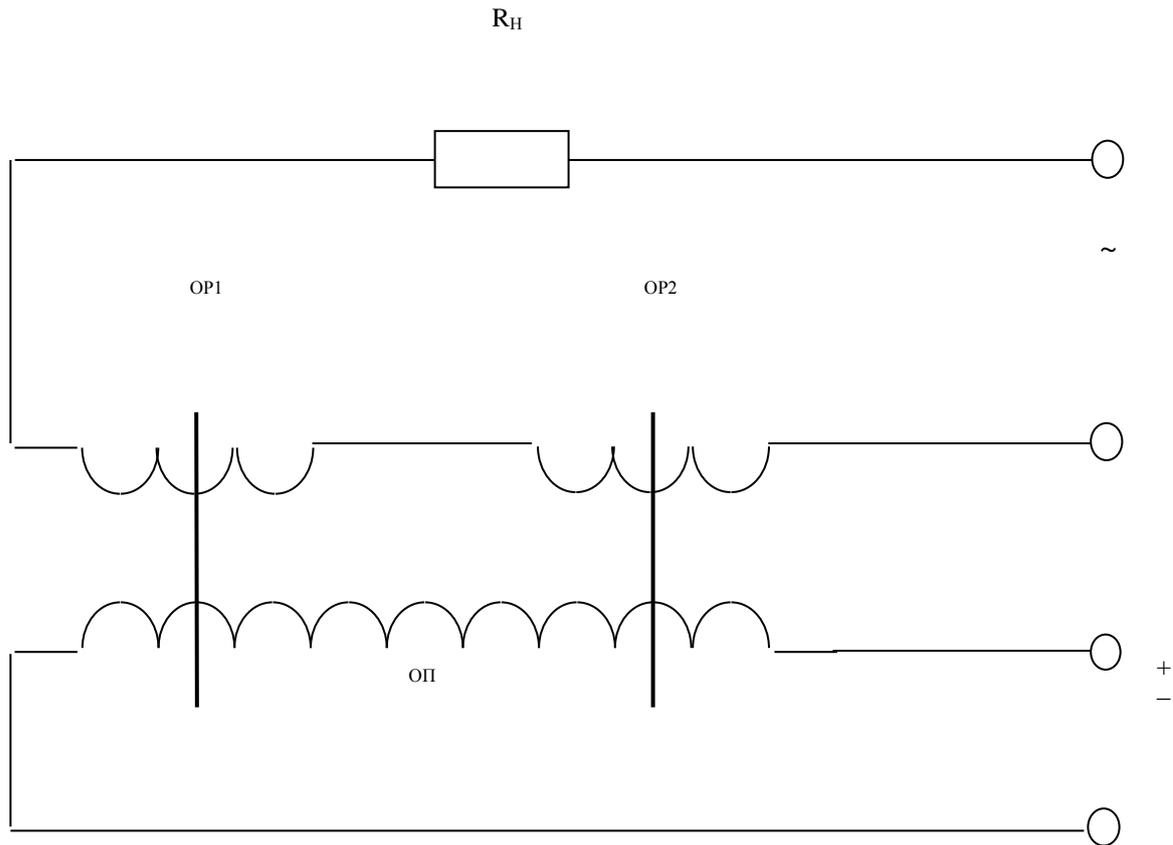


Рис. 6.6. Схема управляемого дросселя:  
 OP1, OP2 – рабочие обмотки (переменного тока);  
 ОП – обмотка подмагничивания;  $R_H$  – резистор нагрузки

На тепловозах нашли применение такие магнитные усилители, как трансформаторы постоянного напряжения (ТПН) и постоянного тока (ТПТ), а также амплистат возбуждения. Первые два устройства выполняют роль датчиков напряжения и тока в силовой цепи тепловоза, а амплистат является устройством управления возбуждением в электрических передачах постоянного тока. На сегодняшний день эти аппараты применяются лишь на тепловозах постройки прежних лет. На современных тепловозах вместо них используются другие устройства.

Устройства и блоки автоматики на основе полупроводниковых приборов стали находить применение на тепловозах еще в конце 70-х годов прошлого столетия. Появление первых относительно мощных диодов, транзисторов и тиристоров позволило частично заменить релейные и электромашинные системы на более компактные и функциональные устройства, осуществляющие управление возбуждением тяговых и вспомогательных машин, а также позволяющие автоматизировать некоторые алгоритмы управления тепловозом. В наибольшей степени такие устройства нашли применение на тепловозах серий 2ТЭ116 и ТЭП70.

На сегодняшний день на смену таким аппаратам пришли принципиально новые микропроцессорные системы управления и диагностики. Та-

кие системы имеют в своей основе промышленный компьютер, который на основании показаний датчиков формирует сигналы для управления практически всеми агрегатами и узлами тепловоза, отображая информацию об их состоянии на специальных дисплейных модулях, установленных на пультах машиниста. Переход к цифровым системам управления и диагностики стал шагом к созданию нового поколения тягового подвижного состава, позволяя осуществлять наиболее сложные и точные алгоритмы управления, а также облегчить эксплуатацию и обслуживание тепловозов благодаря разветвленной системе бортовой диагностики его оборудования.

### **6.1.2 Классификация электрического оборудования по устройству и выполняемым функциям**

Электрические машины по выполняемым на тепловозе функциям могут быть разделены на *тяговые* и *вспомогательные* (рис. 6.7). Первые, согласно своему названию, позволяют реализовать тяговое усилие тепловоза, и предназначены для передачи энергии, вырабатываемой двигателем внутреннего сгорания, колесным парам. По принципу преобразования энергии такие машины можно разделить на тяговые генераторы и тяговые двигатели.

Вспомогательными машинами также могут быть генераторы и двигатели. Генераторы используются в качестве возбуждателей и подвозбудителей, генераторов собственных нужд (вспомогательные и стартер-генераторы). Двигатели являются приводами различных насосов (маслопрокачивающего и топливоподкачивающего), вентиляторов охлаждения, тормозных компрессоров. На тепловозах используются вспомогательные машины как постоянного, так и переменного тока.

К группе *электрических аппаратов* тепловозов относится очень большое количество устройств, разнообразных по конструкции, назначению и выполняемым функциям.

Прежде всего по величине рабочего напряжения следует выделить высоковольтные (силовые) и низковольтные аппараты. Первые используются в силовых цепях, напряжение которых достигает 900 В, а вторые – во вспомогательных цепях и цепях управления тепловозов, напряжение которых составляет 75 или 110 В постоянного тока (в зависимости от серии тепловоза).

По выполняемым на тепловозе функциям электрические аппараты могут быть разделены на несколько групп: коммутационные аппараты, аппараты контроля и защиты, аппараты регулирования, аппараты управления, резисторы, аккумуляторные батареи и прочие аппараты.

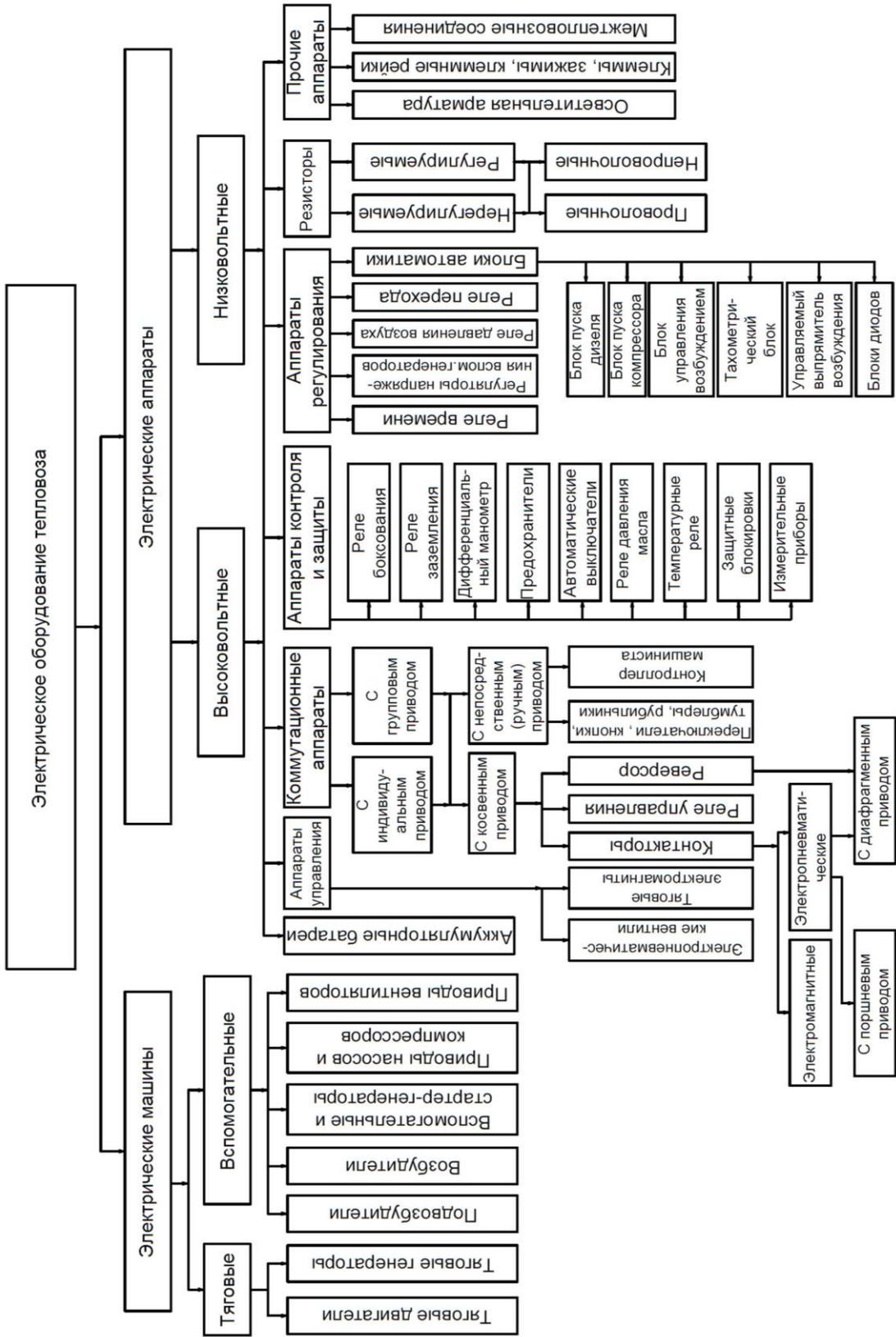


Рис. 6.7. Классификация электрического оборудования тепловозов по конструкции и выполняемым функциям

К **коммутационным аппаратам** относятся контакторы, реле управления, а также ручные переключатели, кнопки и тумблеры, включая контроллер машиниста. Основной задачей этих аппаратов, исходя из названия, является коммутация – соединение и разъединение участков электрических цепей. Эти аппараты могут быть оснащены индивидуальным или групповым приводом, осуществлять переключения при помощи дистанционного косвенного привода либо воздействием на рукоятку или кнопку.

К **аппаратам управления** целесообразно отнести устройства, позволяющие управлять другими электрическими аппаратами или оказывать механическое воздействие на элементы различных узлов тепловоза. К таким устройствам можно отнести электропневматические вентили и тяговые электромагниты. Электропневматические вентили широко используются на тепловозах. Они управляют подачей сжатого воздуха к пневматическим приводам контакторов и реверсоров, участвуют в работе систем охлаждения дизелей, воздействуя на их механизмы, воздействуют на систему управления топливными насосами высокого давления в некоторых режимах работы тепловоза. Тяговые электромагниты нашли применение в регуляторах числа оборотов дизелей. Они представляют собой катушку с расположенным внутри нее подвижным стержневым сердечником. При протекании тока через катушку возникает магнитное поле, заставляющее сердечник перемещаться и воздействовать на какие-либо механизмы. Так, в регуляторах числа оборотов такие электромагниты управляют затяжкой всережимной пружины, а также корректируют работу регуляторов в некоторых режимах.

**Аппараты контроля и защиты** позволяют контролировать ряд основных параметров работы агрегатов и устройств тепловоза, защитить силовую установку, а также электрические цепи тепловоза от аварийных режимов работы.

Защита от боксования колесных пар, появления высокого напряжения на корпусе тепловоза, превышения максимально допустимого тока тягового генератора осуществляется с помощью специальных *электромагнитных реле*.

Возникновение коротких замыканий и перегрузок в электрических цепях предотвращается использованием *автоматических выключателей и предохранителей*.

*Блокировочные контакты контакторов, концевые выключатели и размыкатели* позволяют не допустить неправильной последовательности срабатывания аппаратов, избежать возникновения некоторых аварийных ситуаций.

Специальные *реле давления и температурные реле* предназначены для контроля давления масла, температуры масла и воды в системах дизеля, не допуская его работы в опасных режимах. *Дифференциальный манометр* контролирует давление в картере дизеля, предотвращая опасность его взрыва при пробое газов в случае неисправности.

*Измерительные приборы магнитоэлектрической системы* позволяют локомотивной бригаде контролировать величины токов и напряжений в силовой цепи тепловоза и цепях управления, отслеживать давление и температуру воды и масла в системах дизеля.

*Аппараты регулирования* представляют собой зачастую достаточно сложные устройства, измеряющие какие-либо параметры систем тепловоза, и управляющие этими системами в зависимости от значений измеренных параметров.

К наиболее простым устройствам этой категории относятся реле времени, реле давления воздуха и реле перехода. Реле времени позволяет обеспечивать требуемую длительность тех или иных процессов во время работы тепловоза, обеспечивая заданную последовательность операций и их автоматизацию. Реле давления воздуха контролирует величину давления сжатого воздуха в тормозной системе тепловоза, управляя включением и выключением электродвигателя привода тормозного компрессора и поддерживая тем самым давление воздуха в заданных пределах. Реле перехода измеряет соотношение величин тока и напряжения в силовой цепи тепловоза и управляет переходом на ослабленное поле тяговых электродвигателей в зависимости от этого соотношения.

*Регуляторы напряжения вспомогательных генераторов* предназначены для поддержания напряжения бортовой сети тепловоза (75 или 110 В) на заданном уровне независимо от тока нагрузки вспомогательного генератора. На тепловозах постройки 70-х – 90-х годов XX века такие регуляторы представляли собой электронные блоки на транзисторах и тиристорах. Наибольшее распространение получили регуляторы типов БРН-3В (тепловозы 2ТЭ10М, У, ТЭМ2, 2М62), РНТ-6 (тепловоз 2ТЭ116), АРНТ (тепловоз ТЭП70). На современных тепловозах узел регулирования напряжения вспомогательного генератора входит в состав микропроцессорных систем управления тепловозом.

Также на тепловозах постройки прежних лет широко использовались блоки автоматики, построенные на полупроводниковых приборах.

*Бесконтактные тахометрические блоки*, пришедшие в свое время на смену тахогенераторам, предназначены для измерения частоты вращения коленчатого вала дизеля с формированием электрического сигнала, пропорционального этой частоте, что необходимо для работы системы возбуждения тягового генератора.

*Управляемые выпрямители возбуждения (УВВ)* используются в тепловозах с передачей переменного-постоянного тока и предназначены для совместной работы с синхронными возбудителями и синхронными тяговыми генераторами. Они представляют собой выпрямительный мост, два плеча которого образованы диодами, а остальные два – управляемыми вентилями-тиристорами. УВВ позволяют выпрямлять переменное напряжение, вырабатываемое синхронным возбудителем для обмотки возбуждения тягового генератора, и одновременно регулировать ток этой обмотки.

Управление таким выпрямителем осуществляется с помощью специального *блока управления возбуждением* (БУВ). Этот блок получает сигналы от селективного узла тепловоза, которые формируются на основании показаний датчиков тока и напряжения силовой цепи, а также датчиков числа оборотов коленчатого вала дизеля и положения реек его топливных насосов. На основании соотношения этих сигналов вырабатываются импульсы, управляющие отпиранием тиристоров УВВ.

*Блоки пуска дизеля* предназначены для обеспечения пуска дизеля в автоматическом режиме с соблюдением заданной последовательности операций и требуемых выдержек времени. Придя на смену релейным схемам пуска дизеля, они позволили повысить надежность и точность работы схемы запуска, исключить из нее некоторые отдельные реле.

*Блок пуска компрессора* применяется на тепловозах серии 2ТЭ116 и предназначен для предотвращения перегрузки регулятора напряжения РНТ-6 в момент запуска электродвигателя тормозного компрессора.

Описанные выше блоки не применяются на современных и новых тепловозах, поскольку их функции выполняет микропроцессорная система управления тепловозом.

*Резисторы* широко применяются в тепловозной аппаратуре. Они используются в системах управления возбуждением тяговых генераторов, цепях защит, блоках автоматики. Различают проволочные и непроволочные резисторы, регулируемые и нерегулируемые.

К *прочим аппаратам* тепловозов могут быть отнесены клеммы, разъемы, клеммные рейки, межтепловозные соединения, осветительная арматура. Это оборудование не выделяется в отдельные классы, но без его использования невозможна работа тепловоза.

## 6.2 Электрические машины

### 6.2.1 Тяговые электрические машины

На сегодняшний день на тепловозах устанавливаются тяговые генераторы постоянного и переменного тока.

Генераторы постоянного тока используются в электрической передаче мощности постоянного тока. Это коллекторные машины, имеющие достаточно большие габариты и массу, требующие регулярного обслуживания в связи с наличием коллекторно-щеточного аппарата и ограниченные по максимальной мощности величиной порядка 2200 кВт. Достоинством таких машин является отсутствие необходимости в каких-либо преобразовательных устройствах при подключении тяговых двигателей непосредственно к выходу генератора. На отечественных тепловозах применялись генераторы постоянного тока типов ГП-311, ГП-312, ГП-300, ГП-319.

В связи с указанными недостатками генераторов постоянного тока на сегодняшний день все новые локомотивы оснащаются синхронными генераторами, имеющими значительное преимущество по мощности, облада-

ющие меньшими габаритами и массой при тех же мощностных показателях, а также не имеющие ненадежного коллекторно-щеточного аппарата. Такие генераторы устанавливаются на тепловозах с электрической передачей переменного тока совместно со специальной выпрямительной установкой.

На некоторых тепловозах нашли применение так называемые тяговые агрегаты. Это две или три электрические машины, объединенные в один корпус и имеющие общий вал. В состав такого агрегата может входить тяговый генератор, возбудитель, а для пассажирских тепловозов – генератор электроснабжения вагонов.

Тяговые электродвигатели (ТЭД) на тепловозах применяются преимущественно постоянного тока. Несмотря на традиционные недостатки, присущие машинам постоянного тока, такие двигатели легко управляются и позволяют реализовать требуемые тяговые усилия в достаточно широком диапазоне мощностей. ТЭД постоянного тока продолжают использовать, в частности, и на новых тепловозах.

Использование асинхронных ТЭД впервые начали практиковать лишь в последние годы. Это связано с необходимостью установки специальных мощных полупроводниковых преобразователей, управляемых по сложным алгоритмам. До недавнего времени полупроводниковая техника не позволяла реализовать подобные устройства, кроме того весьма продолжительное время проводились работы по исследованию процессов в асинхронном приводе и по корректировке алгоритмов управления для создания требуемых характеристик ТЭД. На сегодняшний день асинхронный тяговый привод используется на новых тепловозах серии 2ТЭ25А, а также на ряде новых электровозов.

### ***6.2.2 Вспомогательные электрические машины***

Помимо тяговых нужд электрические машины широко используются на тепловозах и для вспомогательных целей.

Для питания мощных обмоток возбуждения тяговых генераторов и для формирования их внешней характеристики применяют специальные электрические машины – возбудители. Это генераторы средней мощности постоянного или переменного тока, независимая обмотка возбуждения которых получает питание от устройств управления электрической передачей. Управлять током этой обмотки намного проще по сравнению с обмоткой возбуждения тягового генератора, т.е., по сути, возбудитель является неким промежуточным усилительным звеном.

На ряде тепловозов с передачей постоянного тока использовались дополнительные генераторы, называемые подвозбудителями. Их устанавливали для питания обмоток переменного тока магнитных усилителей и некоторых элементов системы возбуждения тягового генератора.

Питание цепей управления и вспомогательных цепей тепловоза, а также заряд аккумуляторной батареи при работающем дизеле осуществля-

ется от вспомогательных генераторов постоянного тока. На тепловозах с синхронными тяговыми генераторами такие машины являются стартер-генераторами, поскольку помимо функций вспомогательного генератора они играют роль стартера при запуске дизеля.

Ряд электрических машин используется на тепловозах в качестве привода вспомогательных агрегатов и механизмов. Так, для вращения вала топливоподкачивающего и маслопрокачивающего насосов обычно применяют электродвигатели постоянного тока малой мощности. Для вентиляторов кузова, охлаждения ТЭД и выпрямительных установок также используют машины постоянного тока несколько большей мощности. На тепловозах с передачей переменного-постоянного тока охлаждение дизеля осуществляется с помощью мощных трехфазных асинхронных электродвигателей, подключаемых непосредственно к статорным обмоткам синхронного тягового генератора. Тормозные компрессоры тепловозов в большинстве случаев получают вращение от специальных мощных электродвигателей постоянного тока.

Помимо рассмотренных вспомогательных машин в тепловозах устанавливают также небольшие электродвигатели калориферов и обогревателей.

### **6.3 Электрическое оборудование современных и перспективных тепловозов**

#### ***6.3.1 Электрическое оборудование локомотивов на основе микропроцессорных систем управления***

В современных локомотивах предъявляются высокие требования к качеству автоматического регулирования их эксплуатационных параметров, а также к надежности их систем, что во многом определяется сложностью, многофункциональностью и автономностью самих локомотивов.

Существует два самостоятельных подхода к построению систем автоматического регулирования параметров энергетической установки, электрической передачи мощности и вспомогательных систем тепловоза.

Один подход предполагает применение традиционных аналоговых технических средств. Это системы на основе электромагнитных реле с применением автоматики на полупроводниковых приборах. В таких системах алгоритм работы и функциональная зависимость входных и выходных параметров регуляторов реализуются посредством определенного взаимного соединения аппаратов, их контактов, а также за счет использования устройств, способных выполнять строго определенные функции. Таким образом, эти системы имеют чисто аппаратную реализацию, что делает их достаточно консервативными с точки зрения изменения алгоритмов их работы. Попытка модифицировать впоследствии такие автоматические системы сопряжена со значительными затратами времени и средств.

Современный уровень развития вычислительной техники позволяет реализовать множество новых возможностей при создании систем управления. Использование микроконтроллеров, компьютеров и микропроцессорной техники привело к появлению цифровых программируемых автоматических систем управления, в которых алгоритм работы определяется не аппаратным построением, а специальной программой, хранящейся в специальных запоминающих устройствах. С помощью таких систем можно реализовать значительно более сложные и точные алгоритмы работы по сравнению с аналоговыми.

Еще одним преимуществом цифровой автоматической системы является простота ее совершенствования, которое в данном случае связано лишь с перепрограммированием основного алгоритма при неизменной аппаратной части.

Замена аппаратного способа реализации на программный приводит к снижению стоимости аппаратуры, позволяет повысить эффективность логических автоматических систем управления и регулирования, расширить их функциональные возможности, снизить массогабаритные показатели и расход топлива за счет реализации более эффективных алгоритмов.

### ***6.3.2 Основы построения и работы цифровых систем управления***

Любая цифровая система управления оперирует специальными дискретными сигналами, т. е. имеющими конечное количество значений. В традиционных цифровых системах таких значений два: сигнал высокого уровня (или логическая «единица») и сигнал низкого уровня (логический «нуль»). За уровень логической «единицы» (далее «1») может быть принято, например, напряжение +5 или +12 В, а за уровень логического «нуля» (далее «0») – соответственно 0В, иначе говоря, соединение с «минусовым» проводом источника питания. Цифровые устройства состоят из наборов специальных логических элементов, которые выполняют с этими «единицами» и «нулями» определенные логические функции, описываемые алгеброй логики.

Любые цифровые микросхемы, на которых строятся цифровые системы управления, имеют в своей основе наборы простейших основных логических элементов, взаимосвязанных друг с другом определенным образом.

Логический элемент – это электронная схема, имеющая несколько входов и один выход, при этом каждому состоянию сигнала на выходе («1» или «0») соответствует строго определенная комбинация сигналов на входах.

В качестве основных логических элементов можно рассматривать элементы «И», осуществляющие функции логического умножения, элементы «ИЛИ», осуществляющие функции логического сложения, а также элементы «НЕ», осуществляющие функцию инверсии.

Простейший элемент «И» показан на рис. 6.8, *а*. Он имеет два входа  $x_1$  и  $x_2$ , а также выход  $y$ . На входы могут быть поданы сигналы логического «0» или «1» в различных комбинациях, в результате чего на выходе будет появляться сигнал того уровня, который определяется таблицей истинности для данного элемента в строгом соответствии с входной комбинацией сигналов (рис. 6.8, *б*).

Из таблицы видно, что «1» на выходе появится лишь тогда, когда на обоих входах также будет присутствовать «1» (и на первом, и на втором). Во всех других случаях на выходе присутствует «0».

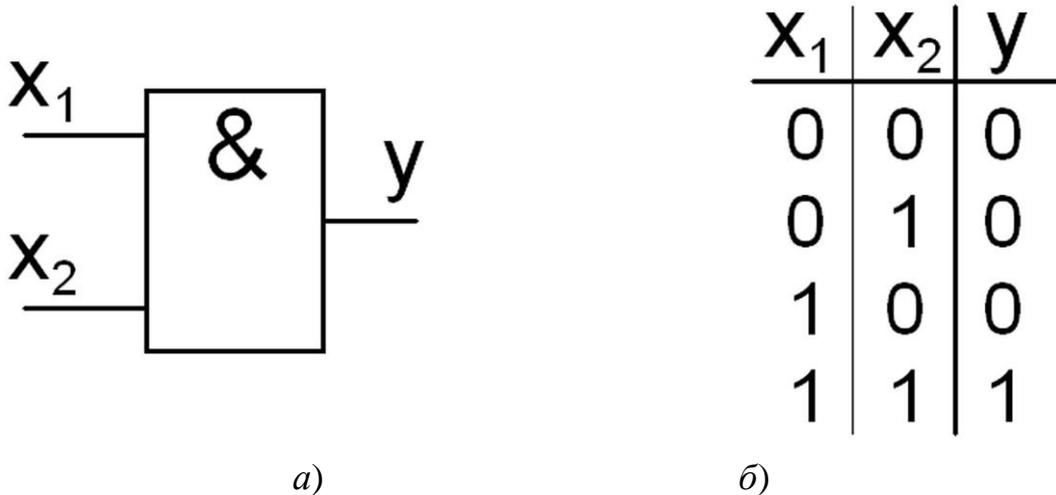


Рис. 6.8. Логический элемент «И» (*а*) и его таблица истинности (*б*)

Несколько иначе работает элемент «ИЛИ» (рис. 6.9, *а*). Как видно из таблицы истинности (рис. 6.9, *б*), логическая «1» появится на выходе в том случае, если хотя бы на одном из входов присутствует «1» (т. е. или на первом, или на втором, или на обоих входах).

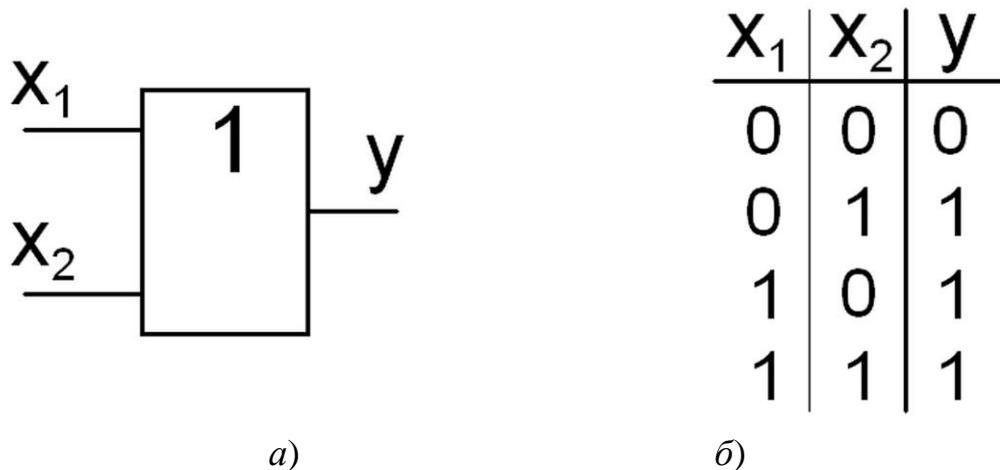


Рис. 6.9. Логический элемент «ИЛИ» (*а*) и его таблица истинности (*б*)

Еще более простой является работа элемента «НЕ» (рис. 6.10, а). Его функция состоит в инвертировании, т. е. «переворачивании» сигнала, поступившего на вход (рис. 6.10, б). Кружок на обозначении выхода означает отрицание, т. е. если на входе была «1», на выходе станет «0», и наоборот.

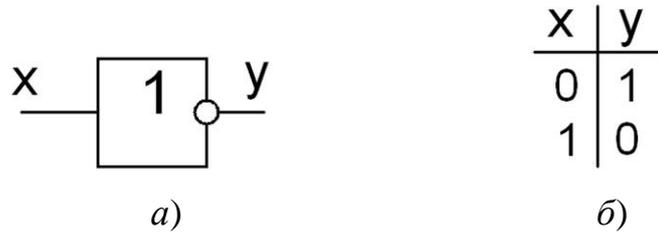


Рис. 6.10. Логический элемент «НЕ» (а) и его таблица истинности (б)

Комбинации элементов «И» и «ИЛИ» с элементом «НЕ» позволяют получить ещё два вспомогательных и очень часто используемых элемента: «И-НЕ» и «ИЛИ-НЕ» (рис. 6.11, 6.12). Как видно из таблиц истинности этих элементов, сигналы на их выходах обратны сигналам на выходах исходных элементов «И» и «ИЛИ», т.е. они инвертированы. Из рассмотренных элементов строятся более сложные устройства, позволяющие производить переключения (триггеры), осуществлять хранение поступивших на вход сигналов (регистры) и т.д.

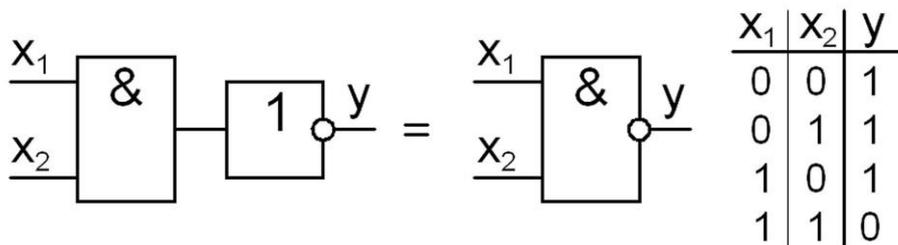


Рис. 6.11. Логический элемент «И-НЕ»

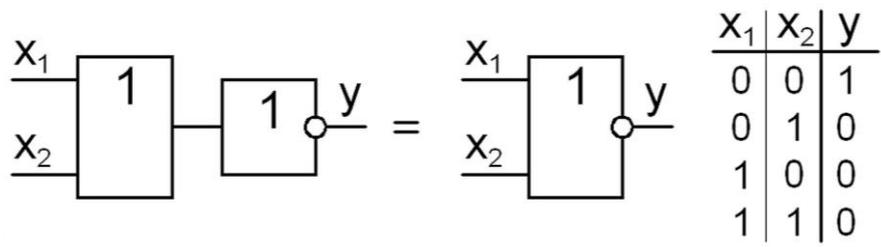


Рис. 6.12. Логический элемент «ИЛИ-НЕ»

Рассмотрим задачу по обработке сигналов с трех датчиков (рис. 6.13). Предположим, что каждый из датчиков является дискретным, то есть имеет только два состояния – включенное и выключенное. Допустим, что датчики должны управлять каким-либо сигнальным устройством, например, светодиодом (рис. 6.13). Зададим следующие условия: светодиод должен светиться лишь в том случае, если только один из двух датчиков

Д1 или Д2 будет включен, а третий Д3 – выключен. Если оба датчика Д1 и Д2 выключены, либо оба включены, либо сработает датчик Д3 – светодиод должен погаснуть.

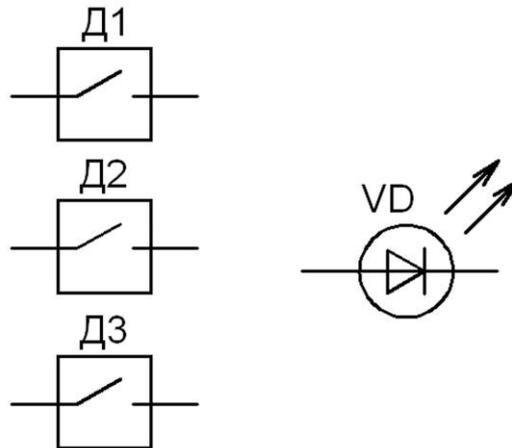


Рис. 6.13. Исходные элементы предполагаемой системы:  
Д1, Д2, Д3 – датчики; VD – светодиод

Анализируя начальные условия задачи, становится очевидным, что простым взаимным включением датчиков в цепь светодиода достичь требуемого результата невозможно. Следовательно, требуется создать некую систему, которая осуществляла бы заданный в условии алгоритм. Попробуем решить данную задачу с помощью обычной релейной системы, а также с помощью цифровой системы на основе рассмотренных выше элементов.

Для реализации релейного варианта схемы потребуется три электромагнитных реле, у которых имеются как замыкающие, так и размыкающие контакты (рис. 6.14).

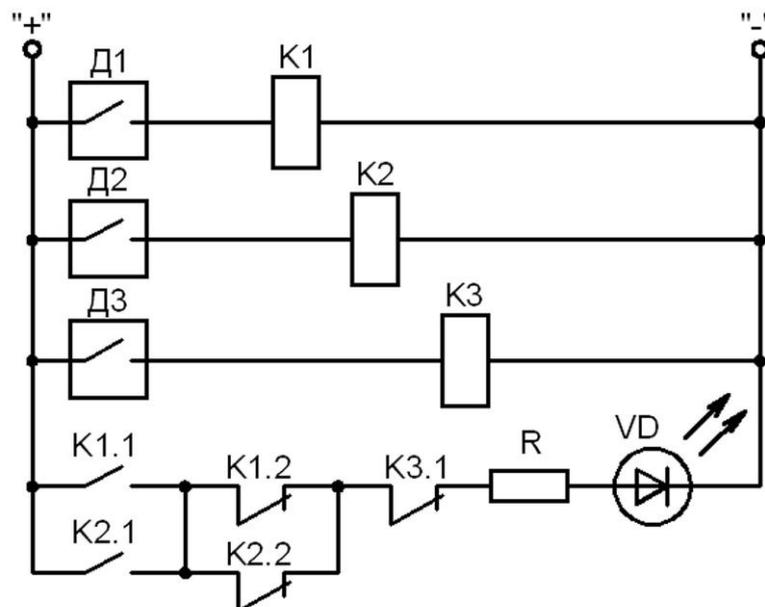


Рис. 6.14. Вариант устройства на электромагнитных реле

В цепь каждого датчика устанавливается по одному реле К1, К2 и К3. Замыкающие контакты первого и второго реле К1.1 и К2.1, а также их размыкающие контакты К1.2 и К2.2 образуют схему, в которой ток от плюсового провода потечет к замкнутому контакту третьего реле К3.1 только в том случае, если включено только одно из двух реле К1 или К2. В случае, когда оба эти реле будут выключены, разомкнутые контакты К1.1 и К2.1 разорвут цепь, и светодиод не будет светиться. Если же оба реле сработают, контакты К1.1 и К2.1 замкнутся, но одновременно разомкнутся контакты К1.2 и К2.2 и вновь разорвут цепь. Размыкающий контакт К3.1 третьего реле разорвёт цепь питания светодиода в том случае, если сработавший датчик Д3 включит реле К3. Резистор R требуется для ограничения тока в цепи светодиода до значения, соответствующего его номинальной величине. Таким образом, заданный в условии алгоритм полностью реализован.

Теперь рассмотрим вариант такого же устройства на логических элементах, которые входят в состав распространенных и доступных серий отечественных и зарубежных интегральных микросхем.

Сначала реализуем алгоритм для первых двух датчиков. При анализе таблиц истинности для рассмотренных выше элементов (см. рис. 6.8–6.12) выявлено, что ни один элемент не имеет набора состояний, соответствующего условию задачи. Следовательно, требуется составить некую комбинацию из логических элементов. Для выполнения условия работы датчиков Д1 и Д2 наиболее близким к соответствию является элемент ИЛИ (см. рис. 6.9). При выключенных датчиках на обоих входах будет «0», а значит и на выходе тоже; при срабатывании одного из датчиков на выходе элемента появится «1», что также соответствует условию (рис. 6.15). Но вот при срабатывании обоих датчиков на выходе снова будет «1» вместо требуемого «0», что противоречит условию задачи.

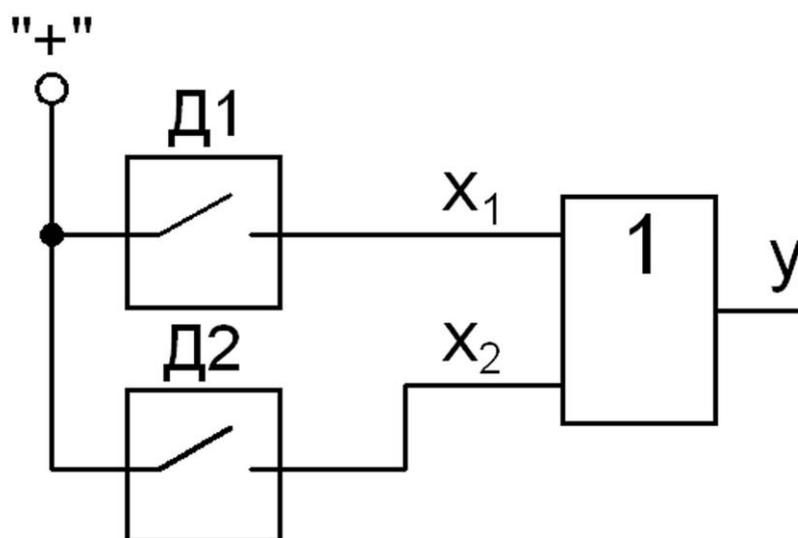


Рис. 6.15. Использование элемента «ИЛИ»

Таким образом, нужно выделить эту лишнюю комбинацию и исключить ее из набора. Проанализировав таблицы истинности, приходим к выводу, что для этой цели подходит элемент «И», у которого «1» на выходе появляется лишь в случае появления «1» на обоих входах (см. рис. 6.8). Включим элементы так, как показано на рис. 6.16. Ко входам элемента «И» на микросхеме DD1.1 подключим датчики Д1 и Д2, параллельно этим входам вместо элемента «ИЛИ» подсоединим входы элемента «ИЛИ-НЕ» на микросхеме DD2.1, который позволит выделить признак выключенных датчиков в соответствии с его таблицей истинности (рис. 6.12).

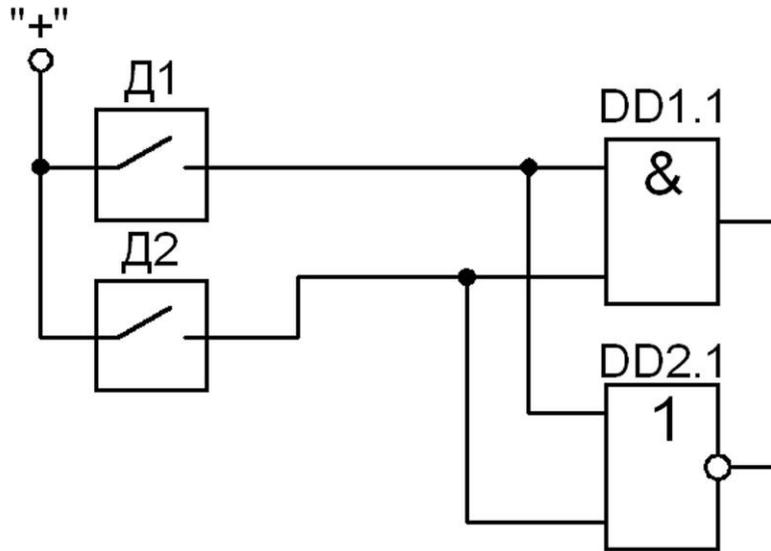


Рис. 6.16. Формирование признаков одновременного срабатывания или отключения обоих датчиков

Таким образом, мы получили ситуацию, когда на выходе элемента DD1.1 присутствует «1» лишь в случае, если оба датчика включены, а на выходе DD2.1 – если оба выключены. Объединив эти сигналы с помощью еще одного элемента «ИЛИ-НЕ», получим следующую схему и таблицу истинности (рис. 6.17).

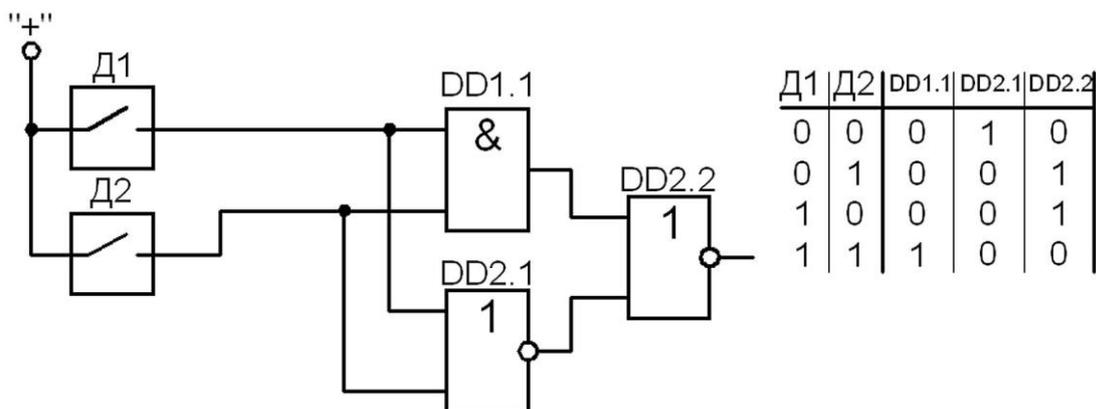


Рис. 6.17. Схема формирования алгоритма работы датчиков Д1 и Д2

Как видно из таблицы истинности на рис. 6.17, сигналы, присутствующие на выходах элементов DD1.1 и DD2.1, являются входными сигналами для элемента DD2.2, который, в соответствии с его таблицей истинности (рис. 6.12), сформирует на своем выходе сигнал «1» лишь при одном из сработавших датчиков  $D_1$  или  $D_2$ .

Для формирования полного алгоритма работы с учетом датчика  $D_3$  возьмем в качестве DD2.2 элемент с тремя входами (рис. 6.18). Аналогично двухвходовому элементу в данном случае «1» появится на выходе лишь тогда, когда на всех трех входах будет присутствовать «0». Разница заключается лишь в большем числе возможных комбинаций. При трех входах, каждый из которых может быть только в двух состояниях, это число составит  $n = 2^3 = 8$ .

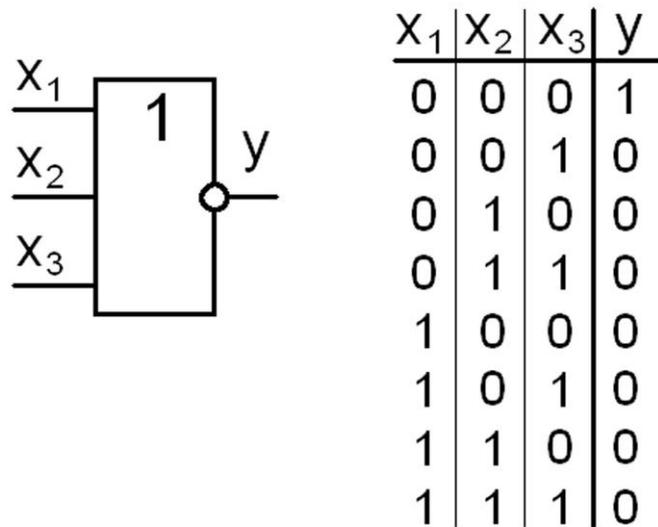


Рис. 6.18. Элемент «ИЛИ-НЕ» с тремя входами

Таким образом, в конечном виде имеем схему и таблицу истинности, представленную на рис. 6.19. Как видно из таблицы, «1» на выходе DD2.2, т.е. высокий уровень напряжения, заставляющий светиться светодиод VD, появляется только тогда, когда лишь один из датчиков  $D_1$  или  $D_2$  включен, а датчик  $D_3$  – выключен, что полностью соответствует условию. Элементы DD2.1 и DD2.2 входят в состав одной микросхемы DD2, а элемент DD1.1 является частью другой микросхемы. При таком способе реализации мы получили устройство, имеющее массогабаритные показатели, сравнимые со спичечным коробком. Вместе с тем такое устройство потребляет при работе ток в несколько раз меньше, чем аналогичное устройство на электромагнитных реле. К тому же в данном варианте отсутствуют контактные элементы, что значительно повышает его надежность.

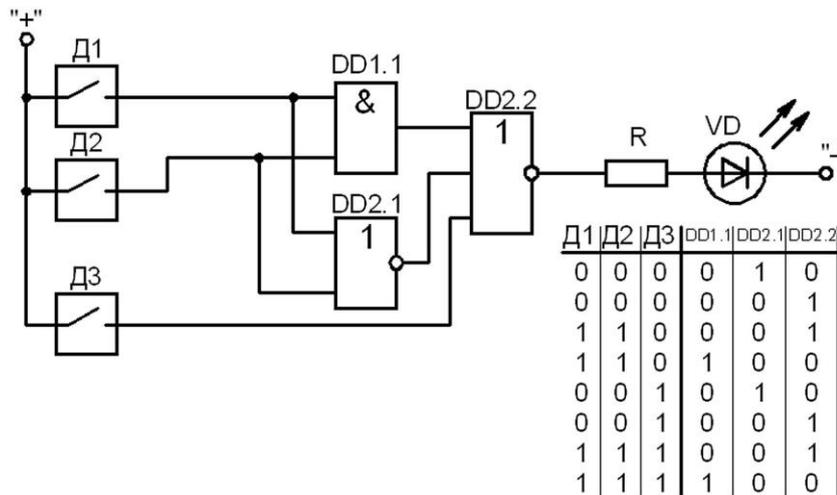


Рис. 6.19. Окончательная схема устройства на логических элементах и таблица истинности

Рассмотренную задачу, а также множество гораздо более сложных задач можно решить также с применением специальных микроконтроллеров и микропроцессоров. Эти устройства имеют несколько входов, несколько выходов, а также специальные входы для тактовых импульсов и записи программы. Изначально контроллер представляет собой чистую микросхему, в которую с помощью программатора записывают нужную программу. Именно она будет определять соответствие между сигналами на входах и выходах микроконтроллера, а также алгоритм выполнения действий с входными сигналами при поступлении каждого тактового импульса на тактовый вход. При необходимости программа может быть перезаписана в микроконтроллер, что делает легкой и незатратной любую модернизацию или доработку устройства на его основе. В последние годы тепловозные системы управления строятся именно на таких устройствах.

### 6.3.3 Принцип построения микропроцессорных систем управления

Все микропроцессорные системы автоматического регулирования (МП САР) имеют схожую структуру и порядок работы. Любая МП САР обычно состоит из трех основных составных частей или подсистем: вычислительную часть, интерфейсную часть и подсистему электропитания.

Ввод информации в микропроцессорную систему автоматического регулирования осуществляется от датчиков или командных устройств, после чего системой производится логическая обработка этой информации в заданной последовательности и вывод полученных результатов в исполнительные устройства. Задачи, решаемые каждым конкретным устройством, определяются алгоритмом его работы – упорядоченной последовательностью действий с конечным числом операций, приводящей к получению определенного результата. Последовательность выполнения операций –

программа работы – закладывается в структуру электрической схемы и в связи между программными и аппаратными средствами.

Практика создания микропроцессорных автоматических систем подтвердила целесообразность их выполнения в виде специализированных модулей, проблемно и функционально ориентированных в рамках определенных задач, алгоритмов и функций. Под модулем в данном случае понимается конструктивно законченное устройство, позволяющее самостоятельно или в совокупности с другими модулями решать вычислительные или управляющие задачи заданного класса.

Характерной особенностью такого построения систем является то, что независимо от решаемых задач электрическая схема и набор функциональных модулей могут оставаться постоянными. Различие сводится к реализации заданных алгоритмов управления.

Конструкции микропроцессорных систем автоматического регулирования различаются широким спектром алгоритмического и программного обеспечения, разнообразной элементной базой. По своему построению они относятся к распределенным и многоуровневым системам автоматического регулирования.

Еще в 80-е годы прошлого века предпринимались попытки создания таких систем для управления тепловозами. Одним из примеров являются системы СКРЗД-1 и СКРЗД-2, разработанные для тепловозов серий 2ТЭ116 и ТЭП70.

В системе СКРЗД-2 алгоритм управления повторяет алгоритм работы объединенной системы автоматического регулирования частоты вращения коленчатого вала дизеля и мощности тягового генератора, который реализован в серийных системах тепловозов 2ТЭ10, 2М62, 2ТЭ116, ТЭП60, ТЭП70 и др.

В этой системе первый электронный регулятор осуществлял регулирование частоты вращения коленчатого вала дизеля, второй – регулирование мощности тягового генератора. При этом были предусмотрены все стандартные функции автоматических защит дизеля и тягового генератора – ограничение подачи топлива от давления наддувочного воздуха, ограничение частоты вращения коленчатого вала дизеля от давления масла в системе смазки, ограничение максимального тока и напряжения тягового генератора. Связь первого и второго электронных регуляторов осуществлялась по фактическому положению рейки топливных насосов высокого давления. В качестве вычислительного устройства были использованы две микроЭВМ отечественного производства «Электроника С5-21М».

Система автоматического регулирования частоты вращения коленчатого вала дизеля СКРЗД-1 имела более совершенный алгоритм управления. Анализируя сигналы от датчиков положения рейки топливных насосов  $h$ , фактической частоты вращения коленчатого вала  $n$ , давления наддувочного воздуха  $P_v$ , давления  $P_m$  и температуры  $t_m$  масла в системе смазки дизеля, вычислительное устройство вырабатывает управляющее воздействие на изменение подачи топлива в исполнительное устройство, выполненное как

приставка к серийному регулятору частоты вращения коленчатого вала дизеля типа 4М-7РС2. Наличие серийного регулятора решает задачу наиболее простого перехода на аварийный режим при отказе электронной системы и защиты дизеля. Задание режима работы дизеля осуществляется от контроллера машиниста путем анализа состояния электромагнитов МР1 – МР4.

Одновременно с управлением частотой вращения коленчатого вала дизеля система вырабатывает сигнал задания мощности тягового генератора.

Во ВНИТИ проводились работы по созданию микропроцессорной системы контроля и управления (МСКУ-1), предназначенной для автоматического регулирования напряжения тягового генератора тепловоза 2ТЭ116 и отображения диагностической информации. В основу вычислительного устройства МСКУ-1 был положен микропроцессорный набор интегральных микросхем серии КР580, ограниченные вычислительные возможности которого не позволили разработчикам полностью реализовать весь спектр новых технических решений.

На сегодняшний день на современных тепловозах среди микропроцессорных систем управления наибольшее распространение получили системы УСТА и МСУ-Т.

### **6.3.4 Система УСТА**

Унифицированная система тепловозной автоматики (УСТА) состоит из блока регулирования, блока транзисторных ключей широтно-импульсной модуляции (ШИМ) и комплекта датчиков (рис. 6.20).

Основным узлом системы является блок регулирования. В нем управляющая программа, которая хранится на специальной энергонезависимой интегральной микросхеме, производит анализ сигналов датчиков: напряжения тягового генератора  $U_{ТГ}$ , тока тягового генератора  $I_{ТГ}$ , напряжения цепей управления  $U_{ВГ}$ , частоты вращения коленчатого вала дизеля  $n$  и положения рейки топливных насосов высокого давления  $h$ , а также некоторых дискретных сигналов: положения рукоятки контроллера машиниста, состояния некоторых реле управления, контакторов возбуждения КВ, компрессора КДК, ослабления поля ВШ1 и ВШ2, а также тумблера управления переходами ТУП. В результате этого анализа вырабатывается управляющее воздействие на изменение тока обмотки возбуждения синхронного возбудителя (тепловозы 2ТЭ116, ТЭП70) или возбудителя (тепловозы 2ТЭ10, 2М62, ТЭМ2 и ЧМЭЗ), а также стартер-генератора (тепловозы 2ТЭ116, ТЭП70) или вспомогательного генератора (тепловозы 2ТЭ10, 2М62, ТЭМ2 и ЧМЭЗ). Ток обмоток возбуждения изменяется с помощью двух широтно-импульсных модуляторов (ШИМ1 и ШИМ2).

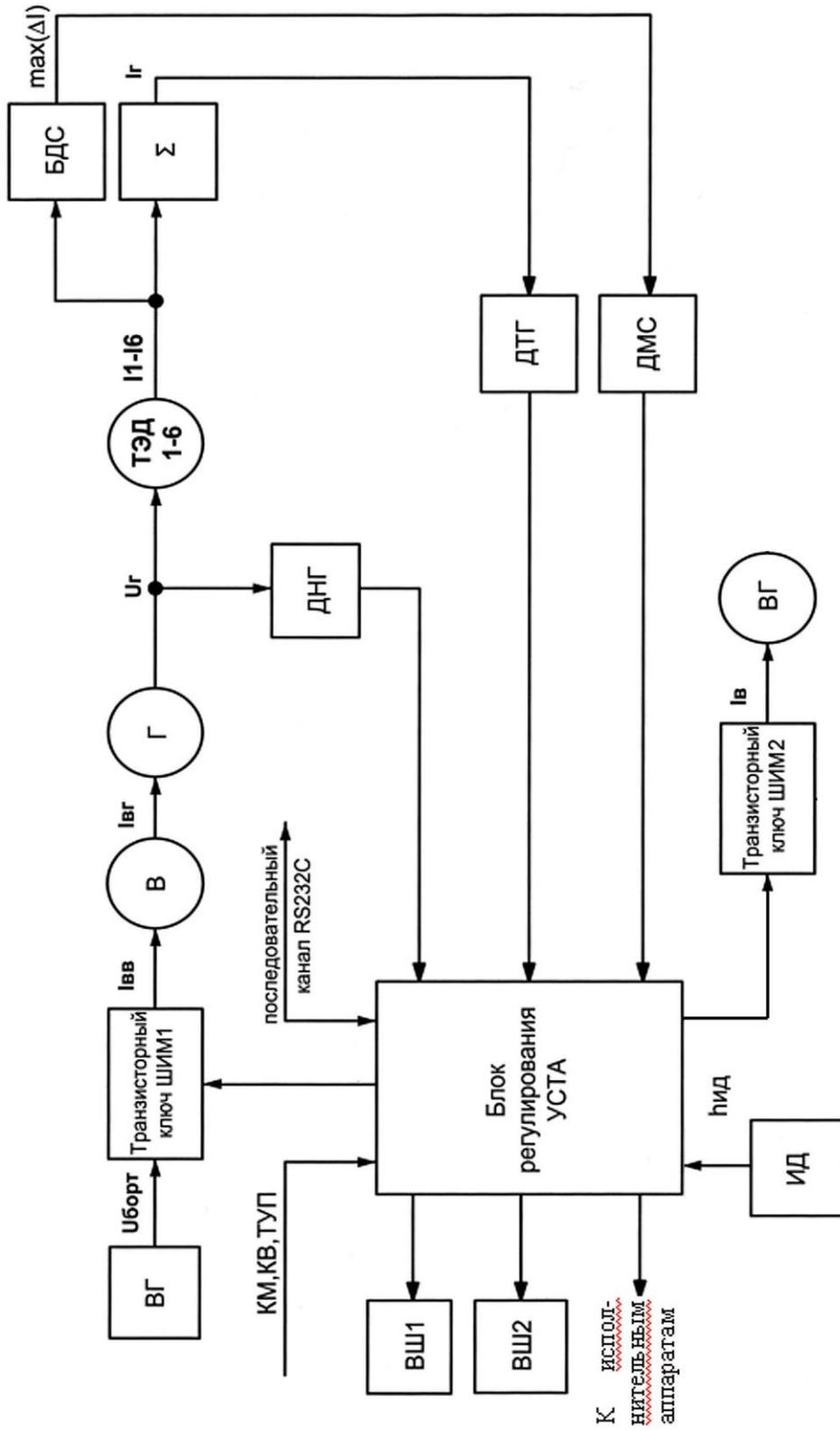


Рис. 6.20. Структурная схема системы УСТА:

ВГ – вспомогательный генератор;  $U_{\text{борг}}$  – напряжение бортовой сети тепловоза;  $I_{\text{вв}}$  – ток обмотки возбуждения возбудителя; В – возбудитель;  $I_{\text{вг}}$  – ток обмотки возбуждения тягового генератора; Г – тяговый генератор;  $I_{1-16}$  – ток тяговых двигателей; БДС – блок диодов сравнения;  $\Sigma$  – суммирующий узел; ДТГ – датчик тока генератора; ДМС – датчик максимального сигнала; ИД – индуктивный датчик;  $h_{\text{ид}}$  – положение реок топливных насосов; ВШ1, ВШ2 – контакторы ослабления поля ТЭД

Система УСТА осуществляет включение нескольких электрических аппаратов в схеме тепловоза. Это контакторы ослабления возбуждения ВШ1 и ВШ2, реле управления (переход на электронную или штатную систему регулирования напряжения цепей управления) и т. д.

При проектировании системы УСТА отказались от применения многофункциональных блоков и модулей промышленной автоматики, создав специализированное микропроцессорное устройство, предназначенное для эксплуатации на всех сериях тепловозов железных дорог страны. Так был решен вопрос полной унификации аппаратной части системы автоматического регулирования напряжения тягового генератора. Различие между управляющими устройствами всех серий тепловозов сводится к особенностям работы управляющей программы.

Система УСТА не имеет в своем составе дисплейных модулей и не обладает функциями диагностирования оборудования тепловоза. В расчетно-графической работе рекомендуется выбирать эту систему для маневровых и магистральных тепловозов с передачей постоянного тока.

### ***6.3.5 Система МСУ-Т***

Микропроцессорная система управления тепловозом МСУ-Т отличается более совершенной элементной базой. Использование современных научно-технических разработок обеспечивает высокие потребительские качества системы МСУ-Т, которые соответствуют лучшим зарубежным аналогам.

Применение системы МСУ-Т на тепловозе позволило исключить из схемы его управления все промежуточные реле включения исполнительных аппаратов тепловоза, а также реле времени. Установка в кабине машиниста дисплейных модулей (ДМ) предоставила возможность отказаться от использования пультовых амперметров, электроманометров и термометров, за исключением приборов контроля тормозного оборудования.

Теперь, находясь в кабине, локомотивная бригада имеет возможность контролировать на ДМ практически все параметры основных и вспомогательных систем тепловоза. В случае возникновения какой-либо неисправности, а также при несанкционированной работе исполнительного аппарата и выходе за предельно допустимое значение любого из опрашиваемых параметров, на ДМ индицируется аварийно-предупредительное сообщение с указанием неисправности.

МСУ-Т выполняет большой перечень функций. Важная функция МСУ-Т – автоматическая диагностика основного и вспомогательного оборудования тепловоза. Микропроцессорная система выдает на ДМ сообщения о неисправностях оборудования и отклонениях параметров систем тепловоза от нормы. По запросу обслуживающего персонала на ДМ отображаются параметры основного и вспомогательного оборудования тепловоза.

Система содержит конструктивно законченные функциональные части (рис. 6.21): устройство обработки информации (УОИ), два дисплейных модуля с клавиатурой (ДМ), измеритель температуры (ИТ), по два вольтдобавочных устройства (ВДУ), электронных контроллера машиниста (КМ) и регулятора напряжения стартер-генератора (РНВГ) – основной и резервный, а также энергонезависимое запоминающее устройство (ЭЗУ). Дополняется система комплектом датчиков, преобразователей и кабелей. Предусмотрено прикладное программное обеспечение.

Устройство обработки информации (УОИ) – главное устройство системы. Оно предназначено для реализации всех программных алгоритмов (управления электрической схемой, регулирования параметров электрической передачи, диагностики бортового оборудования). Конструктивно УОИ представляет собой шкаф с электронными блоками, который расположен в дизельном помещении на внешней стене первой кабины тепловоза. Внешние разъемы УОИ подключены к электрической схеме локомотива, датчикам и преобразователям системы. Устройство разработано на базе одноплатного промышленного компьютера для мобильных применений.

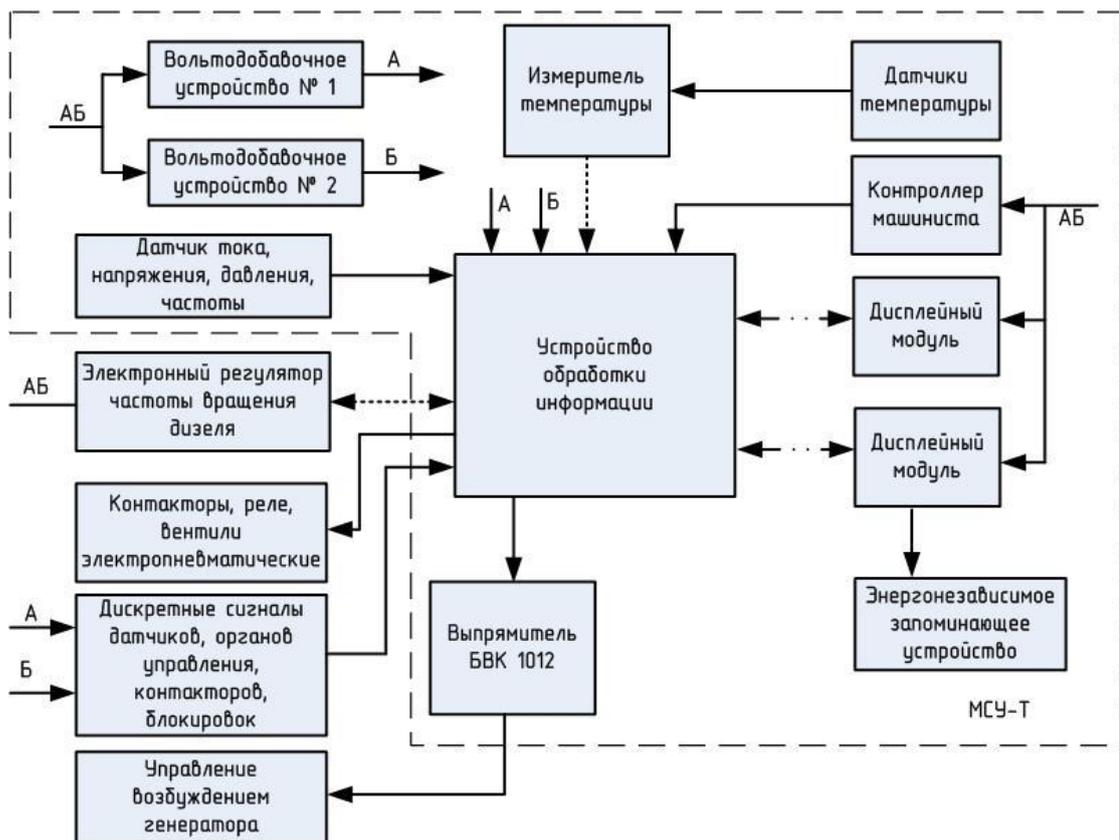


Рис. 6.21. Структура микропроцессорной системы управления и диагностики (МСУ-Т)

Система МСУ-Т выполняется помимо базового еще в двух вариантах: МСУ-ТП – с поосным регулированием силы тяги (рис. 6.22), и МСУ-ТЭ – с функциями управления энергоснабжением пассажирского поезда (рис. 6.23).

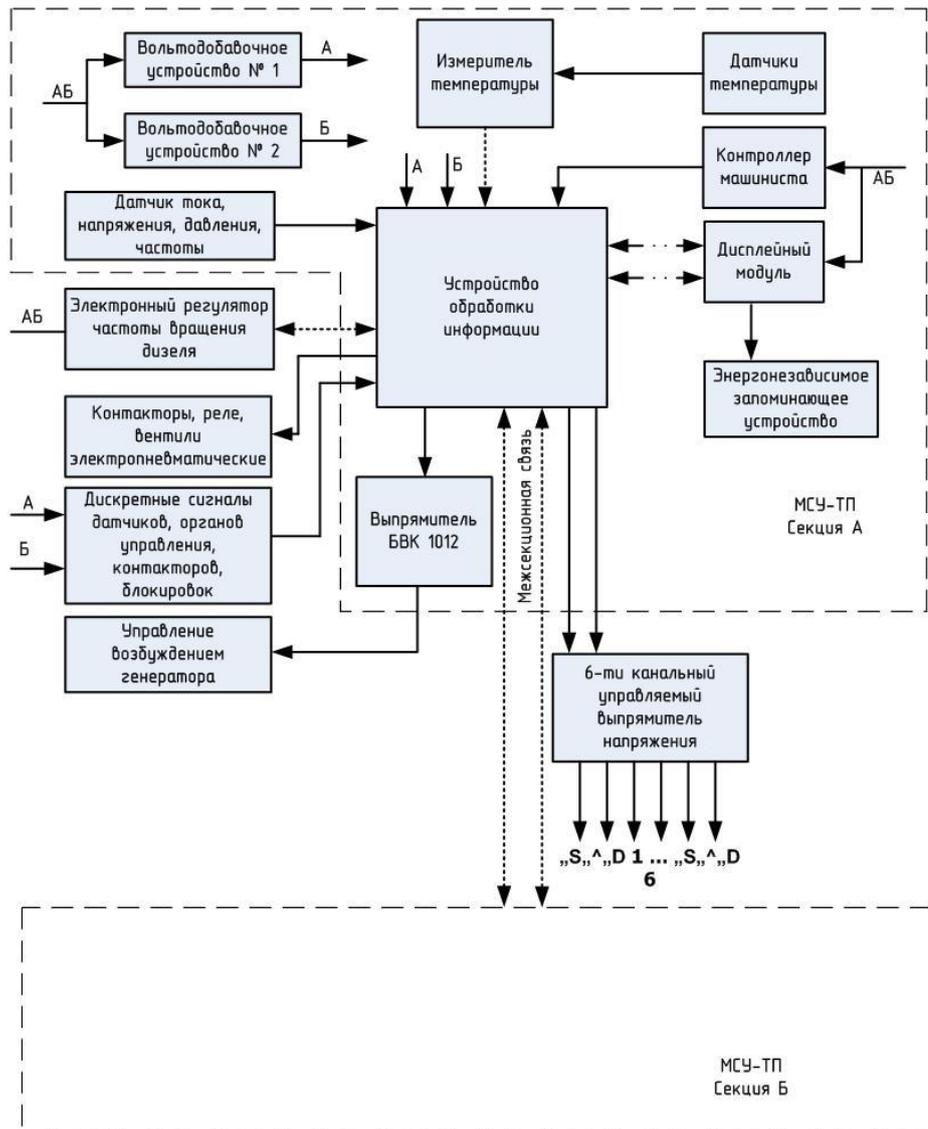


Рис. 6.22. Структура микропроцессорной системы управления и диагностики МСУ-ТП: АБ – аккумуляторная батарея тепловоза

Функции, выполняемые системами МСУ-Т (МСУ-ТП, МСУ-ТЭ) на тепловозе:

- бесконтактное управление электрической схемой тепловоза во всех режимах работы;
- управление пуском и остановкой дизеля по команде машиниста, с соблюдением всех временных интервалов;
- блокировка пуска дизеля при включенном валоповоротном механизме, отсутствии давления масла и топлива до окончания времени предпусковой прокачки дизеля маслом, при установке контроллера машиниста на позицию, отличную от 0-й, наличии сигнала «Пожар»;
- автоматическая остановка дизеля при наличии сигнала «Пожар», при наличии сигнала давления газов в картере дизеля, при наличии сигнала «Аварийный останов дизеля»;

- задание частоты вращения вала дизеля в зависимости от позиции контроллера машиниста;
- автоматическое снятие нагрузки дизеля при превышении предельно допустимой температуры воды и масла;
- автоматическое снижение мощности тяговой выпрямительной установки пропорционально количеству отключенных тяговых электродвигателей;
- защита турбокомпрессора от помпажа при резком сбросе позиций контроллера машиниста;

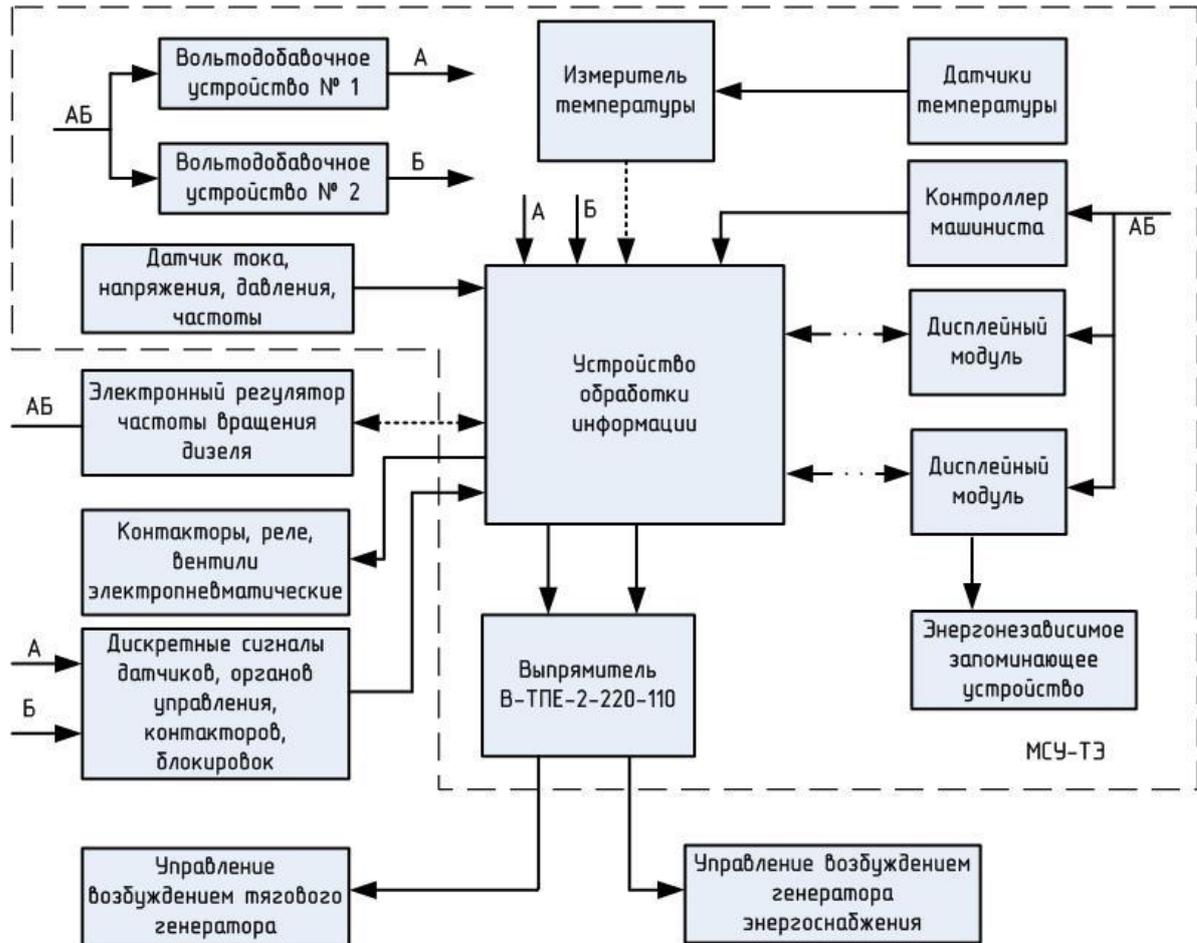


Рис. 6.23. Структура микропроцессорной системы управления и диагностики МСУ-ТЭ: АБ – аккумуляторная батарея тепловоза

- управление выпрямителями возбуждения тягового генератора и генератора энергоснабжения (МСУ-ТЭ);
- управление выпрямителем возбуждения тягового генератора (МСУ-Т, МСУ-ТП);
- управление 6-канальным тяговым выпрямителем и обеспечение поосного регулирования силы тяги (МСУ-ТП);
- формирование внешних и нагрузочных характеристик тягового генератора в зависимости от частоты вращения вала дизеля;

- использование всей свободной мощности дизеля на тягу поезда за счет наличия датчика положения органов топливоподачи электронного регулятора дизеля;
- автоматическое соблюдение ограничений напряжения и тока тягового генератора и тяговых электродвигателей в режимах тяги и электрического тормоза;
- обеспечение управления двухсекционным режимом работы тепловоза (МСУ-ТП);
- автоматическая защита силовых выпрямительных установок от перегрузок;
- автоматический контроль изоляции низковольтных и силовых цепей, автоматический сброс нагрузки при нарушении изоляции силовых цепей;
- автоматическое управление контакторами ослабления возбуждения тяговых электродвигателей;
- обеспечение управления электрическим торможением тепловоза от контроллера машиниста и от тормозного крана №395;
- формирование характеристик электрического тормоза с учетом заданных ограничений;
- обеспечение взаимодействия электрического и пневматического тормозов;
- автоматическое управление замещением электрического тормоза пневматическим при неисправностях или низкой эффективности электрического тормоза;
- поддержание заданной с контроллера машиниста скорости движения поезда при электрическом торможении тепловоза;
- обеспечение проверки исправности электрического тормоза на стоящем тепловозе;
- автоматическое обеспечение защит от боксования, юза и срыва шестерни тягового электродвигателя;
- регулирование напряжения вспомогательного генератора по заданному закону при включенном и выключенном энергоснабжении поезда;
- управление перераспределением мощности между тяговым генератором и генератором энергоснабжения поезда на рабочих позициях контроллера машиниста (МСУ-ТЭ);
- обеспечение автоматических защит электрооборудования тепловоза в различных режимах работы;
- управление автопрогревом дизеля в холодное время года;
- автоматическая диагностика основного и вспомогательного оборудования тепловоза;
- автоматическая выдача на ДМ сообщений о неисправностях оборудования и отклонении параметров систем тепловоза от нормы;
- отображение на ДМ по запросу обслуживающего персонала параметров основного и вспомогательного оборудования тепловоза.

**Библиографический список**

- 1 Электрооборудование тепловозов. Справочник / В.С. Марченко, А.А. Сергеев, В.Т. Иванченко [и др.]. – М. : ИКЦ «Академкнига», 2003. – 248 с.
- 2 **Вилькевич, Б.И.** Электрические схемы тепловозов. ЗТЭ10М, 2ТЭ10М, 2ТЭ10В, 2ТЭ10Л, ТЭП60 / Б.И. Вилькевич. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Транспорт, 1988. – 221 с.
- 4 **Быков, В.Г.** Тепловоз ТЭП70 / В.Г. Быков. – М. : Транспорт, 1976. – 321 с.
- 5 **Нотик, З.Х.** Электрическая схема тепловоза ЧМЭЗ / З.Х. Нотик. – М. : Транспорт, 1973. – 73 с.
- 6 **Бородин, А.П.** Электрическое оборудование тепловозов: учебник для средних ПТУ / А.П. Бородин. – М. : Транспорт, 1988. – 287 с.

*Учебное издание*

**Шапшал Александр Сергеевич**  
**Жулькин Михаил Николаевич**  
**Зарифьян Александр Александрович**  
**Гребенников Николай Вячеславович**  
**Донченко Андрей Владимирович**  
**Больших Иван Валерьевич**  
**Талахадзе Темур Зурабович**

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС  
СПЕЦИАЛИЗАЦИИ «ЛОКОМОТИВЫ»**

Часть III

Редактор А.В. Артамонов  
Техническое редактирование и корректура А.В. Артамонова

Подписано в печать 18.05.15. Формат 60×84/16.  
Бумага офсетная. Ризография. Усл. печ. л. 10,0.  
Тираж 500 экз. Изд. № 2. Заказ .

Редакционно-издательский центр ФГБОУ ВПО РГУПС.

---

Адрес университета: 344038, г. Ростов н/Д, пл. Ростовского Стрелкового  
Полка Народного Ополчения, 2