

РОСЖЕЛДОР
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Ростовский государственный университет путей сообщения»
(ФГБОУ ВО РГУПС)

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС СПЕЦИАЛИЗАЦИИ
«ЛОКОМОТИВЫ»

Сборник учебно-методического материала
для самостоятельной работы и лабораторных занятий студентов
по дисциплинам кафедры «Локомотивы и локомотивное хозяйство»



Ростов-на-Дону
2017

Рецензент – доктор технических наук, профессор А.Д. Петрушин

Учебно-методический комплекс специализации «Локомотивы»: сборник учебно-методического материала для самостоятельной работы и лабораторных занятий студентов по дисциплинам кафедры «Локомотивы и локомотивное хозяйство» / А.С. Шапшал, Т.З. Талахадзе, М.Н. Жулькин [и др.]; под ред. А.С. Шапшала; ФГБОУ ВО РГУПС. – Ростов н/Д, 2017. – 253 с.: ил.

Содержится учебно-методический материал для самостоятельной работы и лабораторных занятий студентов по дисциплинам, читаемым кафедрой «Локомотивы и локомотивное хозяйство». Учебно-методические разработки, включенные в данный сборник, написаны в соответствии с учебными планами.

Предназначен для студентов железнодорожных вузов, обучающихся по специальностям: 23.05.03 «Подвижной состав железных дорог», для специализаций: «Локомотивы», «Электрический транспорт», «Вагоны», «Высокоскоростной наземный транспорт», «Технология производства и ремонта подвижного состава», всех форм обучения; 23.05.04 «Эксплуатация железных дорог», специализаций: «Грузовая и коммерческая работа», «Магистральный транспорт», «Пассажирский комплекс железнодорожного транспорта», «Транспортный бизнес и логистика», всех форм обучения.

Авторский коллектив: А.С. Шапшал, Т.З. Талахадзе, М.Н. Жулькин, В.М. Коротков, С.А. Шапшал, И.В. Больших, А.В. Донченко, А.А. Зарифьян, А.Е. Богославский, Н.В. Гребенников, А.А. Зарифьян (мл.), А.В. Илларионов.

ОГЛАВЛЕНИЕ

1 «Автоматика и автоматизация локомотивов» («Автоматизация управления локомотивами», «Спецкурс № 1»)	4
2 Энергетические установки и оборудование подвижного состава («Локомотивные энергетические установки»)	21
3 «Общий курс подвижного состава и железных дорог (Часть 3)» («Подвижной состав железных дорог (Часть 3)»)	33
4 Теория и конструкция локомотивов	55
5 «Теория тяги поездов», «Подвижной состав и тяга поездов»	93
6 «Организация производства»	97
7 «Локомотивное хозяйство»	99
8 «Информационные технологии при эксплуатации и ремонте подвижного состава» («Информационные технологии и системы диагностирования при эксплуатации и обслуживании автономных локомотивов», «Информационные технологии и системы диагностирования и неразрушающего контроля при производстве и ремонте подвижного состава»)	103
9 «Эксплуатация и техническое обслуживание подвижного состава (Часть 2)»	137
10 «Правила технической эксплуатации»	139
11 «Электрическое оборудование локомотивов» («Спецкурс № 2», «Электрические аппараты и схемы локомотивов»)	143
12 «Электрические передачи локомотивов»	183
13 «Моделирование и динамика систем подвижного состава» («Математическое моделирование систем подвижного состава»)	234

1 «АВТОМАТИКА И АВТОМАТИЗАЦИЯ ЛОКОМОТИВОВ» («АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ЛОКОМОТИВАМИ», «СПЕЦКУРС № 1»)

Введение

Современный тепловоз является сложным энергетическим объектом, где использованы достижения дизелестроения, электромашиностроения, полупроводниковой техники и т. д. Практически, без применения различных автоматических устройств машинист уже не в состоянии поддерживать оптимальные режимы работы различных агрегатов и узлов тепловоза. Поэтому автоматизация работы систем современных локомотивов является важнейшим фактором их эффективного использования и повышения надежности.

Исследование работы индуктивного датчика тепловоза

Цель работы

Изучение конструкции, принципа действия и исследование характеристик индуктивного датчика.

Краткие теоретические сведения

Индуктивный датчик состоит из цилиндрического корпуса 1, в котором размещена катушка 2, и ферромагнитного сердечника 3.

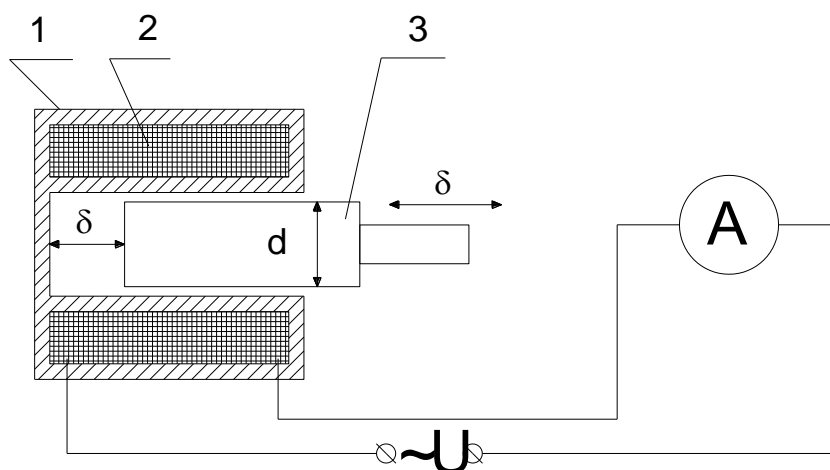


Схема испытания индуктивного датчика

Катушка включена в цепь переменного тока. Индуктивное сопротивление катушки намного больше её активного сопротивления и зависит от положения ферромагнитного сердечника. Когда сердечник вдвинут в катушку ($\delta = 0$) индуктивное сопротивление её максимальное, а ток – минимальный. Чем больше выдвинут сердечник из катушки, тем меньше индуктивное сопротивление и больше ток.

Входной координатой индуктивного датчика является величина воздушного зазора δ , т.е. величина выхода сердечника из катушки, выходной – ток I при заданном постоянном напряжении питания U_∞ .

Изменение тока $I = \frac{U_\infty}{Z}$ соответствует изменению кажущегося сопротивления катушки индуктивного датчика, выраженного формулой

$$Z = \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2},$$

где R – активное сопротивление цепи, равно $R_k + R_n$;

R_k – активное сопротивление катушки;

ω – угловая частота переменного тока;

L – индуктивность электромагнитной системы датчика. Индуктивность L при незначительном потоке рассеяния можно определить по формуле

$$L = \frac{\omega^2}{Z_i^2},$$

где Z_m – магнитное сопротивление индуктивного датчика;

$$Z_i = \sqrt{(R_\alpha + R_\delta)^2 + X_i^2},$$

$R_\alpha = \frac{l}{\mu s}$ – активное сопротивление магнитопровода;

l, s – длина и сечение магнитопровода;

$R\delta = \frac{1}{\mu_0 G}$ – магнитное сопротивление воздушного зазора;

$G = \frac{\pi d^2}{4\delta}$ – геометрическая проводимость воздушного зазора;

X_M – реактивная составляющая магнитного сопротивления, учитывающая потери на гистерезис и вихревые токи;

μ_1 – относительная магнитная проницаемость; μ_0 – магнитная проницаемость вакуума;

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{Гн}{м}$ – абсолютная магнитная проницаемость.

Порядок выполнения работы

1 Собрать схему испытания индуктивного датчика на стенде (см. рис.).

2 Сердечник индуктивного датчика вставить в катушку до упора и подать на схему напряжение.

3 Снять характеристику индуктивного датчика $I = f(\delta)$. Для этого, поддерживая постоянным напряжение питания, сердечник 3 устанавливать в новые положения и снимать соответствующие этим положениям показания амперметра.

Соответствующие значения δ и I занести в таблицу

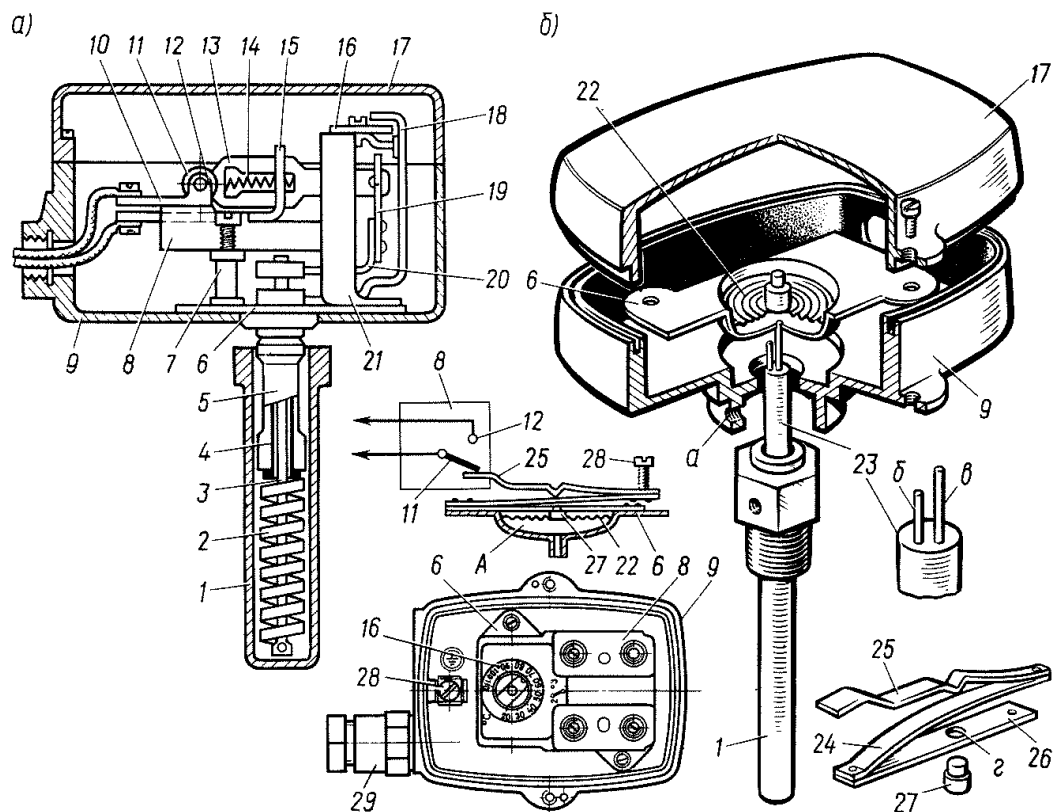
$\delta(мм)$	0	5	10	15	20	25	30	40	50	55
$I(А)$										

4 По данным таблицы построить график функции $I = f(\delta)$ и сделать соответствующие выводы.

Исследование системы автоматического регулирования температуры теплоносителей тепловоза ЧМЭЗ

Автоматическое управление холодильником тепловоза осуществляется с помощью термореле РТЖ1, РТЖ2 и РТЖ4.

Необходимо составить структурную схему системы автоматического регулирования температуры теплоносителей тепловоза ЧМЭЗ.

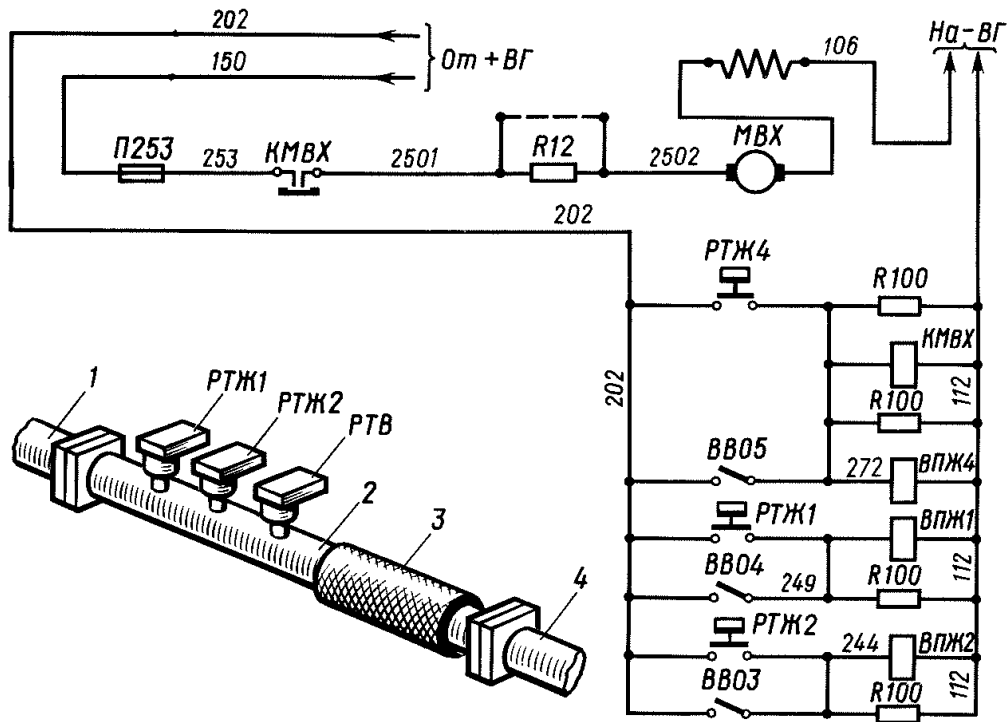


1— защитный кожух; 2— биметаллическая спираль; 3— стержень; 4— трубка; 5— направляющая втулка; 6— стальная пластина; 7— стойка; 8— панель; 9— корпус; 10, 15— латунные пластины; 11, 12— подвижной и неподвижный контакты; 13— рычаг; 14— пружина; 16— шкала; 17— крышка; 18— поворотный рычаг; 19— рамка; 20— поводок; 21— фигурная стойка; 22— мембрана; 23— термобаллон; 24, 26— пластинки; 25— качалка; 27— шпенец; 28— регулировочный винт; 29— штуцер; А— камера; а, з — отверстия; б, в — трубочки

Для ручного управления холодильником служит режимный переключатель «Регулятор мощности и охлаждения шкнчтыс контакты ВВ03, ВВ04 и ВВ03 переключателя, находящаяся в положении «Автоматика управления холодильником выключена», шунтируют контакты термореле.

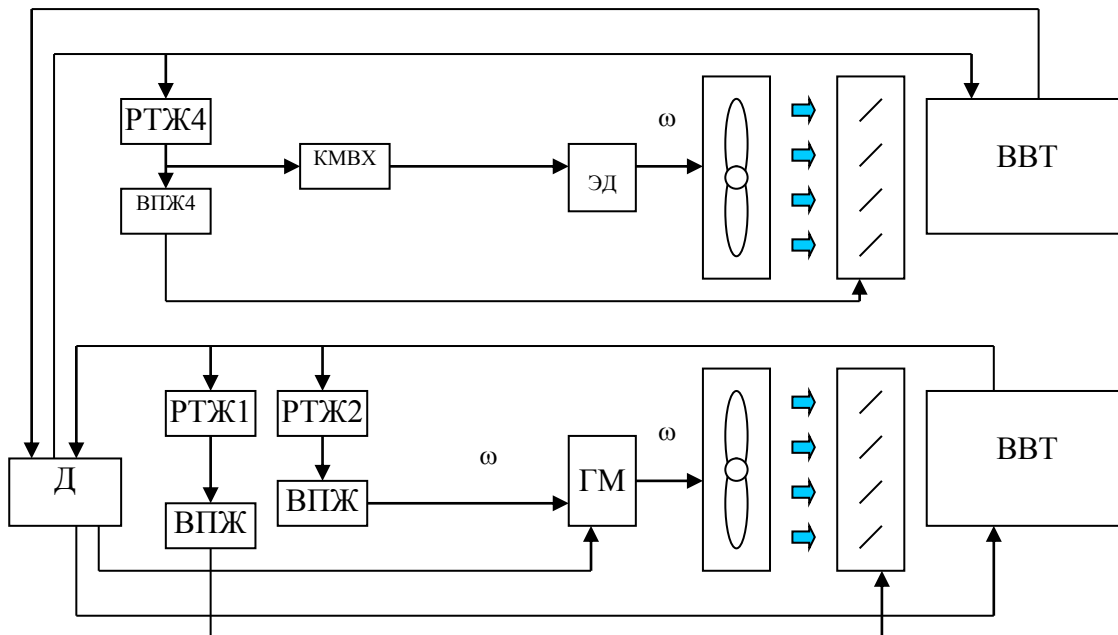
Следует иметь в виду, что этот переключатель при пуске дизеля должен быть в положении «Включено». Этим предотвращается нежела-

тельное для нормального пуска включение контактора *KMBX* (в том случае, если Переключатель выключен)



Включение термореле в системе охлаждения теплоносителей тепловоза ЧМЭЗ

САР температуры теплоносителей тепловоза ЧМЭЗ



Структурная схема автоматического регулирования температуры теплоносителей тепловоза ЧМЭЗ:

Д – дизель; РТЖ1 ... РТЖ4 – термореле; ВВТ – водовоздушный теплообменник; ЭД – электродвигатель; ГМ – гидромурфта; КМВХ – контактор мотор-вентилятора холодильника

Система автоматической защиты от боксования тепловоза 2ТЭ10М

Боксование колесных пар в режиме тяги.

Боксование колесных пар в режиме тяги и юз при электрическом торможении нарушают режим работы локомотивов, ограничивая силу тяги или торможения, повышают вероятность нарушения коммутации тяговых электродвигателей. Склонность колесных пар к боксованию и юзу существенно зависит от жесткости тяговой (тормозной) характеристики. Боксование вызывает падение силы тяги: при последовательном соединении двигателей сила тяги падает на всех колесных парах, связанных с двигателями последовательной цепи. Боксование особенно сильно влияет на работу грузовых локомотивов при ведении поездов на подъемах с силой тяги, близкой к предельной по сцеплению, и часто ограничивает весовую норму поезда. Юз лимитируя тормозную силу и снижая эффективность электрического торможения, не определяет веса поезда, поскольку возможно комбинированное торможение: электрическое и механическое вагонов. При большом числе моторных вагонов на электропоездах боксование отдельных колесных пар мало снижает общую силу тяги. Кроме того, здесь сила тяги приближается к максимальной по сцеплению только в режиме пуска, и боксование обычно лишь несколько понижает ускорение поезда. Однако боксование во время автоматического пуска, вызывая падение тока в цепях тяговых электродвигателей, сопровождается срабатыванием реле ускорения и преждевременным переходом на следующие пусковые ступени. Такое действие реле ускорения усиливает скольжение боксующей колесной пары и может вызвать боксование других колесных пар моторного вагона, поскольку двигатели в других параллельных цепях при этом перегружаются. Начавшееся боксование или юз могут быть прекращены несколькими способами.

Самый простой способ прекращения боксования или юза колесных пар – это увеличение силы сцепления колеса и рельса за счет подачи песка под колесные пары. Применяется ручное управление песочницами по усмотрению машиниста и автоматическая подача песка по сигналу специальных реле. При автоматическом управлении обычно сохраняется и ручное для профилактической подачи песка в особо тяжелых случаях – трогание поезда на подъемах, при особо загрязненных рельсах и в кривых малых радиусов. Хотя подача песка с зону контакта колеса и рельса способствует повышенным износам бандажей колесных пар и рельсов. Боксование может быть прекращено торможением колесных пар прямодействующим тормозом. Этот способ иногда используется машинистами, но он малоэффективен ввиду медленного действия. Прекратить боксование можно, уменьшив силу тяги, развиваемую тяговыми электродвигателями, ниже силы трения скольжения колеса и рельса. Для этого необходимо перейти на низшие ступени регулирования, что производит машинист, определив начало боксования на слух, по измерительным приборам или по сигналу реле боксования. Однако понижается сила тяги всех двигателей, а не только боксующих колесных пар, т. е. прекращение боксования таким способом на локомотивах обычно сопровождается понижением скорости. Применяют и автоматические системы, которые действуют по сигналу реле боксования.

Для обнаружения и прекращения боксования колесных пар путем воздействия на систему автоматического регулирования напряжения тягового генератора на тепловозах служит реле боксования. На всех современных тепловозах принцип работы реле боксования аналогичен – они реагируют на разность частоты вращения боксующих и не боксующих колесных пар путем сравнения потенциалов в характерных точках силовой цепи.

При возникновении боксования (увеличение частоты вращения якоря) из-за увеличения противо-ЭДС боксующего электродвигателя уменьшается ток, протекающий по цепи данного электродвигателя. Это является

причиной уменьшения падения напряжения на контролируемом участке силовой цепи. Появляется разность потенциалов между точками подключения катушки реле боксования, которая приводит к срабатыванию последнего. Блокировочные контакты, воздействуя на цепи возбуждения, снижают напряжение тягового генератора и тем самым прекращается возникшее боксование. Далее с заданным темпом восстанавливается напряжение и мощность тягового генератора.

На тепловозах ТЭМ1 и ТЭМ2 катушка реле боксования включается в цепь в диагональ моста, образованного якорями тяговых электродвигателей и дополнительных резисторов.

При отсутствии боксования якоря тяговых электродвигателей вращаются примерно с одинаковой частотой вращения. При этом потенциалы точек подключения катушки реле боксования одинаковы и уравнительного тока, протекающего по катушке, нет.

При боксовании колесной пары частота вращения ее и соответствующего якоря тягового электродвигателя возрастает, что приводит к известному увеличению противо-ЭДС. Для уравнивания данной противо-ЭДС на зажимах тягового электродвигателя боксующей колесной пары возрастает напряжение и соответственно уменьшается напряжение на зажимах тягового электродвигателя небоксующей колесной пары. Потенциалы точек соединения вспомогательных резисторов остаются прежними. Это вызывает разность потенциалов между точками соединения выводов катушки реле боксования.

Например, при боксовании 1 колесной пары падение напряжения на якоре 1-го тягового электродвигателя возрастает, потенциал точки соединения якорей тяговых электродвигателей снижается, что вызывает протекание тока $+i_{ур}$ по катушке реле боксования. При боксовании 2-й колесной пары ток в катушке будет иметь обратное направление $-i_{ур}$. При токе любого направления около 0,05 А реле срабатывает, а при токе 0,045 А – отпадает.

При отсутствии боксования ток в каждом из двух тяговых электродвигателей одинаков (с определенным допуском на расхождение характеристик) и ток в катушке реле боксования незначителен. Реле находится в выключенном состоянии.

При боксовании колесной пары частота вращения якоря тягового электродвигателя возрастает, что способствует увеличению противо-ЭДС и снижению тока в его цепи.

Например, при боксовании 1-й колесной пары уменьшается ток в цепи ее тягового электродвигателя, потенциал точки подключения дополнительных полюсов уменьшается, и ток $+i_{ур}$ пойдет через катушку реле боксования, а при боксовании 2-й колесной пары наоборот $-i_{ур}$. При токе любого направления, превышающем заданную величину, реле срабатывает.

На тепловозах ТЭМ2, 2М62, 2ТЭ10Л размыкающие контакты реле боксования включены в цепь катушки контактора ВВ. При срабатывании реле боксования эти контакты разрывают цепь катушки контактора ВВ. Выключение контактора ВВ уменьшает ток обмотки возбуждения и мощность тягового генератора, что способствует прекращению боксования и отпусканию реле. Вновь включается контактор ВВ, увеличивая возбуждение и мощность до исходного уровня.

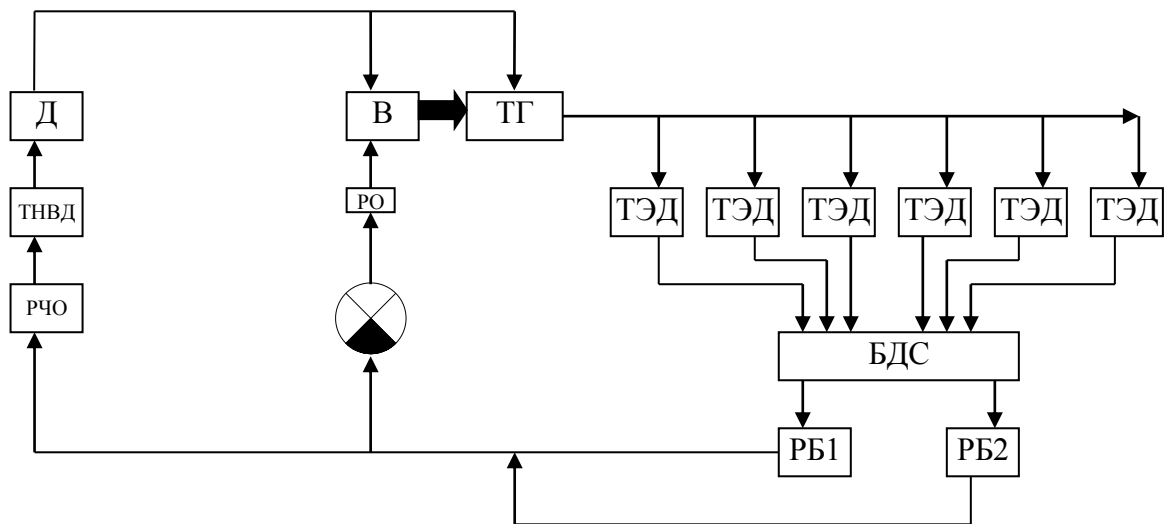
Вследствие большой индуктивности обмоток возбудителя и тягового генератора периодическое выключение возбуждения возбудителя не вызывает резкого снижения силы тяги тепловоза, а лишь ее уменьшение. Замыкающие контакты реле боксования создают цепь питания звукового сигнала, предупреждающего машиниста о возникшем боксовании колесных пар. Другие контакты дополнительно включают сигнальную лампу на пульте машиниста.

На тепловозах 2ТЭ116 и ТЭП70 реле боксования включается на выход схемы сравнения, которая состоит из диодов, включенных в 12 плеч. Плечи схемы сравнения подсоединены к минусовым щеткодержателям тя-

говых электродвигателей через вспомогательные контакты поездных контактов П1...П6.

При отсутствии боксования и приблизительно одинаковых токах в цепи электродвигателей ток на выходе схемы сравнения и в катушке реле боксования равен нулю. При возникновении боксования от одной до пяти колесных пар в схеме сравнения появляется уравнивающий ток, который вызывает срабатывание реле боксования.

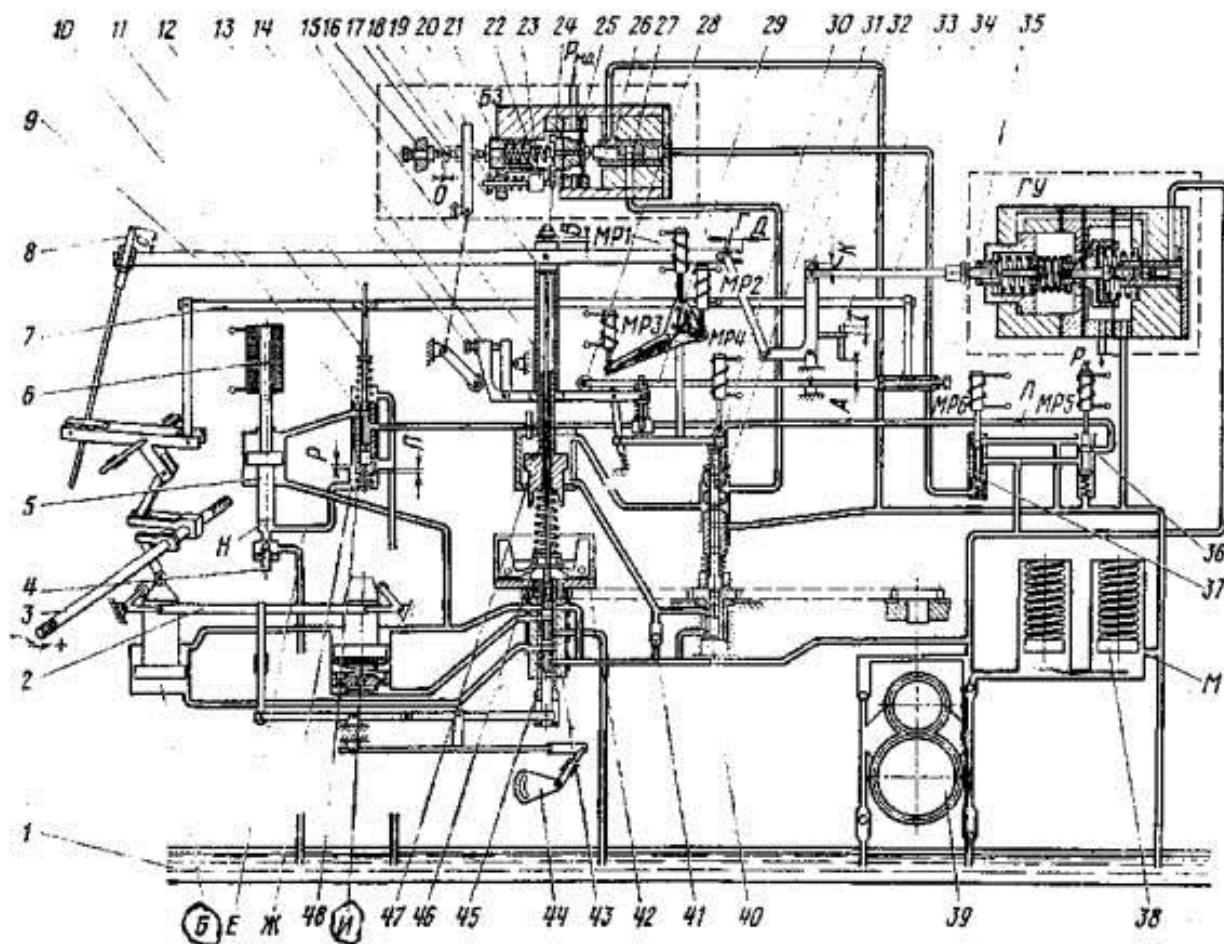
САЗ от боксования 2ТЭ10М



ТГ – тяговый генератор; Д – дизель; ТНВД – топливный насос высокого давления; БДС – блок диодов сравнения; В – возбудитель; РЧО – регулятор частоты оборотов коленвала дизеля; РБ – реле боксования

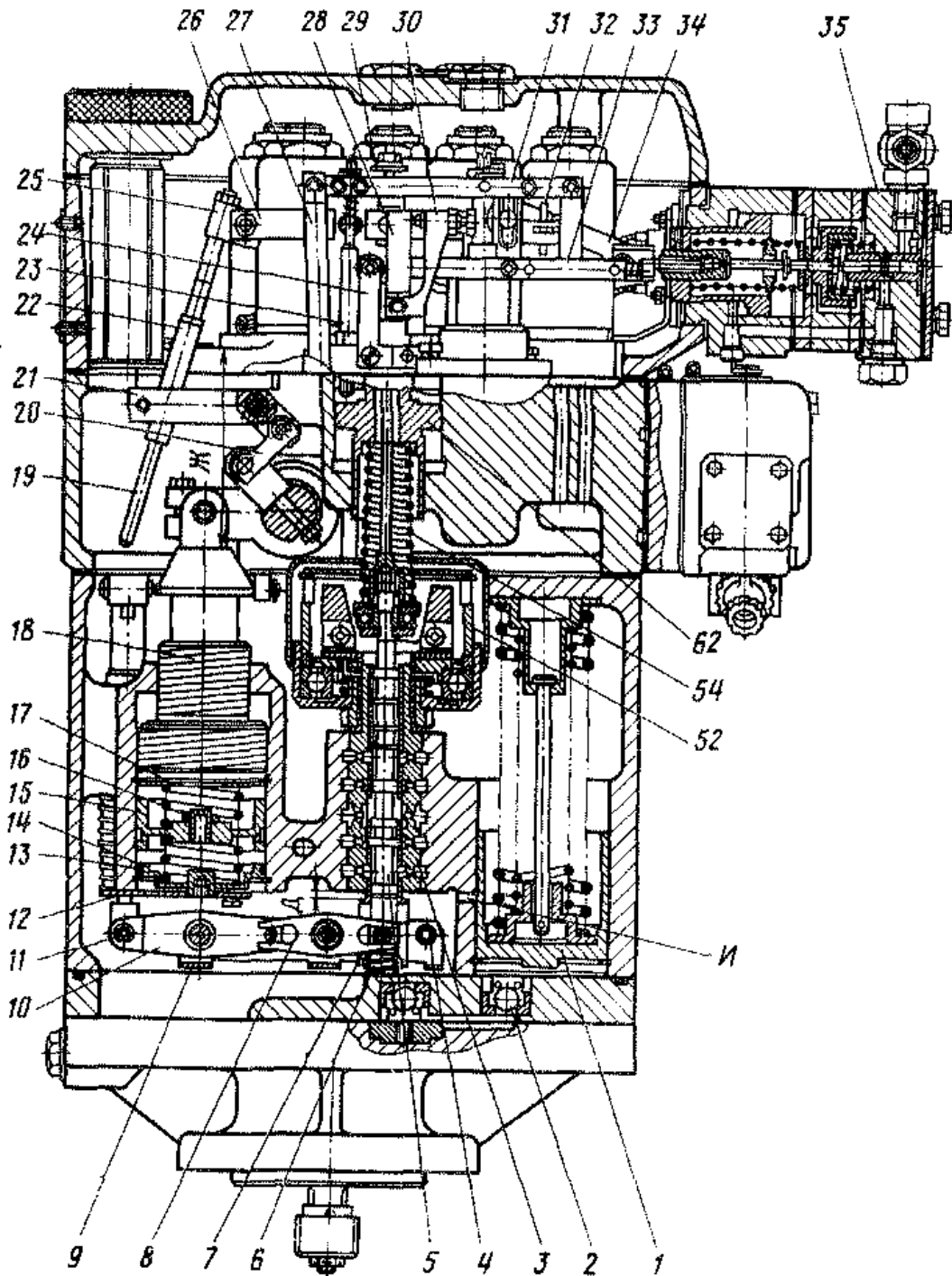
Исследование объединенного регулятора

Объединенный всережимный непрямого действия гидромеханический регулятор 4-7РС-2 (рис. 4 и 5) с центробежным измерителем скорости и автономной масляной системой автоматически поддерживает заданный режим работы дизеля.



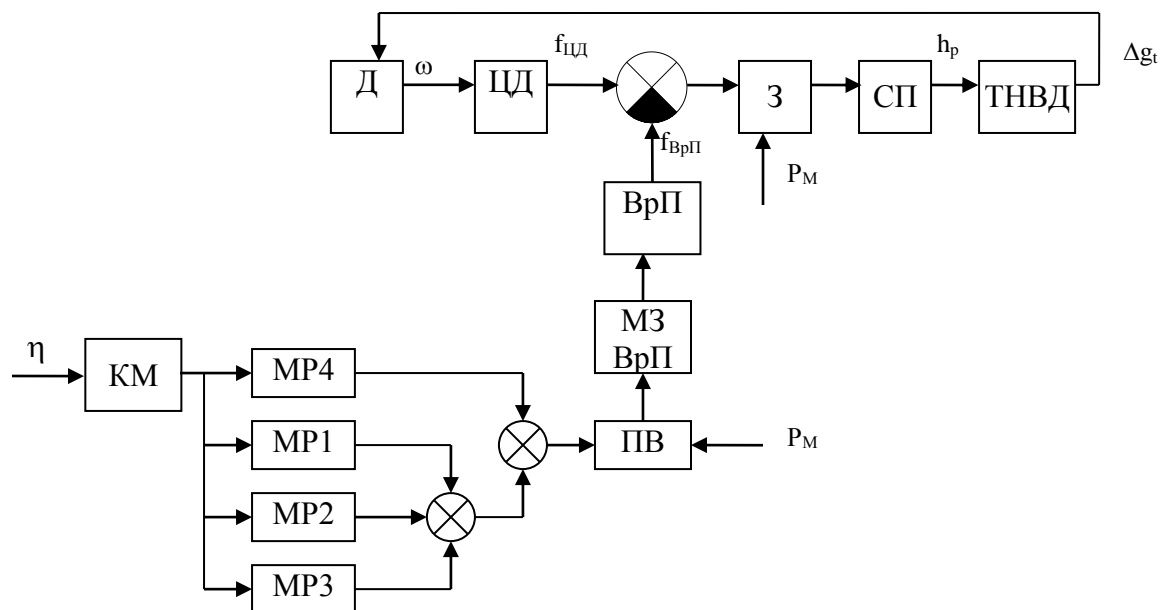
Объединенный регулятор

На дизель-генераторы 1А-9ДГ тепловозов 2ТЭ116 до № 740 устанавливали объединенные регуляторы 7РС-2, которые не имели устройств для ограничения подачи топлива в зависимости от давления наддувочного воздуха и защиты дизеля от падения давления масла.



На дизель-генераторах 1А-9ДГ тепловозов с № 740 до 800 были объединенные регуляторы 3-7РС-2, которые уже имели устройство ограничения подачи топлива в зависимости от давления наддува, но не имели устройства защиты дизеля по давлению масла. Регуляторами 4-7РС-2 оборудовались дизель-генераторы 1А-9ДГ тепловозов с № 801 и все дизель-генераторы 1А-9ДГ-2. С сентября 1994 г. на дизель-генераторы 1А-9ДГ-2 устанавливают усовершенствованный регуляторы 3М-7РС-2, конструктивная схема которых аналогична схеме регулятора 4-7РС-2.

САР регулирования частоты вращения коленвала дизеля тепловоза 2ТЭ116



Д – дизель; ЦД – центробежный датчик; ВрП – всережимная пружина; З – золотник; СП – сервопривод; ТНВД – топливный насос высокого давления; МЗ ВрП – механизм затяжки всережимной пружины; МР1 ... МР4 – тяговые магниты РЧО; КМ – контроллер машиниста; ПВ – подвижная втулка

Система автоматического регулирования напряжения вспомогательного генератора тепловоза 2ТЭ-116

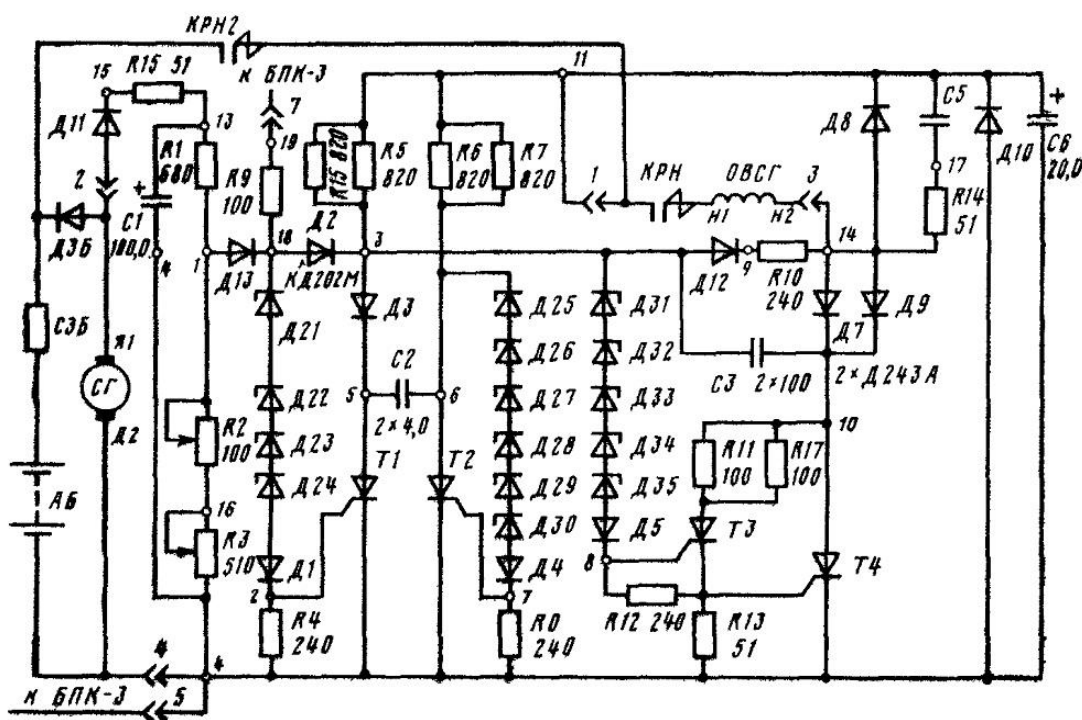
Регулятор напряжения тиристорный РНТ-6 на тепловозе 2ТЭ116 г

Регулятор напряжения тиристорный РНТ-6 предназначен для поддержания в заданных пределах напряжения стартер-генератора в генераторном режиме при изменениях в широких пределах его частоты вращения и нагрузки и состоит из измерительного и регулирующего органов. Принципиальная электрическая схема блока приведена на рис. 161. В измерительном органе происходит сравнение регулируемого напряжения с эталонным. Он включает в себя стабилитроны Д21–Д24, на которых форми-

руется эталонное напряжение, подключенные к делителю напряжения R15, R1, R2, R3, питающемуся от стартер-генератора. Регулирующий орган преобразует поступающий с измерительного органа сигнал в серию импульсов, коэффициент заполнения которых пропорционален величине этого сигнала. Регулирующий орган состоит из двух мультивибраторов, собранных на тиристорах.

Вспомогательный мультивибратор собран на тиристорах T1 и T2, основной мультивибратор – на тиристорах T3–T4 и выполняет функции модулятора ширины импульсов. Тиристор T4 этого мультивибратора является одновременно выходным усилителем мощности. Тиристор T3 обеспечивает открытие тиристора T4 при пониженном напряжении аккумуляторной батареи во время пуска дизеля. С выхода усилителя импульс поступает в обмотку возбуждения стартер-генератора, где демодулируется с помощью диода Д8.

Регулятор напряжения тиристорный РНТ-6 тепловоза 2ТЭ116



Регулятор напряжения работает следующим образом. При включении контактора КРН2, его главные контакты подают напряжение от аккумуля-

муляторной батареи на стабилитроны Д25–Д30 и Д31–Д33, включенные в цепи управления тиристорами Т2 и Т3 соответственно. Происходит пробой указанных стабилитронов и возникающие при этом токи управления открывают оба тиристора. При открытии тиристора Т3 его анодный ток, проходя по цепи управляющего электрода тиристора Т4, в свою очередь открывает последний. При открытии тиристора Т4 тиристор Т3 закрывается, так как напряжение на нем становится меньше напряжения включения. Открытие тиристоров Т2 и Т4 создает цепи заряда конденсаторов С2 и С3–С4 и они заряжаются до напряжения аккумуляторной батареи. После пуска дизеля контактор регулятора напряжения (КРН) подает питание на обмотку возбуждения стартер-генератора, где появляется нарастающее напряжение. Схема регулятора рассчитана так, что при открытом тиристоре Т4 возбуждение достигает величины, при которой напряжение стартер-генератора превышает ПО В. При напряжении выше 110 В происходит пробой стабилитронов Д21–Д24 в цепи управляющего электрода тиристора 77 и последний открывается. После открытия тиристора 77 напряжение конденсаторов С3, С4 оказывается приложенным к тиристору Т4 в обратном направлении и поэтому тиристор Т4 закрывается. Одновременно через открывшийся тиристор 77 напряжение конденсатора С2 закрывает тиристор Т2. Конденсатор С2, разрядившись, перезаряжается от источника питания через тиристор 77 и резисторы R6, R7. При напряжении на конденсаторе С2, достаточном для пробоя стабилитронов Д25–Д30, открывается тиристор Т2. Разрядный импульс конденсатора С2 закрывает тиристор 77. После окончания разряда конденсатора С2 тиристор 77 снова открывается и зарядный импульс конденсатора С2 закрывает тиристор Т2.

Таким образом, в мультивибраторе, собранном на тиристорах 77 и Т2, возникают автоколебания с частотой f_1 определяемой постоянной времени цепи разряда конденсатора С2. При закрытии тиристора Т4 в обмотке возбуждения стартер-генератора возникает э. д. с. самоиндукции, которая препятствует резкому спаданию тока, разряжаясь через диод Д8. Умень-

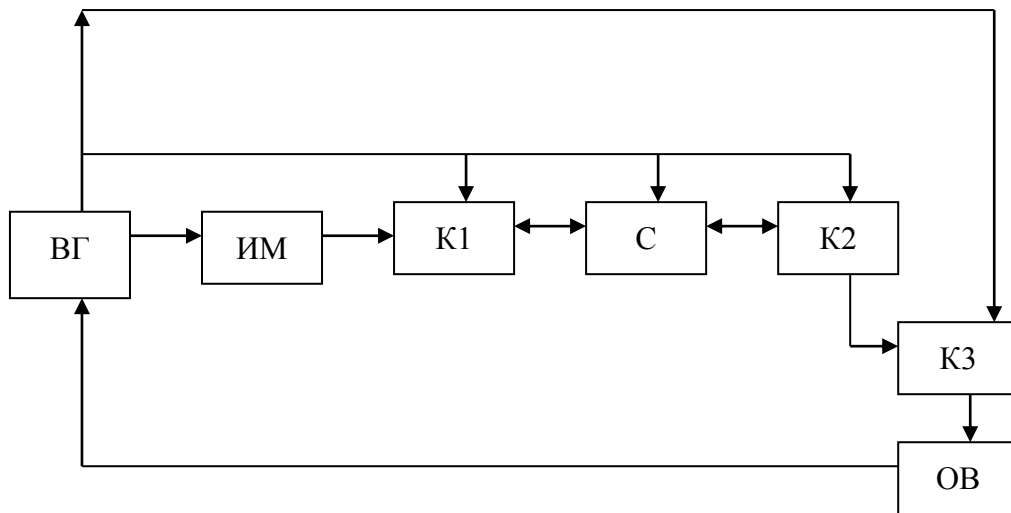
шение тока возбуждения приводит к снижению напряжения стартер-генератора. Когда оно станет несколько меньше 110 В, то напряжение на входе цепи управления тиристором 77 становится недостаточным для пробоя стабилитронов Д21–Д24 и тиристор 77 закрывается. Автоколебания вспомогательного мультивибратора прекращаются. С этого момента тиристор Т2 остается открытым, создавая цепь заряда конденсатора С2 через резисторы R5–R16. В процессе заряда конденсатора потенциал зажима 3 становится благодаря диоду Д2 выше потенциала измерительного органа и, когда он станет достаточным¹ для пробоя стабилитронов Д31–Д35, открывается тиристор Т3, затем Т4. Ток возбуждения увеличивается и напряжение стартер-генератора снова повышается, становясь несколько выше 110 В. Далее процесс повторяется.

Таким образом, при установившемся напряжении стартер – генератора возникает устойчивый автоколебательный режим мультивибратора на тиристорах Т1 и Т3–Т4 с частотой колебаний f_2 , определяемой параметрами цепи возбуждения генератора и схемы регулятора напряжения.

Среднее значение тока возбуждения стартер-генератора зависит от длительности открытого и закрытого состояния тиристора Т4 или от так называемой скважности импульсов тока через тиристор Т4. Чем меньше скважность этих импульсов, т. е. чем больше времени открыт тиристор, тем больше среднее значение тока возбуждения. При увеличении частоты вращения якоря стартер-генератора скважность импульсов тока через тиристор Т4 увеличивается, а среднее значение тока возбуждения уменьшается.

Чем точнее работа измерительного органа, чем быстрее действует система, тем меньше амплитуда колебаний напряжения относительно номинального.

Функциональная схема системы автоматического регулирования напряжения вспомогательного генератора тепловоза 2-ТЭ-116



ВГ – вспомогательный генератор; ИМ – измерительный мост; ВГ – вспомогательный генератор; К1 – ключ 1; К2 – ключ 2; К2 – ключ 2 (питание ОВ); С – конденсатор; ОВ – обмотка возбуждения вспомогательного генератор

2 ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ОБОРУДОВАНИЕ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА («ЛОКОМОТИВНЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ»)

Лабораторная работа № 1

Характеристики тепловозных дизельных двигателей

Для оценки технико-экономических и иных показателей работы тепловозных дизелей в широком диапазоне изменений условий эксплуатации и режимов нагружения служат характеристики.

Характеристиками дизеля называются зависимости (как правило, графические) между различными параметрами (показателями) двигателя при изменении режима работы силовой установки.

В лабораторных работах проводится построение нагрузочной, универсальной и скоростной характеристик при моделировании испытаний дизеля на компьютерной модели двигателя типа Д100.

Нагрузочная характеристика.

Нагрузочная характеристика – это графическая зависимость удельного расхода топлива, или коэффициента полезного действия, или какого-либо другого показателя работы дизеля от его мощности (или вращающего момента на валу) при постоянной частоте вращения коленчатого вала (рисунки 1).

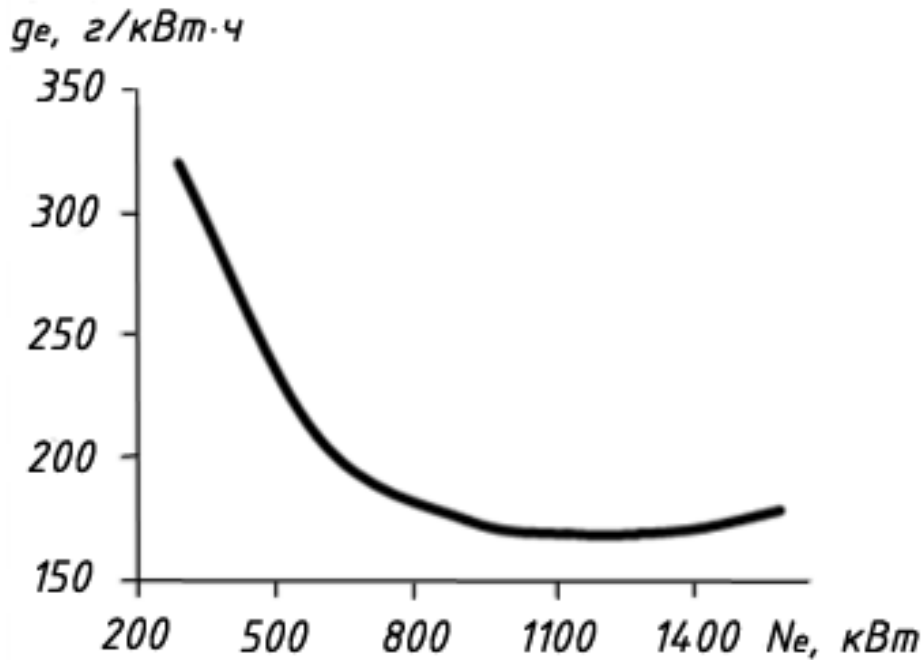


Рисунок 1 – Нагрузочная характеристика двигателя

Универсальная характеристика (или многопараметровая).

Универсальная характеристика – это графическая зависимость, которая одновременно определяет изменение трех или более связанных друг с другом параметров работы дизеля (рисунок 2). Это семейство кривых, соединяющих точки с одинаковыми значениями какого-либо показателя работы дизеля, который в данном случае больше всего интересует. На универсальную характеристику, приведенную на рисунке 2, наложены внешняя характеристика дизеля (1) и так называемая экономическая характеристика (2), которая проходит через точки, соответствующие нагрузкам с наименьшим удельным эффективным расходом топлива. Таким образом, универсальная характеристика дает наиболее наглядное представление об эксплуатационных свойствах дизеля. Она позволяет по двум параметрам, отложенным на осях координат, определить значение других показателей (по нанесенным на графике кривым). По универсальной характеристике легко определить наиболее экономичные режимы дизеля во всем диапазоне работы.

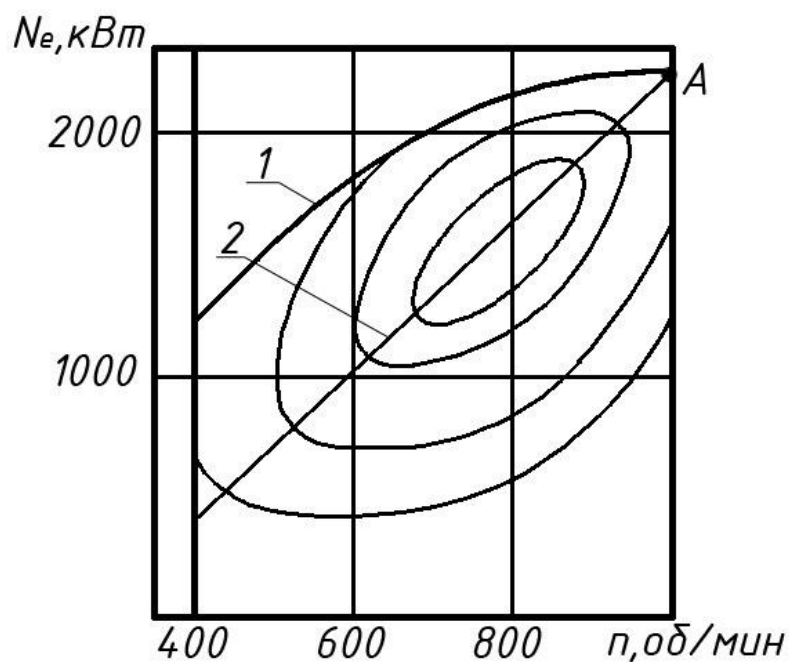


Рисунок 2 – Универсальная характеристика тепловозного дизеля

Скоростная характеристика.

Под скоростными характеристиками понимают зависимость показателей работы двигателя от частоты вращения коленчатого вала. Регулирование требуемой мощности дизеля при заданной частоте вращения осуществляется за счет изменения цикловой подачи топлива. Различают несколько характеристик:

а) внешняя скоростная характеристика (кривая 1). Внешней скоростной характеристикой называют зависимость изменений показателей двигателя от частоты вращения коленчатого вала при постоянном положении рейки ТНВД, соответствующем номинальной мощности.

б) частичная скоростная характеристика (кривые 3). Если по условиям движения локомотива при данной скорости требуется меньшая мощность, чем по внешней характеристике, то она может быть получена за счет изменения цикловой подачи топлива. В этом случае двигатель будет работать по частичной, скоростной характеристике.

в) ограничительная характеристика (кривая 2), устанавливает наибольшую допустимую мощность в зависимости от частоты вращения

при эксплуатации двигателя. В качестве ограничительных показателей для выбора этой характеристики могут быть использованы температуры газов перед турбиной турбокомпрессора, показатели дымности выпускных газов и другие величины, характеризующие механическую и тепловую напряженность тепловозного двигателя.

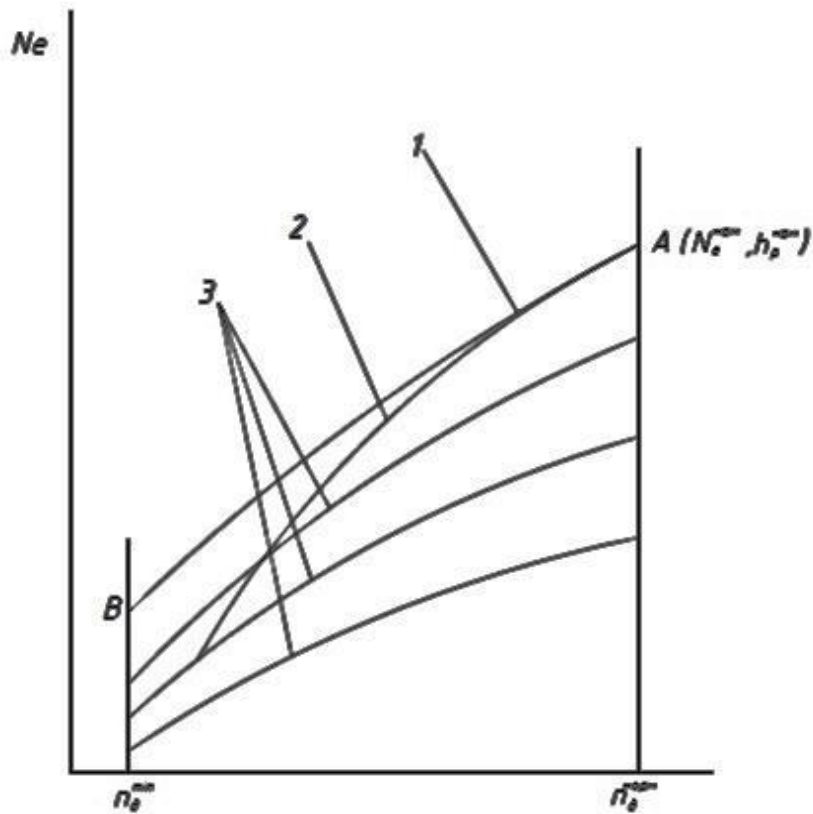


Рисунок 3 – Скоростная характеристика двигателя

Лабораторная работа № 2

Работа с компьютерной моделью дизеля типа Д100

Пользовательский интерфейс программы (рисунок 4) поделен на три части: поперечный разрез дизеля, область показателей работы двигателя и два поля графиков, отображающих зависимости между этими показателями.

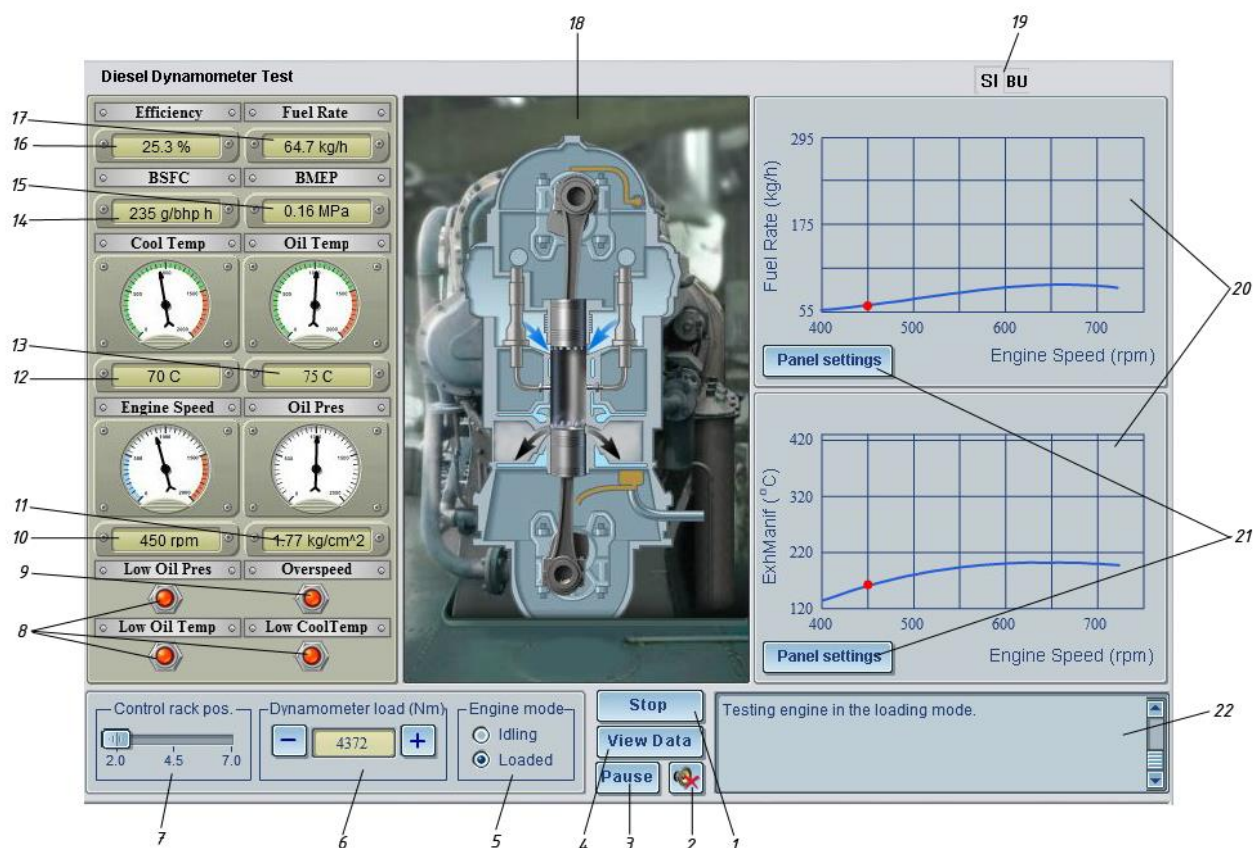


Рисунок 4 – Компьютерная модель дизеля Д100

1 – пуск/останов двигателя; 2 – включение/выключение звукового сопровождения работы двигателя; 3 – пауза; 4 – вывод информации; 5 – переключатель режимов работы двигателя (холостой/нагрузка); 6 – изменение тормозного момента на валу двигателя; 7 – изменение положения рейки ТНВД; 8 – контрольные лампы, сигнализирующие о (по часовой стрелке): низком давлении масла, низкой температуре масла, низкой температуре охлаждающей жидкости; 9 – контрольная лампа, сигнализирующая о превышении допустимых оборотов коленчатого вала; 10 – частота вращения коленчатого вала; 11 – давление масла; 12 – температура охлаждающей жидкости; 13 – температура масла; 14 – удельный эффективный расход топлива; 15 – среднее эффективное давление в цилиндре; 16 – эффективный КПД двигателя; 17 – часовой расход топлива; 18 – анимированная модель работы двигателя; 19 – переключение системы единиц измерения; 20 – область графиков; 21 – настройки отображения графиков; 22 – информационная область

Лабораторная работа № 3

Построение нагрузочной характеристики дизеля

Цель работы: познакомиться с принципами работы компьютерной модели дизеля типа Д100; провести испытания двигателя и по полученным результатам построить нагрузочную характеристику.

Методика построения нагрузочной характеристики двигателя

Изучив работу модели двигателя на компьютере и освоив управление режимами работы можно приступать к проведению экспериментов.

После запуска и прогрева двигателя на малой нагрузке устанавливается полная подача топлива, перемещением рейки топливного насоса. Одновременно регулировкой тормозного момента устанавливают число оборотов двигателя, при котором намечено снимать характеристику. По достижении установившегося скоростного и теплового режимов измеряют следующие величины: тормозной момент на валу двигателя M_e и удельный эффективный расход топлива g_e .

После записи измеренных параметров устанавливают следующий нагрузочный режим работы двигателя, для чего у дизеля уменьшают цикловую подачу топлива перемещением рейки топливного насоса. После стабилизации скоростного и теплового режимов работы двигателя на установленной нагрузке производят замеры. Таким образом, изменяя нагрузку на двигатель до режима холостого хода, получают 6...8 точек по нагрузочной характеристике. С целью более точного выявления режима, при котором наблюдается наилучшая экономичность работы двигателя, в области нагрузок от N_{emax} до 50% N_{emax} число нагрузочных режимов увеличивают.

Полученные в ходе эксперимента данные заносятся в таблицу 1.

Таблица 1 – Показатели работы двигателя при $n =$ об/мин

Показатели рабо-	Позиция рейки ТНВД
------------------	--------------------

ты двигателя	1	2	3	4	5	6	7	8
M_e , Н·м								
g_e , г/кВт·ч								
N_e , кВт								

Значение мощности двигателя N_e на различных режимах работы определяется по зависимости:

$$N_e = \frac{M_e \cdot n}{9550} \text{ кВт}, \quad (1)$$

где M_e – крутящий момент на валу двигателя, Н·м;

n – частота вращения коленчатого вала двигателя, об/мин.

По результатам испытаний после обработки опытных данных строят графическую зависимость удельного расхода топлива двигателя от его мощности.

Лабораторная работа № 4

Построение универсальной характеристики дизеля

Цель работы: с помощью компьютерной модели дизеля типа Д100 провести испытания двигателя на различных режимах работы, по экспериментальным данным произвести необходимые расчеты и построить универсальную характеристику двигателя.

Методика построения универсальной характеристики двигателя

Компьютерная модель тепловозного двигателя типа Д100 позволяет провести испытания дизеля на различных режимах работы.

Изменяя нагрузку на двигатель с помощью регулятора тормозного момента, устанавливают режим работы дизеля с минимальной устойчивой

частотой вращения коленчатого вала при фиксированном положении рейки топливного насоса. После стабилизации работы двигателя производятся основные замеры: момента на валу двигателя M_e и удельного расхода топлива g_e .

Далее устанавливается следующий скоростной режим, оставляя неизменным положение рейки топливного насоса и увеличивая число оборотов коленчатого вала изменением нагрузки на двигатель. Интервалы по скоростному режиму выбираются кратными 50 об/мин или 100 об/мин и производятся повторные замеры.

Следующим шагом, рейка топливного насоса устанавливается в новое положение, после чего производится снятие следующей совокупности параметров работы двигателя на различных скоростных режимах. Таких опытов при различном положении рейки топливного насоса рекомендуется выполнить не менее 5...7.

Полученные в ходе эксперимента данные заносятся в таблицу 2.

Таблица 2

n , об/мин	420			...		
Позиция рейки ТНВД	g_e , г/кВт·ч	M_e , Н·м	N_e , кВт	g_e , г/кВт·ч	M_e , Н·м	N_e , кВт
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						

Значения мощности двигателя N_e на различных режимах работы определяются по той же формуле что и в лабораторной работе № 1.

Полученные в ходе эксперимента значения мощности N_e и удельного расхода топлива g_e группируются по частотам вращения коленчатого вала, на которых проводились замеры параметров работы двигателя. Далее для этих частот в программных средах MathCAD или Maple составляются ин-

терполяционные полиномы вида $y = \pm a_1 \cdot x^n \pm a_2 \cdot x^{n-1} \pm \dots \pm a_{m-1} \cdot x \pm a_m$, которые будут отражать зависимость удельного расхода топлива от мощности двигателя на заданных частотах вращения коленчатого вала.

По полученным полиномам в MS Excel с помощью функции «Поиск решения», задаваясь определенным удельным расходом топлива, определяются значения мощности двигателя на различных частотах вращения коленчатого вала. Так как на одной и той же частоте вращения коленчатого вала, при увеличении нагрузки на двигатель, удельный расход топлива изменяется не линейно (сначала уменьшается, потом увеличивается), то для одного удельного расхода топлива будет два значения мощности двигателя.

Для поиска первого значения мощности в функцию «Поиск решения» в окне «Ограничения» используем команду «Добавить». В открывшемся диалоговом окне «Добавление ограничения» делаем ссылку на ячейку с целевой функцией, выбираем условие ограничения « \leq » и устанавливаем значение ограничения по максимальной мощности из опытных данных (рекомендуемое величина – 1700).

Второе значение мощности находится аналогичным способом, только в ограничения по поиску добавляется второе условие: величина мощности должна быть больше первого найденного значения на 2...3 единицы. Полученные данные заносятся в таблицу 3.

Сделав расчеты для нескольких фиксированных значений удельного расхода топлива, по опытным данным с использованием MS Excel строится универсальная характеристика двигателя. Примерный вид характеристики показан на рисунке 5.

Таблица 3 – Значения мощности двигателя по полиному при соответствующих частоте вращения коленчатого вала n и удельном эффективном расходе топлива g_e

n , об/мин	700	650	600	550	500	450	450	500	550	600	650	700
g_e , г/кВт·ч												

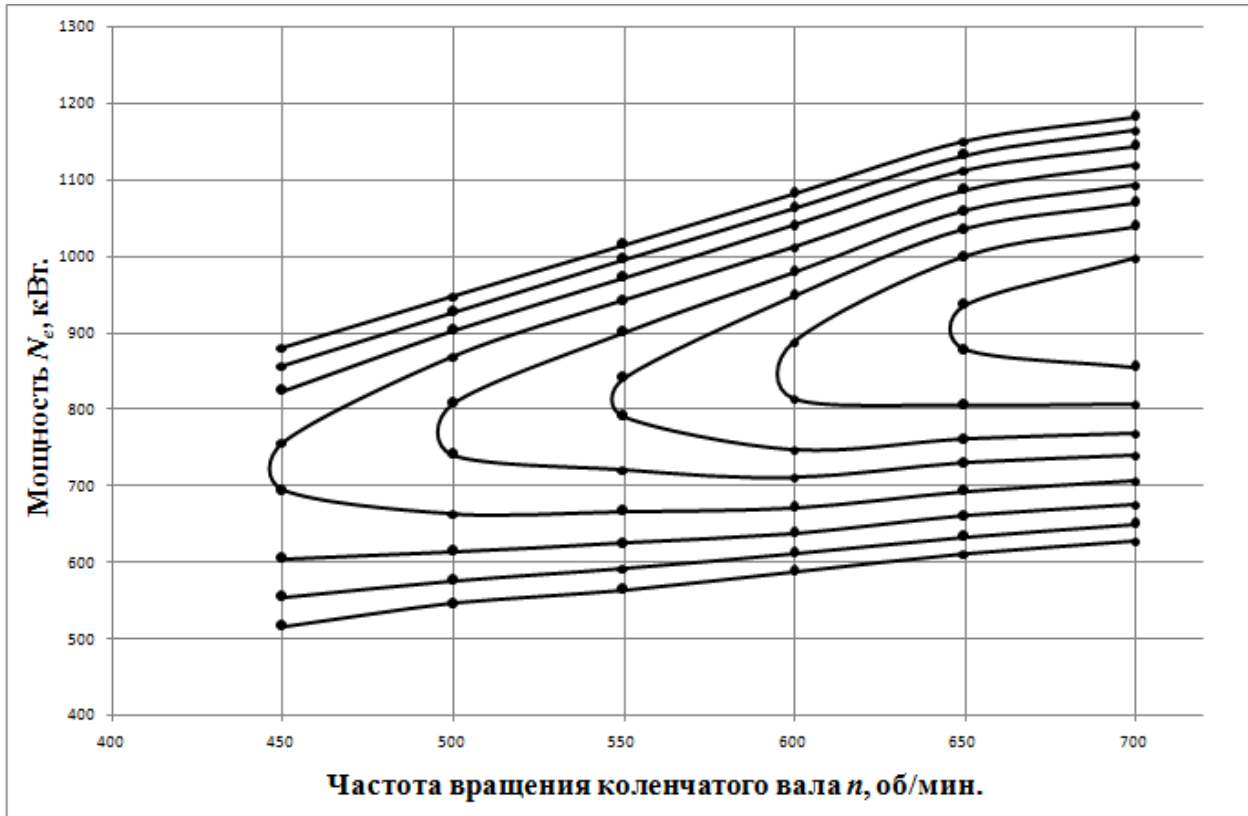


Рисунок 5 – Опытная универсальная характеристика двигателя Д100

Лабораторная работа № 5

Построение скоростной характеристики дизеля

Цель работы: с помощью компьютерной модели дизеля типа Д100 провести испытания двигателя на различных режимах работы, по экспериментальным данным произвести необходимые расчеты и построить скоростную характеристику двигателя.

Методика построения скоростной характеристики двигателя

Компьютерная модель тепловозного двигателя типа Д100 позволяет провести испытания дизеля на различных режимах работы.

Изменяя нагрузку на двигатель с помощью регулятора тормозного момента, устанавливают режим работы дизеля с минимальной устойчивой частотой вращения коленчатого вала при фиксированном положении рейки топливного насоса. После стабилизации работы двигателя производятся основные замеры: момента на валу двигателя M_e и удельного расхода топлива g_e .

Далее устанавливается следующий скоростной режим, оставляя неизменным положение рейки топливного насоса и увеличивая число оборотов коленчатого вала изменением нагрузки на двигатель. Интервалы по скоростному режиму выбираются кратными 20 об/мин или 50 об/мин и производятся повторные замеры.

Следующим шагом, рейка топливного насоса устанавливается в новое положение, после чего производится снятие следующей совокупности параметров работы двигателя на различных скоростных режимах. Таких опытов при различном положении рейки топливного насоса рекомендуется выполнить не менее 5...7.

Полученные в ходе эксперимента данные заносятся в таблицу 4.

Таблица 4

Показатели работы двигателя				
Позиция рейки ТНВД	$g_e, \text{г/кВт}\cdot\text{ч}$	$M_e, \text{Н}\cdot\text{м}$	$n, \text{об/мин}$	$N_e, \text{кВт}$
1				
2				
3				
4				
5				

Значения мощности двигателя N_e на различных режимах работы определяются по формуле 1.

По полученным данным строятся зависимости $N_e = f(n)$, $q_e = f(n)$, $M_{кр} = f(n)$ и делаются соответствующие выводы.

3 «ОБЩИЙ КУРС ПОДВИЖНОГО СОСТАВА И ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ (ЧАСТЬ 3)» («ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ (ЧАСТЬ 3)»)

Введение. Курс лабораторных работ по дисциплине «Подвижной состав железных дорог» предназначен для знакомства студентов с расположением оборудования на локомотиве, общими вопросами конструкции и работы силовых установок, назначениями и конструкцией ряда электрических аппаратов, а также изучения рессорного подвешивания локомотивов.

Выполнение лабораторных работ предусматривает использование учебных стендов, которыми оснащена лаборатория кафедры «Локомотивы и локомотивное хозяйство». На стендах установлены контактные и бесконтактные электрические аппараты, применяемые на большинстве серий тепловозов, эксплуатируемых на сети железных дорог. Измерительные стенды позволяют имитировать наиболее близкие к реальным условия работы тепловозного электрооборудования.

Лабораторная работа № 1

Расположение основного и вспомогательного оборудования тепловоза

Цель работы: познакомится с размещением силового и вспомогательного оборудования в кузове тепловоза и под ним и назначением соответствующих узлов и агрегатов.

Краткие сведения из теории

Тепловоз представляет собой локомотив с силовой установкой. Роль силовой установки выполняет двигатель внутреннего сгорания – дизель. В дизеле преобразуется химическая энергия топлива в тепловую (в процессе сгорания топлива), а затем в механическую энергию вращения коленчатого

вала. Для обеспечения работы дизеля с постоянной частотой вращения коленчатого вала при переменной частоте вращения движущих колёсных пар, между коленчатым валом и колёсными парами предусматривается промежуточное устройство, называемое передачей.

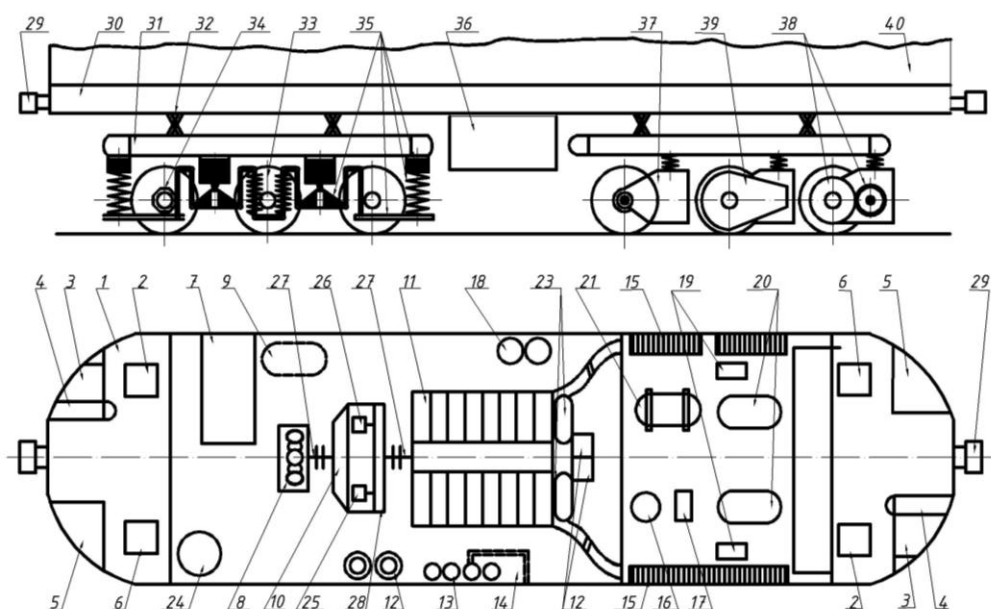


Рис. 1. Схема расположения силового и вспомогательного оборудования тепловоза серии ТЭП60:

1 – кабина машиниста; 2 – кресло машиниста; 3 – приборная доска; 4 – контроллер машиниста; 5 – стол помощника машиниста; 6 – кресло помощника машиниста; 7 – высоковольтная камера; 8 – тормозной компрессор; 9 – санузел; 10 – главный генератор; 11 – дизель (2-тактный, 16-цилиндровый, V-образный) типа 11Д45; 12 – фильтр грубой очистки топлива; 13 – фильтр тонкой очистки топлива; 14 – топливоподогреватель; 15 – секция холодильника; 16 – фильтр грубой очистки масла; 17 – маслоподкачивающий насос; 18 – фильтр тонкой очистки масла; 19 – топливоподкачивающие насосы; 20 – главные воздушные резервуары; 21 – теплообменник водомасляный; 22 – гидромоторы привода вентилятора холодильника; 23 – турбокомпрессоры; 24 – котёл подогреватель; 25 – синхронный подвозбудитель; 26 – двухмашинный агрегат; 27 – полужёсткие муфты привода главного генератора и компрессора; 28 – редуктор привода синхронного подвозбудителя и двухмашинного агрегата; 29 – автосцепка; 30 – главная рама тепловоза; 31 – тележка; 32 – маятниковая опора кузова; 33 – колёсная пара; 34 – буксовый узел; 35 – рессорное подвешивание (цилиндрические пружины, листовые рессоры, резинометаллические амортизаторы, балансиры, тяги); 36 – топливный бак; 37 – тяговый электродвигатель; 38 – тяговый редуктор; 39 – кожух редуктора; 40 – кузов тепловоза.

Для обеспечения нормальной работы основного оборудования и тепловоза в целом, на последнем имеется ряд вспомогательного оборудова-

ния: топливная система дизеля, системы его охлаждения, смазки, воздухо-снабжения; системы охлаждения и вспомогательные устройства передачи; песочная система экипажа, воздушная(тормозная) система; система пожа-ротушения.

Схема расположения силового и вспомогательного оборудования тепловоза серии ТЭП60 представлена на рис. 1.

Порядок выполнения работы

1 Обойти вокруг тепловоза и познакомиться с расположением обо-рудования под кузовом.

2 В кузове тепловоза последовательно обойти кабину машиниста, машинное отделение, шахту холодильника, вторую кабину машиниста и познакомиться с расположением оборудования.

Лабораторная работа № 2

Изучение ходовых частей подвижного состава

Цель работы: изучить конструкцию колёсных пар локомотивов и вагонов; ознакомится с соответствующими разделами правил технической эксплуатации железных дорог (ПТЭ); ознакомиться с контрольными шаблонами, применяемыми при измерении основных элементов колёсных пар.

Краткие сведения из теории

Наиболее ответственный узел в тележке подвижного состава – ко-лёсная пара. От её надёжности зависит безопасность движения. Во время работы она жёстко воспринимает все удары от неровностей пути как в вер-тикальном, так и горизонтальном направлениях, и в свою очередь сама жёстко воздействует на путь. Кроме того, детали колёсной пары воспри-нимают вращающий момент от электрического и гидравлического приво-дов при реализации тягового усилия. Колёсные пары применяются с бан-дажными и цельнокатаными колёсами.

Характерными неисправностями колёсных пар являются: износ бандажей – прокат, выбоины и ползуны, подрез гребня; ослабление бандажа, колёсного центра, зубчатого колеса; трещины, вмятины, отколы зубьев зубчатого колеса; трещины, риски, забоины, вмятины на шейках оси и др. Перечень неисправностей, с которыми колёсные пары не допускаются в эксплуатацию, приведён в ПТЭ (приложение № 5).

Каждая колёсная пара должна удовлетворять требованиям, установленным нормами и правилами, и иметь на оси чётко поставленные знаки о времени и месте формирования и полного освидетельствования колёсных пар, а также клейма о приёме её при формировании. Знаки и клейма ставятся в местах, предусмотренных нормами и правилами.

Колёсные пары подвергают осмотру под локомотивом и вагоном, обыкновенному и полному освидетельствованиям, а также освидетельствованию с выпрессовкой оси. Для них установлено два вида ремонтов: без смены и со сменой элементов.

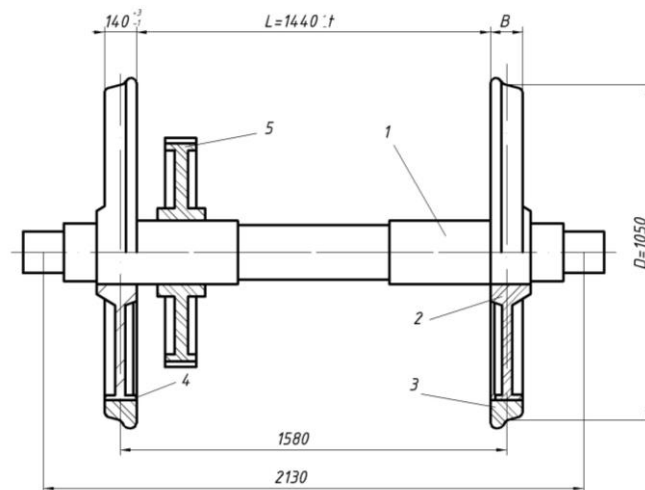


Рис. 2. Колёсная пара тепловоза:

1 – ось колёсной пары; 2 – колёсный центр; 3 – бандаж; 4 – кольцо; 5 – зубчатое колесо

Таблица 1

Результаты замеров и осмотра колёсной пары

Колёсная пара	Величина проката, мм	Толщина гребня, мм	Подрез гребня, мм	Другие неисправности
ЛОКОМОТИВ				
ВАГОН				

Порядок выполнения работы

1 Привести эскиз колёсной пары с указанием её элементов и главных размеров (рис. 2).

2 Установить величины допускаемых отклонений в размерах колёсных пар для разных скоростей движения $V \leq 120$ км/ч и $V > 120$ км/ч из (ПТЭ): разницу в кругах катания колёс; величину ползуна; прокат бандажей; толщину гребня бандажа; величину вертикального подреза гребня.

4 С помощью контрольных шаблонов определить на опытной колёсной паре (локомотивной и вагонной) величины проката, толщину гребня, вертикального подреза гребня и другие неисправности. Результаты замеров занести в табл. 1.

5 Сделать выводы по работе.

Лабораторная работа № 3

Знакомство с рессорным подвешиванием локомотива и определение его параметров

Цель работы: ознакомиться с основами конструкции, типами рессорного подвешивания экипажной части локомотивов и применяемыми упругими элементами, дать определение основных параметров рессорного подвешивания.

Краткие сведения из теории

Для уменьшения динамических воздействий на экипажную часть локомотивов при движении их по неровности пути применяют рессорное подвешивание. Оно обеспечивает упругую передачу вертикальных нагрузок от оси кузова и тележек локомотива на рельсовый путь.

В качестве упругих элементов в рессорном подвешивании применяют:

- листовые рессоры;
- пневматические рессоры;
- спиральные пружины;

- резиновые элементы

Листовые рессоры (рис. 3) представляют собой набор стальных листов, скреплённых в середине хомутом.

Основными геометрическими характеристиками листовой рессоры являются: длина рессоры « L » между точками опоры, ширина листа « b », ширина хомута 1 « a » и толщина листа « h ». Несколько верхних листов 2, имеющих одинаковую длину (обычно 2...4 шт.) называют коренными, остальные, разной длины, наборными.

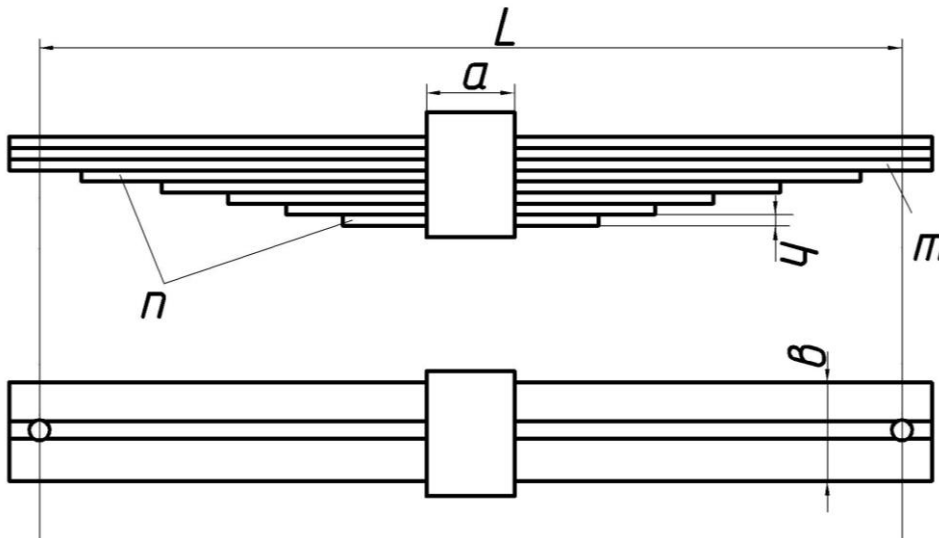


Рис. 3. Листовая рессора

Спиральные пружины представляют собой часть спирали, навитой из круглого или квадратного прутка (рис. 4).

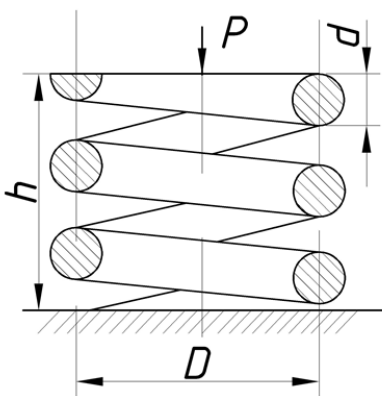


Рис. 4. Спиральная пружина

Как правило, в рессорном подвешивании локомотивов применяют пружины из круглого прутка, диаметром « d » и имеющий одинаковый диаметр « D » навивки по высоте « h ». Такие пружины называют цилиндрическими.

Кроме указанных выше геометрических размеров, большое значение в упругих характеристиках пружины имеет число витков.

Различают полное « n » и рабочее « n_p » число витков. Между ними существует связь:

$$n_p = n - 1,5$$

т.е. считается, что для обеспечения горизонтальной опорной поверхности сверху и снизу срезается по 0,75 витка.

Резиновые элементы могут быть использованы в виде резиновых прокладок, либо в виде резинометаллических блоков (рис. 5).

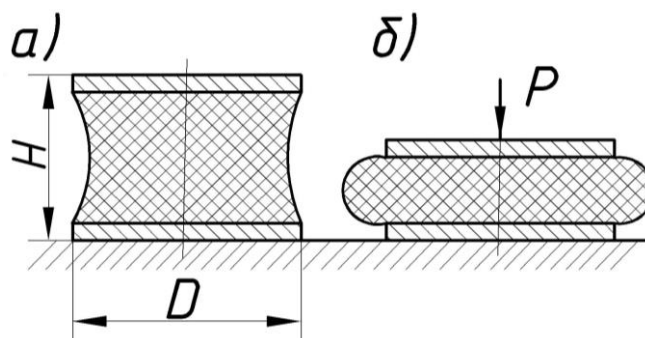


Рис. 5. Резинометаллический блок

Особенностью работы таких блоков является то, что при их нагружении усилием P , резина, деформируясь не изменяет своего объёма (рис 5, б). Поэтому резинометаллический блок будет работать, как упругий элемент, если есть свободное пространство для «выпучивания» резины. Упругие свойства таких блоков, кроме геометрических размеров и характеристик резины, будут зависеть, ещё от коэффициента формы, представляющего собой отношение площади нагружения элемента к поверхности «выпучивания». Для круглого элемента (рис. 5) коэффициент формы определяется по формуле:

$$K_{\phi} = \frac{\pi D^2}{4\pi DH} = \frac{D}{4H}.$$

Основной характеристикой любого упругого элемента является отношение нагрузки « P » на элемент к его статистическому прогибу.

$$Ж = \frac{P}{f_{cm}}.$$

Эта характеристика называется жёсткостью упругого элемента.

Обратная величина называется гибкостью:

$$\Gamma = \frac{1}{Ж} = \frac{f_{cm}}{P} .$$

На тележках локомотивов упругие элементы могут устанавливаться или индивидуально на каждую колёсную пару, или группами упругих элементов, связанных между собой. Первый вариант называется индивидуальным рессорным подвешиванием, второй – групповым, или сбалансированным.

Порядок выполнения работы

1 По плакатам и натурным образцам изучить конструкцию рессорного подвешивания.

2 Вычертить эскизы рис. 3–5.

Лабораторная работа № 4

Определение статистических характеристик пневматической рессоры

Цель работы: изучить конструкцию и построить характеристику пневматической рессоры; определить жёсткость пневматической рессоры и закон изменения эффективной площади резинокордной оболочки в зависимости от деформации.

Краткие сведения из теории

Существенное улучшение динамических качеств тепловоза может быть достигнуто за счёт применения пневматического рессорного подвешивания, которое имеет ряд преимуществ по сравнению с пружинным: возможность регулирования величины статистического прогиба в широких

пределах; самодемпфирование без применения специальных демпферов; возможность широкого выбора величины коэффициента демпфирования. Важнейшей характеристикой пневматической рессоры является её жёсткость.

Различают статистическую и динамическую жёсткости пневморессоры, соответствующие изотермическому и политропическому процессам. Уравнение политропического процесса имеет вид:

$$p \cdot V^n = p_H \cdot V_H^n \quad (4.1)$$

где p и p_H – текущее и начальное значения абсолютного давления в пневморессоре;

V и V^H – текущее и начальное значения объёма пневморессоры;

n - показатель политропы, равный 1,3...1,4.

Для статической характеристики $n=1$. Если атмосферное давление обозначить через P_0 , то сила упругого сопротивления пневморессоры Q может быть представлена формулой:

$$Q = (P - P_0) \cdot F_{\text{эф}}, \quad (4.2)$$

где $F_{\text{эф}}$ – эффективная несущая площадь пневморессоры.

На основании выражений (4.1) и (4.2) можно написать соответственно для политропического (динамическая нагрузка) и изотермического (статическая нагрузка) процессов следующие выражения:

$$Q_{\text{д}} = \left[\frac{P_H V_H^n}{(V_H - F_{\text{эф}} \cdot f)^n} - P_0 \right] \cdot F_{\text{эф}}; \quad (4.3)$$

$$Q_{\text{ст}} = \left[\frac{P_H V_H}{(V_H - F_{\text{эф}} \cdot f)^n} - P_0 \right] \cdot F_{\text{эф}}, \quad (4.4)$$

где f – прогиб пневморессоры.

Дифференцируя по f выражения (4.3) и (4.4), получаем формулы, соответственно для динамической и статистической жёсткостей пневморессоры:

$$ж_{д} = \frac{dQ_{д}}{df} = \frac{nF_{эф}^2 \cdot V_{Н}^n \cdot P_{Н}}{(V_{Н} - F_{эф} \cdot f)^{n+1}} + \left[\frac{P_{Н} \cdot V_{Н}^n}{(V_{Н} - F_{эф} \cdot f)^n} - P_0 \right] \frac{dF_{эф}}{df}; \quad (4.5)$$

$$ж_{ст} = \frac{dQ_{ст}}{df} = \frac{P_{Н} \cdot F_{эф}^2 \cdot V_{Н}}{(V_{Н} - F_{эф} \cdot f)^2} + \left[\frac{P_{Н} \cdot V_{Н}}{(V_{Н} - F_{эф} \cdot f)^n} - P_0 \right] \frac{dF_{эф}}{df}, \quad (4.6)$$

где $\frac{dF_{эф}}{df}$ – скорость изменения эффективности несущей площади пневморессоры при деформации относительно статистической рессоры.

Для исследуемой двухвитковой пневморессоры баллонного типа $\frac{dF_{эф}}{df} \ll 1$. Поэтому с достаточной для практических расчётов точностью формулы (4.4) и (4.5) можно представить в виде:

$$ж_{д} = \frac{nF_{эф}^2 \cdot V_{Н}^n \cdot P_{Н}}{(V_{Н} - F_{эф} \cdot f)^{n+1}}; \quad (4.7)$$

$$ж_{ст} = \frac{P_{Н} \cdot F_{эф}^2 \cdot V_{Н}}{(V_{Н} - F_{эф} \cdot f)^2} \quad (4.8)$$

Эффективная несущая площадь резинокордной оболочки пневморессоры для каждого значения прогиба f определяется по формуле:

$$F_{эф} = \frac{Q}{P - P_0}$$

Порядок выполнения работы

- 1 Изучить конструкцию пневморессоры и выполнить её эскиз.
- 2 Ознакомиться с устройством стенда для испытания пневморессоры и привести её пневматическую схему в отчёте.
- 3 Снять характеристику пневморессоры. Рабочий объём $V_P = V_{Н}$ пневморессоры составляет 50 л. Результаты испытаний занести в табл. 2.

Таблица 2

Испытания пневморессоры без дополнительных резервуаров

Q , кгс					
f , см					
$F_{эф}$, см ²					
$ж_д$, кг/см					
$ж_{ст}$, кг/см					

4 На основании опытных данных, приведённых в таблице 2, построить графики зависимости $Q = Q(f)$, $ж_{ст} = ж_д = ж_д(f)$, $F_{эф} = F_{эф}(f)$.

5 Вычислит теоретические значения $ж_д$, $ж_{ст}$ по формуле (4.7), (4.8) для табличных значений f и V_H , а затем оценить точность опытных данных.

6 По результатам испытаний сделать выводы.

Лабораторная работа № 5

Изучение электрических аппаратов силовой цепи электровозов и тепловозов

Цель работы: изучить конструкцию, работу, характеристики и методы испытаний электропневматических и электромагнитных контакторов.

Краткие сведения из теории

Электрические аппараты служат для переключения электрических цепей в процессе управления работой локомотива: в силовых цепях генераторов и тяговых электродвигателей; в цепях их возбуждения; в системах управления, регулирования и защиты.

Контакторы осуществляют дистанционное замыкание и размыкание электрических цепей под токовой нагрузкой. Дистанционное управление контакторами осуществляется автоматически или вручную при помощи кнопок.

В зависимости от числа силовых контактов различают индивидуальные и групповые контакторы, а в зависимости от вида привода – электропневматические и электромагнитные.

При размыкании контактов под нагрузкой между контактами возникает дуговой разряд. Температура дуги достигает 2000...3000 °С, поэтому во избежание повреждения контактов в конструкции контакторов предусмотрено специальное устройство, состоящее из дугогасительных катушек и камеры. При возникновении дуги, под действием магнитного поля дугогасительной катушки длина дуги увеличивается и проникает в дугогасительную камеру, изготовленную из асбоцемента, где охлаждается и гаснет.

Место замыкания и размыкания контакторов, подвержено некоторому разрушению от дуги, вынесено за пределы места постоянного контакта.

Совместное перемещение контактов от точки первоначального касания к точке полного и окончательного касания с их скольжением называют *провалом* (притиранием) контактов. Такое скольжение (притирание) контактов обеспечивает снятие окисной плёнки и неровностей.

Эксплуатационное состояние контакторов характеризуется:

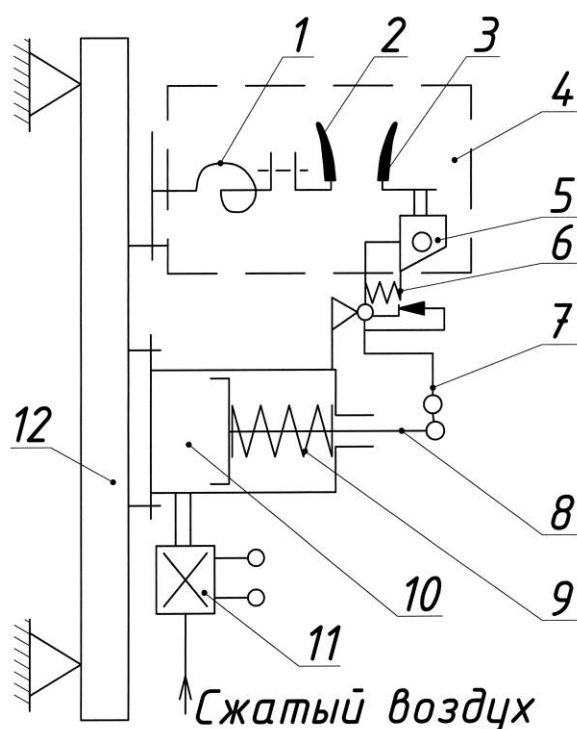
- силой нажатия, определяемой с помощью динамометра, необходимой для отрыва подвижного контакта при номинальном усилии, создаваемом приводом;

- раствором (А) – расстояние между разомкнутыми контактами;

- провалом (П) – совместное перемещение контактов от точек первоначального касания к точкам полного и окончательного касания (или обратно) с их скольжением.

Электропневматический контактор (рис. 6) применяется на тепловозах для подключения тяговых электродвигателей к силовой цепи тягового генератора. Контактторы рассчитаны на ток 800...1200 А и напряжение 900...1000 В.

Кинематическая схема электропневматического контактора состоит из:



1 – дугогасительная катушка; 2, – неподвижный контакт; 3 – подвижный контакт контактора; 4 – дугогасительная камера; 5 – рычаг качающийся; 6 – пружина; 7 – рычаг; 8 – шток пневмоцилиндра; 9 – отключающая пружина; 10 – пневмопривод; 11 – электропневматический вентиль; 12 – электроизоляционная панель.

Рис. 6. Электропневматический контактор

Электромагнитные контакторы применяются в цепях ослабления поля, пуска дизеля, заряда аккумуляторных батарей и т.д. Контактор типа КПВ используется в цепях пуска дизеля для коммутации относительно больших токов. Контакторы типа ТКПМ рассчитаны на коммутацию сравнительно небольших токов (20...150 А) в цепях возбуждения тягового генератора, питания электродвигателей насосов, вентиляторов и т.д.

Порядок выполнения работы

- 1 Привести в отчёте краткие сведения из теории и начертить рис. 6.
- 2 По плакатам и натурным образцам ознакомиться с конструкцией контакторов.
- 3 Подать питание к контактору.
- 4 Определить силы, действующие в механизме контактора, и заполнить табл. 3.

Таблица 3

Результаты замеров и расчётов при испытании электропневматического контактора.

Параметры, Н	Обозначения и расчёт-	Давление воздуха в
--------------	-----------------------	--------------------

	ные формулы	приводе P_e , МПа, и номер замера			
		1	2	3	4
Сила при разрыве контактов	P_1				
	P_2				
	$F_{тр} = \frac{P_1 - P_2}{2}$				
	$P_k = P_1 - F_{тр}$				
	$F = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot P_b \cdot 10^{-2}}{4}$				
	$F_{пр} = F - F_{тр} - P_k - q$				

5 Замерить величину раствора, притирания и провала.

В табл. 3: d – диаметр поршня привода, см; q – сила веса деталей динамометра. В расчётах принять: $d = 5$ см; $q = 20$ Н. Силы P_1 и P_2 измеряются в момент сдвига листа бумаги, закладываемого между листами.

Лабораторная работа № 6

Конструкция, принцип действия тепловозных дизелей и их технические характеристики

Цель работы: изучить принцип действия тепловозных дизелей и основные элементы их конструкции. Ознакомиться с техническими характеристиками дизелей.

Краткие сведения из теории

Тепловозы относятся к автономным локомотивам, так как имеют собственную силовую установку, которая вырабатывает энергию для движения. В качестве силовых установок применяют двигатели с внутренним смесеобразованием и самовоспламенением топлива от сжатия (дизели), работающие как по двухтактному (Д100, Д40), так и по четырёхтактному циклу (Д50, Д49, Д70, Д56 и др.).

В четырёхтактных двигателях рабочий процесс состоит из 4 тактов: наполнение (впуск воздуха); сжатие воздуха; впрыск топлива, сгорание и последующее расширение образовавшихся газов (рабочий ход); выпуск отработавших газов (рис. 7).

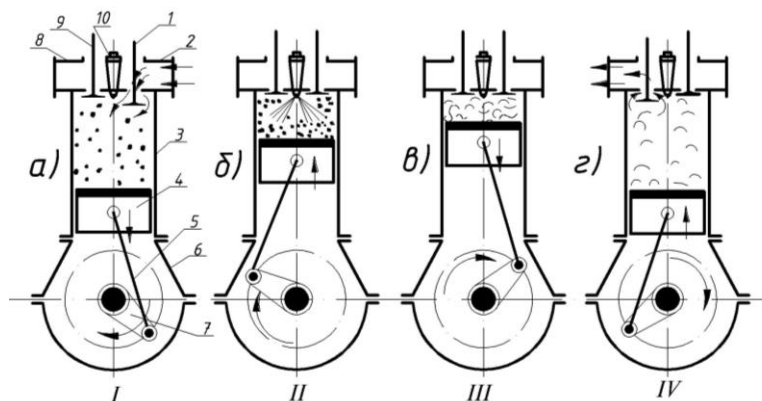


Рис. 7. Рабочий процесс четырёхтактного двигателя

В процессе наполнения (рис. 7, а) открывается впускной клапан 1 и воздух из впускного коллектора 2 поступает в цилиндр двигателя 3. При этом поршень 4 движется вниз за счёт вращения коленчатого вала 7, связанного с поршнем шатуном 5. Коленчатый вал вращается в подшипниках, расположенных в картере 6. Во время второго такта (рис. 7, б) поршень движется вверх, впускной клапан закрывается и поступивший в цилиндр воздух сжимается. При сжатии давление и температура воздуха в цилиндре возрастают. В конце сжатия из форсунки 10 в цилиндр впрыскивается жидкое топливо, которое смешивается с горячим воздухом, испаряется, самовоспламеняется, и сгорает.

В процессе сгорания температура и давление газов в цилиндре значительно возрастают. Усилие от давления газов на поршень передаётся через шатун на коленчатый вал, обеспечивая его вращение. Так как при этом газы, находящиеся в цилиндре, совершают работу, этот так называется рабочим ходом (рис. 7, в).

Чтобы подготовить цилиндр для следующего рабочего цикла, нужно очистить его от отработавших газов. Для этого служит 4-й такт – выпуск,

момент, когда открывается выпускной клапан 9, и поршень, двигаясь вверх (рис. 7, г), выталкивает газы из цилиндра в выхлопной коллектор 8 и далее в атмосферу.

Таким образом, рабочий цикл в четырёхтактном двигателе совершается за 4 хода поршня (или за два оборота коленчатого вала).

Принципиальное отличие двухтактных двигателей от четырёхтактных в том, что рабочий цикл в них совершается в 2 раза быстрее – за два хода поршня (один оборот коленчатого вала). При этом ярко выраженных тактов всего два: сжатие свежего заряда воздуха и рабочий ход. Так же, как и в четырёхтактных двигателях, сгорание топлива происходит в конце сжатия и начале рабочего хода.

Выпуск отработавших газов и наполнение цилиндра свежим зарядом воздуха в двухтактных двигателях происходит в конце рабочего хода и начале такта сжатия одновременно. Этот процесс получил название продувки. Существуют контурные и прямоточные продувки. В тепловозных дизелях применяются только прямоточные продувки – клапанно-щелевые (рис. 8) и прямоточно-щелевые (рис. 9).

В процессе продувки воздух, поступающий в цилиндр двигателя от продувочного компрессора, заставляет отработанные газы выходить из цилиндра двигателя.

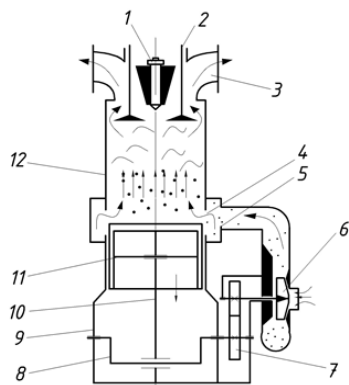


Рис. 8. Схема клапанно-щелевой продувки

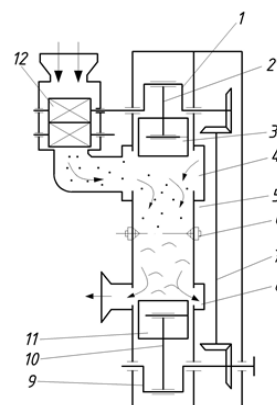


Рис. 9. Схема прямооточно-щелевой продувки

В ряде случаев, как в четырёхтактных, так и в двухтактных двигателях применяется наддув. В процессе наддува происходит увеличение массового заряда воздуха путём повышения давления, создаваемого специальным компрессором, при одновременном увеличении подачи топлива. Тепловозные дизеля отличаются системой воздухообеспечения. Применяются двигатели с одно и более ступенями наддува воздуха. Так, например, дизель 10Д100 имеет комбинированную двухступенчатую систему наддува, включающую два параллельно работающих турбокомпрессора в качестве первой ступени и приводной центробежный компрессор в качестве второй ступени. Воздух перед подачей в двигатель подвергается охлаждению в воздушном охладителе. Наддув воздуха позволяет значительно увеличить мощность дизеля.

Порядок выполнения работы

- 1 Используя рис. 7, изучить принцип действия 4-тактного двигателя.
- 2 Изучить конструкцию основных узлов тепловозных двигателей по плакатам, моделям и натурным образцам.
- 3 Изобразить эскизы рис. 7–9 и самостоятельно дать расшифровку узлов и деталей в соответствии с их нумерацией.

Лабораторная работа № 7

Топливные насосы и форсунки тепловозных дизелей

Цель работы: изучить принцип работы, особенности конструкции и характеристики плунжерных топливных насосов высокого давления и топливных форсунок.

Краткие сведения из теории

В двигателях с самовоспламенением от сжатия топливная аппаратура, схема которой показана на рис. 10, играет важнейшую роль. От её исправной работы зависит не только работоспособность дизеля, но и его технико-экономические показатели. Это связано с тем, что неисправная, а также неправильно отрегулированная топливная аппаратура может существенно снизить вырабатываемую мощность и повысить расход топлива.

Плунжерные топливные насосы высокого давления обеспечивают подачу топлива к топливным форсункам под давлением 50...120 МПа (500...1200 кг/см²). Такое высокое давление способствует хорошему распылению топлива при подаче его в цилиндр двигателя (диаметр капель топлива здесь составляет 5...25 мкм). Это в свою очередь способствует хорошему перемешиванию топлива с воздухом, последующему его испарению, самовоспламенению и сгоранию.

Основным нагнетательным элементом насоса является плунжерная пара (плунжер и его гильза), которая через нагнетательный клапан и топливопровод высокого давления подаёт топливо к форсунке. Верхняя часть плунжера имеет золотниковое устройство, состоящее из продольного паза, косо́го среза и кольцевой канавки. Данное устройство обеспечивает изменение количества топлива, подаваемого насосом за один рабочий ход, путём поворота плунжера, в результате чего наклонная отсечная кромка перемещается относительно отверстия в гильзе. Это приводит к изменению активного хода плунжера, т.е. той части хода, где окно в гильзе перекрыто его боковой поверхностью и осуществляется подача топлива в форсунку.

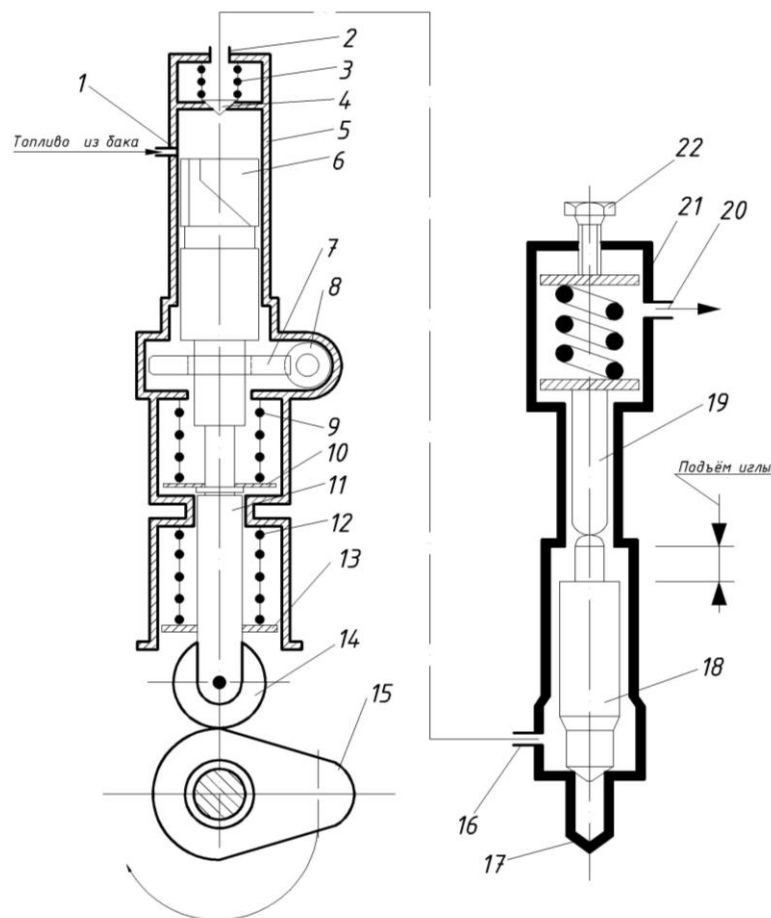


Рис. 10. Схема топливной аппаратуры (расшифровка позиций выполняется самостоятельно)

Поворот плунжера происходит за счёт линейного перемещения регулирующей зубчатой рейки, вращающей шестерню, соединённую с плунжером. Плунжер перемещается вверх под действием кулачка, находящегося на валу привода насоса, через ролик толкателя и толкатель. Возвраты плунжера и толкателя вниз обеспечивают пружины.

Топливная форсунка закрытого типа имеет сопловой наконечник с несколькими (3–10) отверстиями малого диаметра (0,35...0,56 мм).

Канал, подводящий топливо к сопловым отверстиям, перекрывается иглой, прижатой к своему седлу пружиной через промежуточный толкатель. Под действием возрастающего давления топлива, нагнетаемого насосом, игла поднимается, преодолевая сопротивление пружины. Давление

начала подъёма иглы (20...37 МПа) устанавливается с помощью регулировочного винта.

Порядок выполнения работы

1 По плакатам и натурным образцам изучить принцип работы и особенности конструкции топливного насоса и форсунки.

2 Вычертить эскиз рис. 10 и составить спецификацию (дать расшифровку позиции).

Лабораторная работа № 8

Изучение электрической передачи тепловозов

Цель работы: изучить принципиальные схемы электрических передач тепловозов; передачу тягового момента; определить параметры электропередачи; ознакомиться с схемой лабораторного стенда, имитирующего электрическую передачу постоянного тока.

Краткие сведения из теории

Электропередача тепловозов служит для передачи мощности от дизеля к осям движущих колёсных пар, обеспечивая при постоянных частоте вращения и мощности дизеля переменную частоту вращения осей колёсных пар и переменную тяговую силу в зависимости от профиля пути и условий движения.

Тяговый электродвигатель (ТЭД) развивает тяговый момент, который приводит к появлению силы тяги. Кинематическая схема передачи такого момента приведена на рис. 11. Тяговый электродвигатель 1 с одной стороны опирается на ось колёсной пары через опорно-осевой подшипник, а с другой стороны – на раму тележки 2 через пружинный пакет (при опорно-осевом подвешивании). С помощью шестерни 3, напрессованной на вал якоря ТЭД и зубчатого колеса 4 на оси колесной пары крутящий момент от электродвигателя передаётся на колёсную пару.

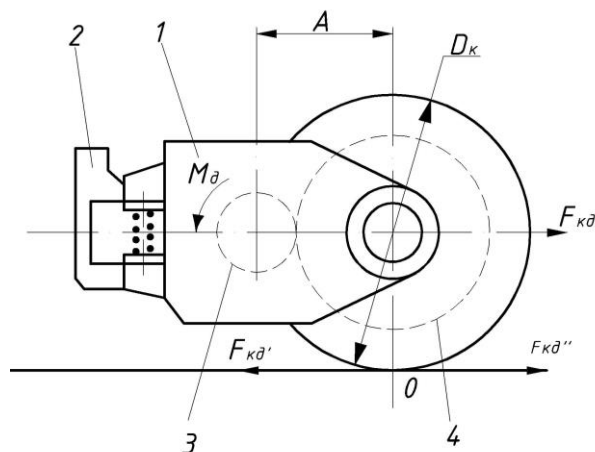


Рис. 11. Кинематическая схема передачи тягового момента

Для одной колёсной пары сила тяги (Н) составит:

$$F_{к\delta} = \frac{2M_{\delta}}{D_k} \cdot \mu \eta_p,$$

где D_k – диаметр круга катания движущего колеса, м;

μ – передаточное отношение тягового редуктора;

η_p – КПД тягового редуктора.

Через параметры потребляемого тока можно определить тяговый момент ТЭД (Н·м):

$$M_{\delta} = 30 \frac{P_{\delta} \cdot \eta_{\delta}}{\pi \cdot n_{\delta}},$$

где P_{δ} – потребляемая мощность, $P_{\delta} = U_{\delta} \cdot I_{\delta}$, Вт;

n_{δ} – замеренная частота вращений;

η_{δ} – КПД ТЭД (в эксперименте принять $\eta_{\delta} = 0,87$).

Скорость (км/ч) и мощность (Вт) тепловоза находятся по выражениям:

$$V = 0,1885 \cdot \frac{D_k \cdot n_{\delta}}{\mu};$$

$$P_T = \frac{F_{к\delta} \cdot mV}{3,6},$$

где m – количество ТЭД.

Дизель механически связан с якорем генератора, приводя его во вращение. Механическая энергия дизеля в генераторе преобразуется в электрическую энергию постоянного и переменного тока, которая поступает к ТЭД и там преобразуется в механическую энергию вращения якоря. Соответствующие схемы показаны на рис. 12. На рис. 12, а показана схема, которую используют на тепловозах с секционной мощностью до 2200 кВт; позиция б – при секционной мощности 1470...4400 кВт; позиция в – при секционной мощности 4400 кВт и более.

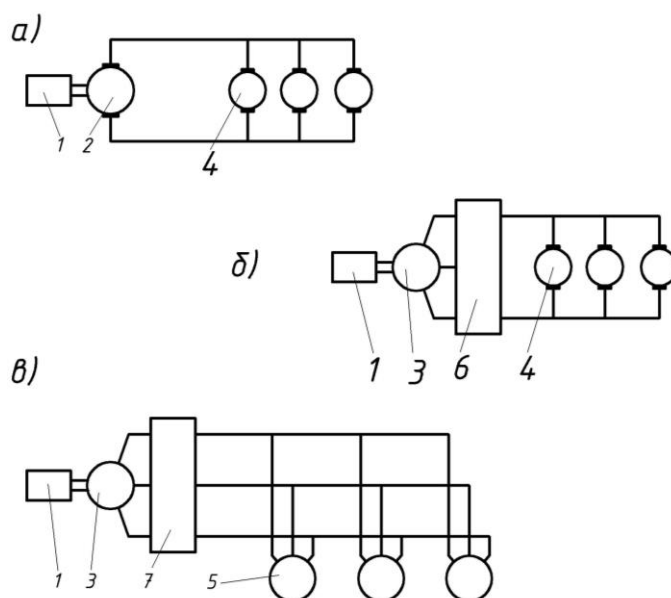


Рис. 12. Схема электрической передачи на тепловозах:

а – передача постоянного тока; б – передача переменного-постоянного тока; в – передача переменного тока; 1 – дизель; 2 – тяговый генератор постоянного тока; 3 – тяговый генератор переменного тока; 4 – тяговый электродвигатель постоянного тока; 5 – тяговый электродвигатель переменного тока; 6 – выпрямительная установка; 7 – преобразователь частоты переменного тока

Порядок выполнения работы

- 1 Привести в отчёте краткие сведения из теории.
- 2 Изобразить эскизы рис. 11–12.

4 ТЕОРИЯ И КОНСТРУКЦИЯ ЛОКОМОТИВОВ

Введение

Дисциплина «Теория и конструкция локомотивов» является основополагающей при подготовке инженеров по специальности «Локомотивы». В процессе ее изучения студенты выполняют курсовую работу (проект) по проектированию экипажной части локомотивов. В процессе проектирования они, используя справочную литературу и последние достижения отечественной и зарубежной практики, должны рассчитать элементы экипажной части локомотива. Одной из задач при проектировании является расчет динамического вписывания локомотива, при котором обеспечиваются комфортабельные условия для локомотивной бригады и безопасность движения локомотива в кривых участках пути.

1 Расчёт рессорного подвешивания локомотива

Рессорное подвешивание является промежуточным звеном в связях: «колёсные пары – рамы тележек – рама кузова». Оно предназначено для смягчения ударов, передаваемое на надрессорное строение от верхнего строения пути, а также для наиболее равномерного распределения нагрузки между колёсами локомотива.

Для этого в рессорном подвешивании применяются упругие элементы: листовые рессоры, пружины и резинометаллические амортизаторы, а также балансиры со связующими элементами.

Эксперименты показывают, что при взаимодействии необрессоренных частей экипажа и верхнего строения пути могут возникать значительные ускорения, вплоть до 25g и соответствующие им силы инерции.

Сбалансированное рессорное подвешивание [**Ошибка! Источник ссылки не найден.–Ошибка! Источник ссылки не найден.**] тележек (рис. 1, а, б, г), широко применявшееся ранее на локомотивах различного рода службы, в настоящее время применяется ограниченно (в силу своих недостатков), в основном на маневровых локомотивах. Особенность этого вида подвешивания заключается в равномерном распределении нагрузок между осями в одной тележке, что несколько упрощает расчёты при их (нагрузок) определении.

В настоящее время широкое применение находит индивидуальное рессорное подвешивание состоящие из винтовых пружин для каждого колеса. Такое подвешивание применено на унифицированной тележке тепловоза 2ТЭ116 (рис. 1, в).

1.1 Расчёт упругих элементов

Статический прогиб рессорного подвешивания (если не указан в задании), выраженный в миллиметрах, как при одно- так и при двухступенчатом подвешивании численно можно приравнять, в первом приближении, конструкционной скорости, выраженной в размерности «км/ч» и определить по формуле:

$$f_{ст} = (0,9 \dots 1,1)V_k.$$

Если локомотив имеет одноступенчатое индивидуальное рессорное подвешивание, то расчёт сводится к определению жесткостей пружин буксовой ступени и резинометаллических амортизаторов.

В этом случае определяется суммарная жёсткость упругих элементов, состоящих из пружин и резинометаллических амортизаторов. В случае применения двухступенчатого рессорного подвешивания, статические прогибы между нижней (буксовой) и верхней (кузовной) ступенями распределяются в соотношении 0,4:0,6 соответственно – при применении пружин во второй ступени и 0,8:0,2 соответственно – при

применении резинометаллических амортизаторов во второй ступени.

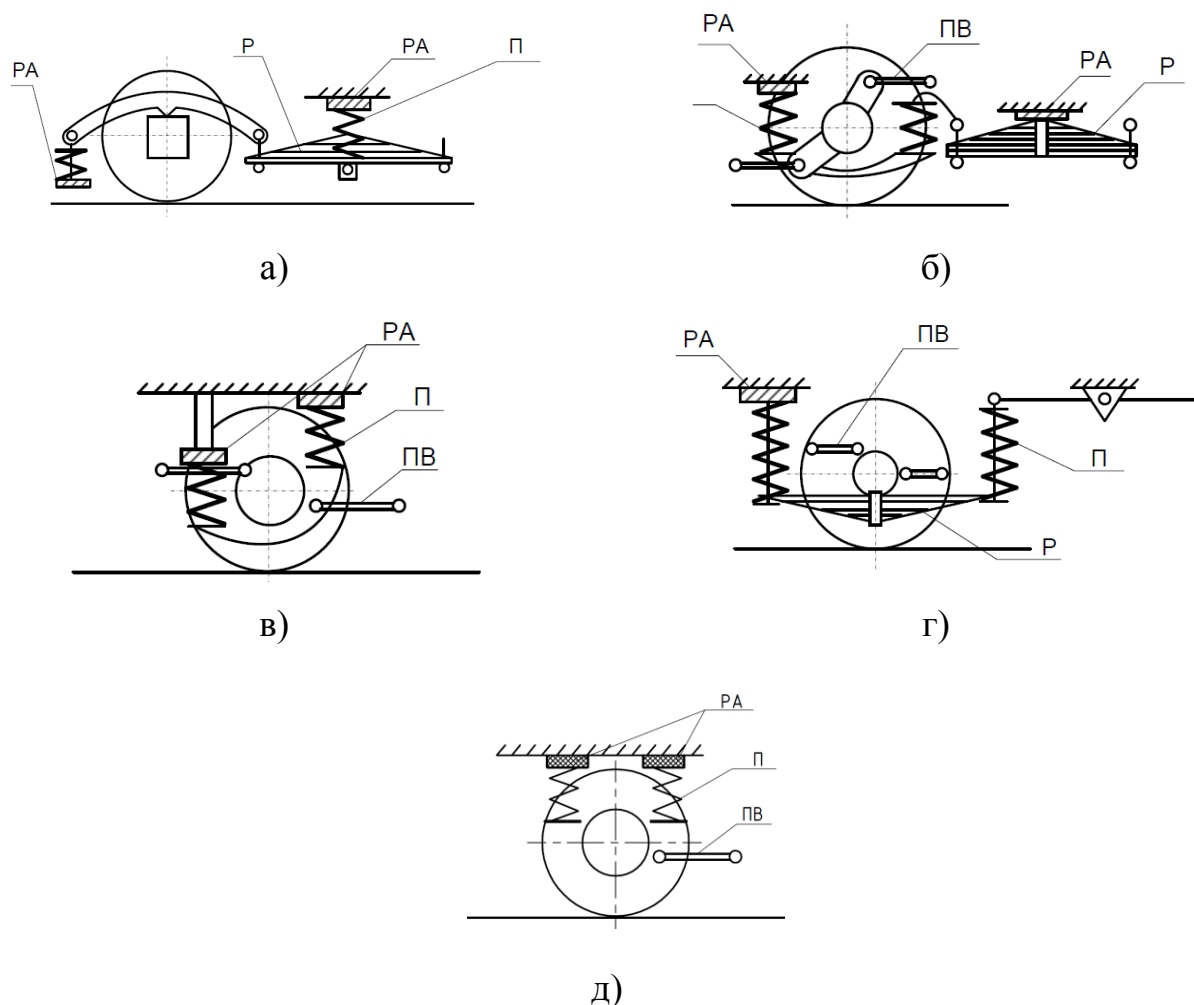


Рис. 1 – Схемы рессорного подвешивания локомотивов

а – Сбалансированное рессорное подвешивание (2ТЭ10Л, М62); *б* – Сбалансированное рессорное подвешивание (ТЭП 60); *в* – Индивидуальное рессорное подвешивание (2ТЭ10В, 2ТЭ10М, 2ТЭ116, ТЭП70, 2ТЭ70, ТЭП150, 2ТЭ25К); *г* – Сбалансированное рессорное подвешивание (2ТЭ121); *д* – Индивидуальное рессорное подвешивание (2ТЭ25А). (Р – рессора, П – пружина, РА – резиновый амортизатор, ПВ – поводок)

Для обеспечения прочности рессорного подвешивания пружинный комплект может состоять из двух или трёх пружин. При этом в случае применения двухпружинного комплекта нагрузки между наружной и внутренней пружинами распределится в соотношении 0,6:0,4

соответственно; в случае применения трёхпружинного – 0,65:0,23:0,12.

Для демпфирования колебаний обрессоренной массы параллельно каждому комплекту пружин между корпусом буксы и рамой тележки устанавливаются фрикционные или гидравлические демпферы.

Нагрузки на упругие узлы буксовых ступеней, при индивидуальном подвешивании, распределяются равномерно. Причём суммарная нагрузка будет равна подрессоренному весу локомотива.

Сцепной вес локомотива определяется по формуле:

$$P_{\text{сц}} = 2\Pi \cdot 6.$$

Подрессоренный вес локомотива, приходящийся на одну колесную пару.

$$Q_{\text{кп}} = 2\Pi - 2q,$$

где $2q$ – неподрессоренный вес, приходящийся на одну колесную пару.

Расчёт подрессоренного веса локомотива, выполняем по формуле:

$$Q_{\Pi} = n \cdot (2\Pi - 2q),$$

где n – число колесных пар локомотива.

Подрессоренный вес, приходящийся на рессорное подвешивание тележки:

$$Q_{\text{T}}^{\text{P}} = n_{\text{T}} \cdot (2\Pi - 2q),$$

где n_{T} – число колесных пар тележки локомотива.

Далее необходимо определить нагрузки, приходящиеся на упругие элементы рессорного подвешивания (зависит от схемы рессорного подвешивания локомотива):

$Q_{\text{БУ}}$ – нагрузка на буксовый узел;

$Q_{\text{РА}}$ – нагрузка на резинометаллические амортизаторы;

$Q_{\text{Ц}}$ – нагрузка на цилиндрические пружины;

$Q_{\text{ЛР}}$ – нагрузка на листовую рессору.

1.1.1 Расчёт резинометаллических амортизаторов

Произведём расчёт резинометаллического амортизатора, задавшись маркой резины. Характеристики масло- и морозостойких резин приведены в табл. 1.

Таблица 1

Физико-механические показатели резины

Физико-химические показатели	Марка резины			
	1847	2959	2464	7842
Твёрдость по Шору	42,5	52,5	67,5	60
Сопротивление разрыву, МПа	18	18	7,5	17
Относительное удлинение, %	675	550	325	500
Температурный интервал, °С	-50...+80	-50...+80	-50...+80	-50...+80

Модуль сдвига резины G определяется по эмпирической формуле:

$$G = \frac{T_B^2}{3800}, \text{ МПа,}$$

где T_B – твёрдость резины по Шору.

Статический модуль упругости:

$$E = 3 \cdot G.$$

Расчётный модуль упругости:

$$E_p = (1 + \alpha\Phi)E,$$

где $\alpha = 4,67$ – коэффициент, учитывающий состояние опорных поверхностей;

Φ – коэффициент формы, представляющий собой отношение площади опорной поверхности амортизатора (одной) к площади поверхности выпучивания.

Для кольцевидного амортизатора:

$$\Phi = \frac{D_a - d_a}{4H},$$

где D_a – наружный диаметр амортизатора;

d_a – внутренний диаметр амортизатора, $d_a = 60$ мм;

H – высота одного слоя.

Для прямоугольного амортизатора:

$$\Phi = \frac{a \cdot b}{2H(a + b)},$$

где a – ширина амортизатора;

b – длина амортизатора.

Значения размеров резинометаллических амортизаторов, применяемых на отечественных тепловозах приведены в табл. 2.

Таблица 2

Размеры резинометаллических амортизаторов

Тепловоз	Марка резины	Место установки	Диаметр (D_a) или стороны ($a \times b$), мм	Число слоёв	Высота слоя, мм
2ТЭ10Л	7842	Под пружинами	Ø230	1	30
ТЭП60	2959	Над концевыми пружинами	Ø185	3	10
	2959	Над рессорами	315×160	3	10
ТЭП70, 2ТЭ70, 2ТЭ116, ТЭП150 2ТЭ25К	7842	Над пружинами	Ø230	1	30
2ТЭ121	7842	Над пружинами	Ø190	3	25
2ТЭ25А	7842	Над пружинами	Ø270	1	30

Жёсткость резинового амортизатора:

$$Ж_{РА} = \frac{E_p \cdot F}{n \cdot H},$$

где F – площадь амортизатора;

n – число слоёв.

Статический прогиб резинометаллического амортизатора:

$$f_{PA} = \frac{Q_{PA}}{Ж_{PA}}.$$

В случае, если статический прогиб амортизатора менее 1 мм, то его можно не учитывать в дальнейших расчетах.

Напряжение сжатия резинового амортизатора:

$$\sigma = \frac{Q_{PA}}{F} \leq [\sigma],$$

где Q_{PA} – нагрузка на резинометаллический амортизатор.

Допускаемое напряжение сжатия может быть найдено из выражения:

$$[\sigma] = \varepsilon \cdot E_p,$$

где $\varepsilon = 0,1 \dots 0,15$ – допустимая относительная деформация резины.

1.1.2 Расчёт листовых рессор

В случае применения на локомотиве сбалансированного рессорного подвешивания в качестве балансиров, как правило, используются листовые рессоры. Причём, так как рессора при малых нагрузках работает как жёсткая балка, последовательно с ней в схему подвешивания включён резинометаллический амортизатор прямоугольной формы.

Зная нагрузку на листовую рессору « $Q_{ЛР}$ » и её прогиб « $f_{ЛР}$ » определим жёсткость листовой рессоры « $Ж_{ЛР}$ »:

$$Ж_{ЛР} = \frac{Q_{ЛР}}{f_{ЛР}},$$

где $f_{ЛР}$ – статический прогиб листовой рессоры, принимается 40 % от прогиба первой ступени, $f_{ЛР} = 0,4 \cdot f_{ст}$.

Нагрузка и прогибы листовой рессоры и пружин при сбалансированном подвешивании определяются согласно схемам, приведенным на рис. 2 и 3.

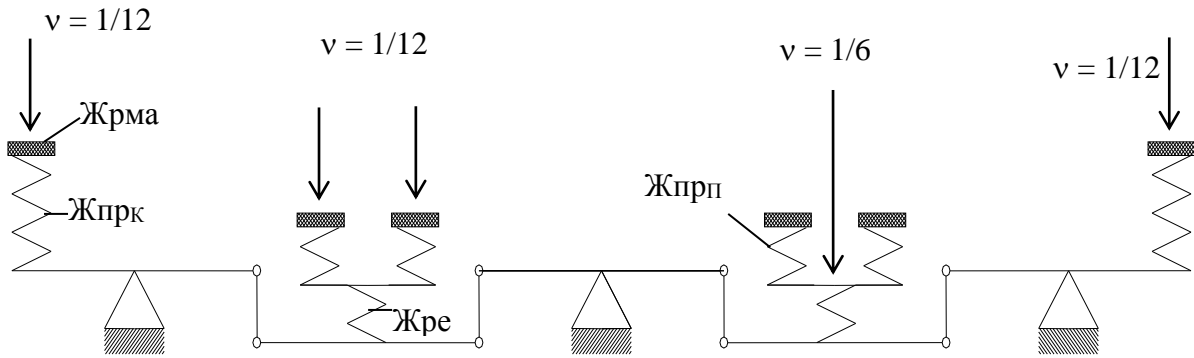


Рис. 2. Схема нижней ступени сбалансированного рессорного подвешивания тепловоза 2ТЭ10Л

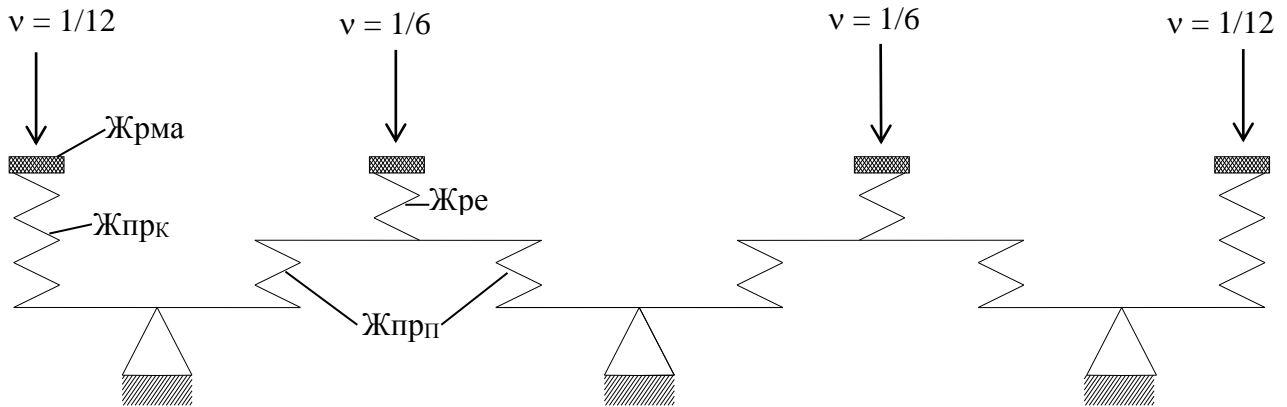


Рис. 3. Схема нижней ступени сбалансированного рессорного подвешивания тепловоза ТЭП60

Количество листов ступенчатой части (n):

$$n = \frac{3 \cdot \left(L - \frac{a}{3}\right)^3 \cdot Ж_{ЛР}}{8 \cdot E \cdot b \cdot h^3} - 1,5 \cdot m,$$

где L – длина рессоры;

m – число дополнительных коренных листов;

b – ширина листа рессоры;

h – толщина листа рессоры;

a – ширина хомута;

E – статический модуль упругости, $E = 2,05 \cdot 10^8 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2}$.

Задавшись размерами листовой рессоры тепловоза-образца, по данным табл. 3 определяем n .

Таблица 3

Основные размеры рессор

Тепловоз	Размеры рессоры					
	L, мм	b, мм	h, мм	a, мм	n, шт	m, шт
2ТЭ10Л	1150	120	16	120	6	2
ТЭП60	1050	120	16	110	6	2
2ТЭ121	1420	130	16	125	9	2

При расчёте количество листов получается, как правило, дробным. Поэтому его необходимо округлить, после чего жёсткость рессоры необходимо пересчитать по формуле:

$$J_{\text{ЛР}}^* = \frac{8 \cdot E \cdot (n + 1,5 \cdot m) \cdot b \cdot h^3}{3 \cdot \left(L - \frac{a}{3}\right)^3}.$$

Далее производится расчёт напряжения в листах рессоры. Напряжения изгиба:

— в листах ступенчатой части:

$$\sigma_{\text{ст}} = \frac{3 \cdot Q_{\text{ЛР}} \cdot L}{2 \cdot b \cdot h^2 \cdot (n + 1,5 \cdot m)};$$

— в дополнительных коренных листах:

$$\sigma_{\text{к}} = \frac{9 \cdot Q_{\text{ЛР}} \cdot L}{4 \cdot b \cdot h^2 \cdot (n + 1,5 \cdot m)} = 1,5 \cdot \sigma_{\text{ст}}.$$

Допустимое напряжение от изгиба:

$$[\sigma] = 550000 \dots 600000 \text{ кПа}.$$

Если $\sigma > [\sigma]$, то необходимо увеличить количество листов ступенчатой части (n).

Уточняем статический прогиб листовой рессоры:

$$f_{\text{ЛР}}^* = \frac{Q_{\text{ЛР}}}{Ж_{\text{ЛР}}^*}.$$

Определяем прогиб цилиндрической пружины рессорного узла:

$$f_{\text{Ц}}^{\text{PY}} = f_{\text{СТ}} - f_{\text{ЛР}}^*.$$

1.1.3 Расчёт цилиндрических пружин

Зная нагрузку на пружинный комплект « $Q_{\text{Ц}}$ » и её прогиб « $f_{\text{Ц}}$ » определим жёсткость этого комплекта « $Ж_{\text{К}}$ »:

$$Ж_{\text{К}} = \frac{Q_{\text{Ц}}}{f_{\text{Ц}}}.$$

Для упрощения расчетов в курсовой работе (проекте) принимаем пружинный комплект, состоящий из одной цилиндрической пружины, тогда

$$Ж_{\text{Ц}} = \frac{Q_{\text{Ц}}}{f_{\text{Ц}}},$$

где $f_{\text{Ц}}$ – статический прогиб пружины,

$$f_{\text{Ц}} = f_1 - f_{\text{ЛР}} - f_{\text{РА}}.$$

Число рабочих витков пружины:

$$n_{\text{Ц}} = \frac{G \cdot d^4}{8 \cdot D^3 \cdot Ж_{\text{Ц}}},$$

где G – модуль упругости второго рода для стали пружины,

$$G = 8 \cdot 10^7 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2},$$

D – средний диаметр витка;

d – диаметр прутка, из которого навита пружина.

Общее число витков пружины:

$$n = n_p + 1,5$$

Размер пружин, применяемых на тепловозах, приведены в табл. 4.

Основные размеры пружин тепловозов

Тепловоз	Место установки	Диаметр пружины (D), мм	Диаметр прутка (d), мм
2ТЭ10Л	Наружная	248	36
	Внутренняя	172	23
2ТЭ116 (1 вар.)	Наружная	230	36
	Внутренняя	155	23
2ТЭ116 (2 вар.)	Наружная	248	36
	Средняя	170	23
	Внутренняя	120	16
ТЭП150	Буксовый узел	236	38
2ТЭ121	Буксовый узел	138	28
2ТЭ70	Буксовый узел	185	38
	Вторая ступень	198	42
ТЭП70	Буксовый узел	185	38
	Вторая ступень	198	42
ТЭП60	Боковая опора	205	36
	Концевой узел	205	38
	Средний узел	185	40
2ТЭ25К	Буксовый узел	246	36
2ТЭ25А	Буксовый узел	236	42
	Вторая ступень	198	42

В пружине действуют две группы касательных напряжений: напряжение от среза и от кручения. Напряжение от среза:

$$\tau_c = \frac{4 \cdot Q_{\text{ц}}}{\pi \cdot d^2}.$$

где $Q_{\text{ц}}$ – нагрузка на пружину.

Напряжение от кручения:

$$\tau_K = \frac{8 \cdot D \cdot Q_{II}}{\pi \cdot d^3}.$$

Суммарное касательное напряжение:

$$\tau = \tau_C + \tau_K = \frac{8 \cdot D \cdot Q_{II}}{\pi \cdot d^3} \cdot \left(1 + \frac{d}{2 \cdot D}\right) \leq [\tau].$$

При сжатии пружины средний диаметр витка несколько возрастает. Поэтому возникают нормальные напряжения растяжения по внутреннему диаметру прутка, а по наружному – напряжения сжатия. Учитывая этот фактор, расчётную формулу (39) можно представить в виде:

$$\tau = k \frac{8 \cdot D \cdot Q_{II}}{\pi \cdot d^3} \leq [\tau],$$

где k – коэффициент концентрации напряжений, учитывающий дополнительные факторы, зависящие от диаметра прутка d и пружины D .

$$k_K = 1 + \frac{1,25}{c} + \frac{0,875}{c^2} + \frac{1}{c^3}$$

где $c = D/d$ – индекс пружины.

Диаметр проволоки для изготовления пружин рессорного подвешивания локомотивов может быть равен 22; 30; 36; 40 мм.

Допустимое напряжение от статической нагрузки:

$$[\tau] = 500 \text{ МПа.}$$

Если суммарное касательное напряжение пружины больше допустимого, то необходимо применить комплект из двух пружин.

В случае применения двойных пружин в комплекте исходят из условия $\tau_1 = \tau_2$, $c_1 = c_2$ и $k_1 = k_2$. Тогда справедливы следующие соотношения:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{d_1^3}{d_2^3} \cdot \frac{D_2}{D_1}$$

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{d_1}{d_2} \cdot \frac{D_2^2}{D_1^2}$$

Для каждой пружины в этом случае необходимо определить

количество витков и найти суммарное касательное напряжение. Для сбалансированного рессорного подвешивания расчеты выполняются для пружин рессорного узла и концевого узла.

1.1.4 Расчёт вертикальной жёсткости поводковой буксы

При вертикальном перемещении рамы тележки относительно буксы в шарнирах поводков (рис. 4) возникает напряжение скручивания. Поэтому жёсткость рессорного подвешивания увеличивается.

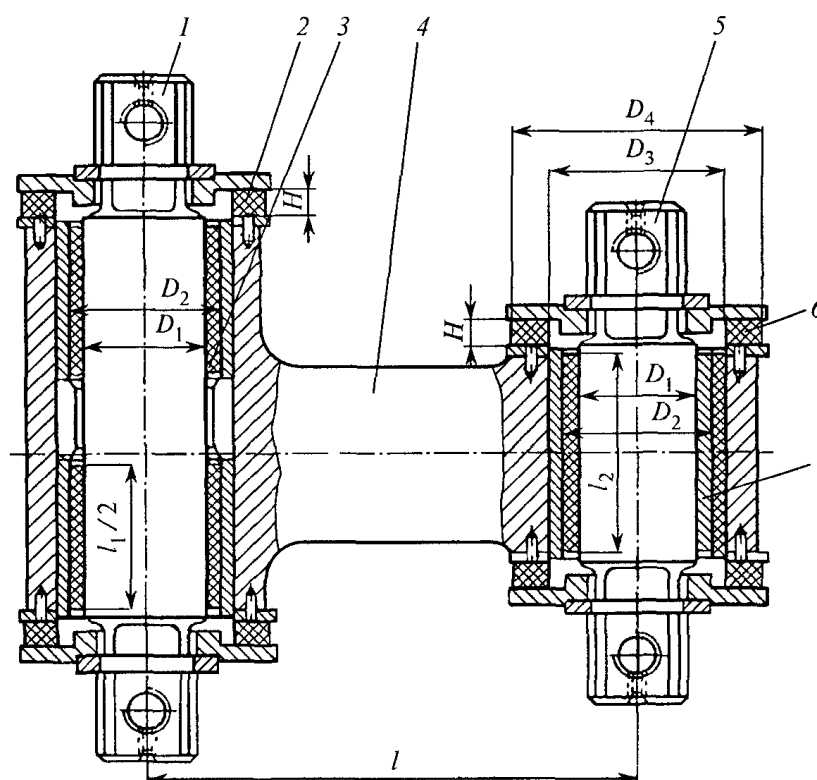


Рис. 4. Буксовый поводок:

1, 5 – оси поводка; 2, 6 – торцевые шайбы; 3, 7 – резинометаллические сайлент-блоки; 4 – поводок

Угловые жёсткости поводков:

$$Ж_{\varphi i} = \pi \cdot G \cdot \left(\frac{D_1^2 \cdot D_2^2 \cdot l_i}{D_2^2 - D_1^2} + \frac{D_4^4 - D_3^4}{16H} \right),$$

где D_1 и D_2 – соответственно внутренний и наружный диаметры резиновой втулки, м;

l_i – длина втулки (l_1 и l_2), м;

D_3 и D_4 – соответственно внутренний и наружный диаметры торцовой шайбы, м;

H – толщина резиновых прокладок торцовых шайб, м.

Вертикальная жёсткость поводковой буксы:

$$J_B = \frac{n_{\Pi}(J_{\varphi 1} + J_{\varphi 2})}{L^2},$$

где n_{Π} – количество поводков в буксовом узле;

L – длина поводка.

Размеры резиновых втулок тепловозов приведены в табл. 5.

Таблица 5

Размеры резиновых втулок тепловозов

Тепловоз	Параметр, см							
	D_1	D_2	D_3	D_4	l_1	l_2	H	L
ТЭП60	6	7,4	8,5	12	15	10	1,3	24
2ТЭ116, ТЭП70, 2ТЭ70, ТЭП150, 2ТЭ25К	6,2	7,8	8,8	12	12	9	1,7	32
2ТЭ25А	5	8,4	–	–	9	9	–	70
2ТЭ121	5,2	8,2	8,2	12,8	17	8,4	1,7	25

Максимальное напряжение сдвига в резиновой втулке действует на поверхности крепления резины к валику.

Величина этого напряжения:

$$\tau = \frac{2G \cdot D_2^2 \cdot z}{(D_2^2 - D_1^2)L},$$

где z – величина вертикального перемещения тележки относительно буксы.

Жёсткость поводкового буксового узла:

$$Ж_{БУ} = 2 \cdot \frac{Ж_{Ц} \cdot Ж_{РА}}{Ж_{Ц} + Ж_{РА}} + Ж_{В}.$$

После окончательного уточнения параметров всех упругих элементов производится расчёт жёсткости подвешивания тележки, в общем виде:

$$Ж_{Т} = \frac{1}{\sum_{i=1}^j \frac{v_i^2}{Ж_i}} + 6Ж_{В},$$

где v – коэффициент, показывающий отношение нагрузки на данный упругий элемент к подрессоренному весу;

j – количество упругих элементов в рассматриваемой схеме рессорного подвешивания.

Формулы для расчета жесткости тележки в зависимости от серии тепловоза приведены в табл. 6.

Таблица 6

Формулы для расчета жесткости тележки

Серия тепловоза

2ТЭ10Л	ТЭП60	2ТЭ121	2ТЭ116; ТЭП70; 2ТЭ70; 2ТЭ25К; 2ТЭ25А
--------	-------	--------	---

$$Ж_{Т} = \frac{36 \cdot Ж_{КУ} \cdot Ж_{РУ}}{4 \cdot Ж_{КУ} + Ж_{РУ}} \quad Ж_{Т} = \frac{36 \cdot Ж_{КУ} \cdot Ж_{РУ}}{4 \cdot Ж_{КУ} + Ж_{РУ}} + 6Ж_{В} \quad Ж_{Т} = 6Ж_{РУ} + 6Ж_{В} \quad Ж_{Т} = Ж_{БУ} \cdot 6$$

$$Ж_{КУ} = \frac{Ж_{Ц}^{КУ} \cdot Ж_{РА}}{Ж_{Ц}^{КУ} + Ж_{РА}} \quad Ж_{КУ} = \frac{Ж_{Ц}^{КУ} \cdot Ж_{РА}}{Ж_{Ц}^{КУ} + Ж_{РА}} \quad Ж_{РУ} = \frac{2 \cdot Ж_1 \cdot Ж_{ЛР}}{2 \cdot Ж_1 + Ж_{ЛР}} \quad Ж_{БУ} = 2 \cdot Ж_{Ц} + Ж_{В}$$

$$Ж_1 = \frac{Ж_{Ц}^{РУ} \cdot Ж_{РА}}{Ж_{Ц}^{РУ} + Ж_{РА}} \quad Ж_1 = \frac{Ж_{Ц}^{РУ} \cdot Ж_{РА}}{Ж_{Ц}^{РУ} + Ж_{РА}} \quad Ж_1 = \frac{Ж_{Ц}^{РУ} \cdot Ж_{РА}}{Ж_{Ц}^{РУ} + Ж_{РА}}$$

$$Ж_{РУ} = \frac{2 \cdot Ж_1 \cdot Ж_{ЛР}}{2 \cdot Ж_1 + Ж_{ЛР}} \quad Ж_{РУ} = \frac{2 \cdot Ж_1 \cdot Ж_{ЛР}}{2 \cdot Ж_1 + Ж_{ЛР}}$$

1.2 Расчёт упругих элементов подвешивания кузова

При двухъярусном рессорном подвешивании кузов опирается на тележки через боковые опоры, установленные на боковинах рамы тележки. Эти опоры воспринимают одинаковую нагрузку, равную:

$$Q_{\text{БО}} = \frac{G_{\text{К}}}{n_{\text{ОП}}},$$

где $G_{\text{К}}$ – вес кузова,

$n_{\text{ОП}}$ – количество боковых опор.

$$G_{\text{К}} = P_{\text{СЦ}} - 2 \cdot G_{\text{Т}},$$

где $G_{\text{Т}}$ – вес тележек.

Зная нагрузку, приходящуюся на опору и прогиб второй ступени рессорного подвешивания, определяем жесткость одной опоры:

$$Ж_{\text{БО}} = \frac{Q_{\text{БО}}}{f_{\text{ст2}}}.$$

В зависимости от заданного прототипа производим расчет пружин или резинометаллических амортизаторов для второй ступени рессорного подвешивания по формулам приведенным выше. Внешний диаметр резинометаллического амортизатора принимаем 0,28 м, а высоту одного слоя 0,035 м. Данные о пружинах приведены в таблице 4.

Жесткость рессорного подвешивания кузова:

$$Ж_{\text{К}} = n_{\text{ОП}} \cdot Ж_{\text{БО}}.$$

2 Расчёт частот собственных колебаний локомотива

Колебания подпрыгивания при одноярусном рессорном подвешивании:

— циклическая частота:

$$\omega_{\Pi} = \sqrt{\frac{2 \cdot Ж_{\Gamma}}{M_{\Pi}}}$$

где M_{Π} – подрессоренная масса тепловоза,

$$M_{\Pi} = \frac{Q_{\Pi}}{9,81};$$

— период колебаний:

$$T_{\Pi} = \frac{2 \cdot \pi}{\omega_{\Pi}};$$

— частота:

$$\gamma_{\Pi} = \frac{\omega_{\Pi}}{2 \cdot \pi}$$

Для тепловоза с двухярусным рессорным подвешиванием кузов и тележки будут совершать две формы главных колебаний с двумя частотами:

$$\omega_{\Pi 1} = \sqrt{\frac{a+c}{2} + \sqrt{\left(\frac{a+c}{2}\right)^2 - c(a-b)},}$$

$$\omega_{\Pi 2} = \sqrt{\frac{a+c}{2} - \sqrt{\left(\frac{a+c}{2}\right)^2 - c(a-b)},}$$

$$a = \frac{2Ж_{\Gamma} + Ж_{\text{К}}}{2M_{\Gamma}}; \quad b = \frac{Ж_{\text{К}}}{2M_{\Gamma}}; \quad c = \frac{Ж_{\text{К}}}{M_{\text{К}}}$$

где M_{Γ} – подрессоренная масса тележки;

$M_{\text{К}}$ – подрессоренная масса кузова;

$Ж_{\text{К}}$ – жёсткость рессорного подвешивания кузова.

Для продольной качки:

$$\omega_{\Upsilon} = \sqrt{\frac{D_{\Upsilon} - Q_{\Pi} \cdot H}{J_{\Upsilon}}}, c^{-1}$$

где D_Y – продольная угловая жёсткость рессорного подвешивания:

$$D_Y = \sum_{i=1}^m \mathcal{J}_i \cdot x_i^2$$

где \mathcal{J}_i – жёсткость i -го упругого элемента или группы сбалансированных рессор;

x_i – координаты упругих элементов элемента или группы сбалансированных рессор относительно центра упругости в продольном направлении;

Q_{Π} – подрессоренный вес тепловоза;

H – высота центра тяжести надрессорного строения над центром упругости, $H=1.1$ м;

J_Y – момент инерции подрессоренной массы тепловоза относительно поперечной оси y , проходящей через центр упругости,

$$J_Y = \frac{M_{\Pi}}{12} (L_C^2 + 4 \cdot H^2) + M_{\Pi} \cdot H^2,$$

L_C – длина секции тепловоза, м.

В случае применения сбалансированного рессорного подвешивания и поводковых букс:

$$D_Y = 2 \cdot \mathcal{J}_{\Gamma}^{\text{СБ}} \cdot x_i^2 + 4 \cdot \mathcal{J}_{\text{В}} \sum_{i=1}^n x_i^2,$$

где $\mathcal{J}_{\Gamma}^{\text{СБ}}$ – жёсткость сбалансированного рессорного подвешивания тележки;

x_i – расстояние от центра упругости до i -й колёсной пары.

В случае применения индивидуального рессорного подвешивания:

$$D_Y = 4 \cdot \mathcal{J}_{\text{БУ}} \sum_{i=1}^n x_i^2,$$

Для поперечной качки:

$$\omega_X = \sqrt{\frac{D_X - Q_{\Pi} \cdot H}{J_X}}, \text{ с}^{-1},$$

где D_x – поперечная угловая жёсткость рессорного подвешивания:

$$D_x = \sum_{i=1}^m Ж_i \cdot b_i^2, \frac{\text{рад}}{\text{с}},$$

где $Ж_i$ – жёсткость i -го упругого элемента или группы сбалансированных рессор;

b_i – координаты упругих элементов элемента или группы сбалансированных рессор относительно центра упругости в поперечном направлении, принимаем $b_i = 1,1$ м;

J_x – момент инерции подрессоренной массы тепловоза относительно поперечной оси x , проходящей через центр упругости,

$$J_x = \frac{M_{\Pi}}{12} (b_c^2 + 4 \cdot H^2) + M_{\Pi} \cdot H^2.$$

Путевая частота колебания:

$$\omega_{\text{ПЧ}} = \sqrt{\frac{i}{r \cdot S}} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{\sum_{j=1}^n a_j^2}{n \cdot S^2}}}$$

Длина волны виляния тележки:

$$L_{\text{ПЧ}} = \frac{2\pi}{\omega_{\text{ПЧ}}},$$

где r – радиус колеса по кругу катания;

i – конусность бандажа по кругу катания;

n – число осей тележки;

a_j – расстояние от центра тележки до j -й колёсной пары.

Путевая частота колебания:

$$v_{\text{ПЧ}} = \frac{V_K}{L_{\text{ПЧ}}}.$$

Период колебаний:

$$T_{\text{пч}} = \frac{1}{v_{\text{пч}}}.$$

По результатам многочисленных опытных данных, по динамическим испытаниям локомотивов ВНИИЖТ предлагает эмпирические формулы для определения ускорений подрессоренных частей тележек и кузова от колебаний подпрыгивания.

$$\ddot{z}_T = \left(0,5 + \frac{V_k}{f_{\text{ст1}} + 1,5 \cdot f_{\text{ст2}}} \right) \cdot g;$$

$$\ddot{z}_k = \left(0,5 + \frac{0,2 \cdot V_k}{f_{\text{ст1}} + 1,5 \cdot f_{\text{ст2}}} \right) \cdot g;$$

где V – скорость движения тепловоза.

g – ускорение свободного падения, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$;

$f_{\text{ст}}$ – статический прогиб рессорного подвешивания.

3 Динамическое вписывание локомотива в кривые

Задачей динамического вписывания является определение максимальной скорости движения локомотива в кривой, при которой обеспечивается комфортабельность для обслуживающего персонала и безопасность движения. Критерием комфортабельности является величина непогашенного ускорения. Его величина не должна превышать $0,7 \text{ м/с}^2$, при котором человек не испытывает чувство страха при входе экипажа в кривую. Безопасность движения оценивается величинами боковых давлений на рельсы. Чрезмерная их величина может привести к всползанию колеса на рельс и к последующему его сходу или к расшивке пути, из-за отжатия рельса.

Прохождение локомотивом кривого участка пути можно разделить на три этапа: вход в кривую, движение по кривой и выход из кривой. Вход в кривую и выход из неё представляет собой неустановившееся движение, а движение в кривой постоянного радиуса можно считать установившимся. Это утверждение справедливо при отсутствии неровностей рельсовых нитей в плане.

Аналитический метод определения сил, действующих на локомотив при движении в кривых, впервые был предложен в конце XIX века в России К.Ю. Цеглинским и в Германии Юбелакером.

В основе метода Цеглинского – Юбелакера лежит положение о том, что движение экипажа в кривых состоит из суммы двух составляющих; поступательного и вращательного. Вращательное происходит относительно точки Ω (рис. 5) называемым полюсом поворота и являющейся основанием перпендикуляра, опущенного из центра кривой на продольную ось экипажа.

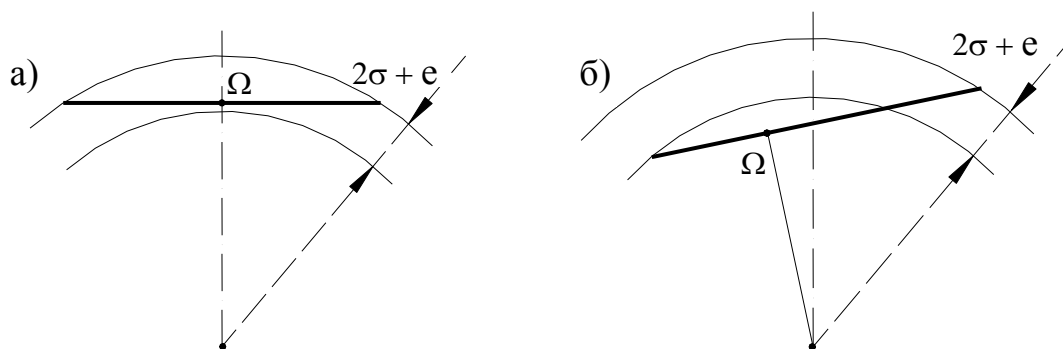


Рис. 5. Схемы установки экипажей в кривом участке пути
а) – хордовая; *б)* – максимального перекоса.

Расстояния от центра поворота до точек контакта колёс с рельсом называются полюсными расстояниями.

В данной курсовой работе (проекте) приняты следующие допущения: все горизонтальные силы действуют в плоскости головок рельсов, рельсы абсолютно жёсткие и не имеют отклонений от радиуса в плане, коэффициент трения между колесом и рельсом имеет постоянное значение, фактические вертикальные нагрузки всех колёс на рельсы одинаковые и имеют постоянные значения, силы тяги и торможения отсутствуют.

3.1 Силы, действующие на экипаж локомотива в кривых

При движении в кривых на экипаж действует центробежная сила, приложенная в его центре тяжести. Если тележка симметрична относительно шкворня, центробежная сила будет приложена в центре шкворня и определится по формуле:

$$\Pi = \frac{(m_T + 0,5m_K)V^2}{R},$$

где m_T – масса тележки локомотива;

m_K – масса кузова;

V – скорость движения;

R – радиус кривой.

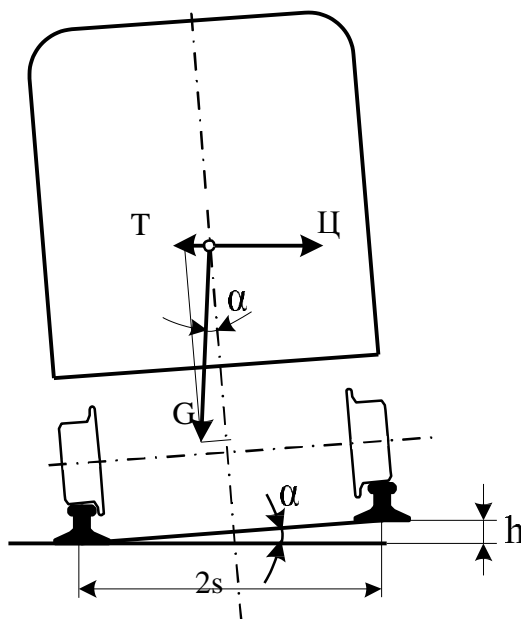


Рис. 6. Силы, действующие на экипаж от возвышения наружного рельса

Если центр тяжести тележки смещён относительно шкворня, то необходимо учесть отдельно центробежную силу тележки, приложенную в центре тяжести тележки, и центробежную силу от половины массы кузова, приложенную к шкворню.

В кривых, в зависимости от радиуса и допустимой скорости, с целью компенсации центробежной силы делают возвышение наружного рельса на величину h . максимальное значение h принято 150 мм. Поэтому в кривых на локомотив действует горизонтальная составляющая силы тяжести локомотива, которая направлена к центру кривой (рис. 6). В общем случае эта сила определится из выражения:

$$T = (m_T + 0,5m_K) \cdot g \frac{h}{2S},$$

где h – возвышение наружного рельса;

$2S$ – расстояние между кругами катания колёс, равное 1,6 м.

Если тележка не симметрична относительно шкворня, то необходимо отдельно учитывать горизонтальную составляющую силы тяжести тележки, приложенную в центре тяжести тележки, и горизонтальную составляющую силы тяжести половины массы кузова, приложенной к шкворню.

3.2 Определение моментов сил трения и возвращающих моментов

Современные тепловозы имеют экипажную часть, которая, поворачиваясь на некоторый угол, позволяют локомотиву успешно проходить кривые участки пути при значительной длине его базы [Ошибка! Источник ссылки не найден.]. Этому также способствует свободный разбег колесной пары. Для снижения динамических боковых усилий на рельсы крайние колесные пары в трехосных тележках имеют с рамой упругую связь, либо с помощью пружинных осевых упоров (2ТЭЗ, ТЭМ2 и 2ТЭ10Л), либо с помощью буксовых поводков с резиновыми амортизаторами (2ТЭ116, 2ТЭ10М, В, 2ТЭ121, ТЭП60, ТЭП70) [Ошибка! Источник ссылки не найден.].

По типу связи с кузовом тележки делятся на две группы: с жестким

шкворнем и с упругим шкворневым устройством. У тележек второй группы тележка не только поворачивается относительно кузова, но имеет и поперечное перемещение.

Упругая связь тележек с кузовом у различных серий имеет свои особенности, которые заключаются в расположении опорно-возвращающих устройств на тележке, их конструкции, а также конструкции шкворневой или бесшкворневой связи кузова с тележками.

3.2.1 Тележки тепловоза 2ТЭЗ, 2ТЭ10Л, М62

Тележки этих тепловозов – челюстные, с центральным жестким шкворнем. Их база равна 4,2 м. Колесные пары и роликовые опорно-возвращающие устройства расположены симметрично относительно шкворня. Радиус установки опорно-возвращающих устройств R составляет 1,365 м. При повороте тележки вокруг шкворня за счет набегания роликов на наклонные поверхности опорных плит создается возвращающий момент M_B и за счет поворота опор относительно кузова – момент трения $M_{ТР}$. Для данных тепловозов угол наклона опорных плит составляет $\alpha = 2^\circ$, $M_B = 17,95$ кН·м, угол поворота опор составляет $\beta = 1,5^\circ$, $M_{ТР} = 13,60$ кН·м, а суммарный момент при повороте тележки равен 31,55 кН·м.

3.2.2 Тележки тепловозов 2ТЭ116, 2ТЭ10М, 2ТЭ121, 2ТЭ25К

Тележки тепловозов 2ТЭ116, 2ТЭ10М, 2ТЭ25К бесчелюстные, с симметричным расположением колесных пар. База тележки составляет $b = 3,7$ м. Кузов опирается на роликовую опору тележки через четыре комбинированные резинороликовые опоры, представляющие собой набор семи резиновых элементов диаметром 280 мм и толщиной 35 мм с привулканизированными к ним пластинами толщиной 2 мм каждая.

На раме тележки опоры установлены таким образом, чтобы ролики

перекачивались по касательной к окружности, описанной из центра шкворня радиусом, равным межцентровому расстоянию опоры и шкворня. Для передних опор этот радиус равен $R_1 = 1632$ мм, а для задних $R_2 = 1232$ мм. При повороте тележки относительно кузова ролики перекачиваются по наклонным поверхностям опор (угол наклона равен 2°), создавая возвращающий момент M_B . Помимо возвращающего момента повороту тележки препятствует момент трения $M_{Тр}$ в подвижных сопрягаемых деталях опор. Этот момент необходим для демпфирования колебаний виляния тележки относительно шкворня. Экспериментальная зависимость суммарного момента от угла поворота тележки приведена на рис. 7.

Поворот тележки начинается после преодоления начального момента трения около 4,4 кН·м. При повороте на угол до $0,8^\circ$ момент линейно возрастает до 21,0 кН·м, далее при повороте до 3° он достигает 24,0...25 кН·м. При угле поворота 3° угловая подвижность тележки ограничивается корпусом опоры и в дальнейшем обеспечивается упругой деформацией резинометаллических опор. Суммарный момент M , препятствующий повороту тележки, определяется по графику рис. 7 [Ошибка! Источник ссылки не найден.].

Угол поворота тележки для положения «наибольшего перекоса» находится по формулам [Ошибка! Источник ссылки не найден.], рад:

для первой тележки:

$$\operatorname{tg} \alpha_{II} = \frac{\frac{L_{III}}{2} - x_2}{2R},$$

для задней тележки:

$$\operatorname{tg} \alpha_3 = \frac{\frac{L_{III}}{2} + x_2}{2R},$$

где L_{III} – расстояние между шкворнями, м,

x_2 – расстояние от оси второй колесной пары до центра поворота тележки, м.

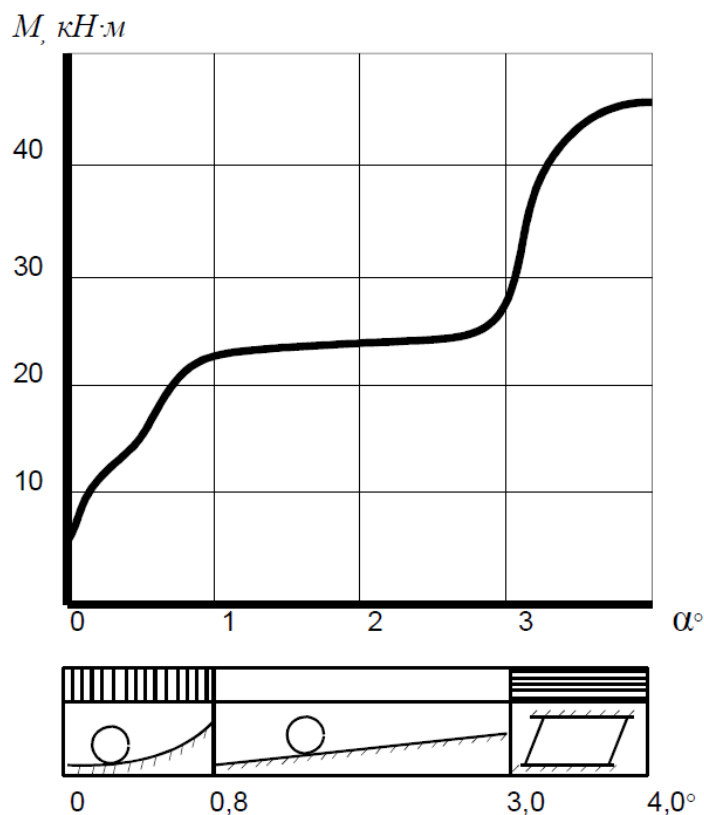


Рис. 7. Зависимость суммарного момента от угла поворота тележки

Углы α_1 и α_3 получаются в радианах, поэтому их необходимо пересчитать в градусы: 1 радиан равен $57^{\circ}3'$. Возвращающий момент M_B , появляющийся вследствие разности возвращающих сил, создаваемых передними $2B_{P1}$ и задними опорами $2B_{P2}$, определяется по формуле [Ошибка! Источник ссылки не найден.]

$$M_B = B_{P1}l_1 - B_{P2}l_2.$$

Так как передние и задние опоры располагаются на разном расстоянии от поперечной оси тележки ($l_1 = 1230$ мм и $l_2 = 515$ мм), то при повороте последней отклонения обеих опор будут разными. Для определения возвращающих сил B_{P1} и B_{P2} необходимо знать отклонение передних d_1 и задних d_2 опор тележки, которые определяются [Ошибка!

Источник ссылки не найден.]:

— для передней тележки

$$\begin{aligned} d_1 &= d + \alpha_{II} l_1 \\ d_2 &= d - \alpha_{II} l_2 \end{aligned}$$

— для задней тележки

$$\begin{aligned} d_1 &= d - \alpha_3 l_1 \\ d_2 &= d + \alpha_3 l_2 \end{aligned}$$

где d – величина отбоя кузова, мм.

Значения углов поворота тележек определяются в положениях наибольшего перекоса по формулам, а величиной d следует задаться равной величине свободного хода шкворневого устройства, т. е. в пределах 20 мм. Определив значения d_1 и d_2 , по графику [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**] (рис. 8) определяют возвращающие силы, и, подставив их в формулу, находят значение момента M_B , который можно принять постоянным для всех этапов динамического вписывания.

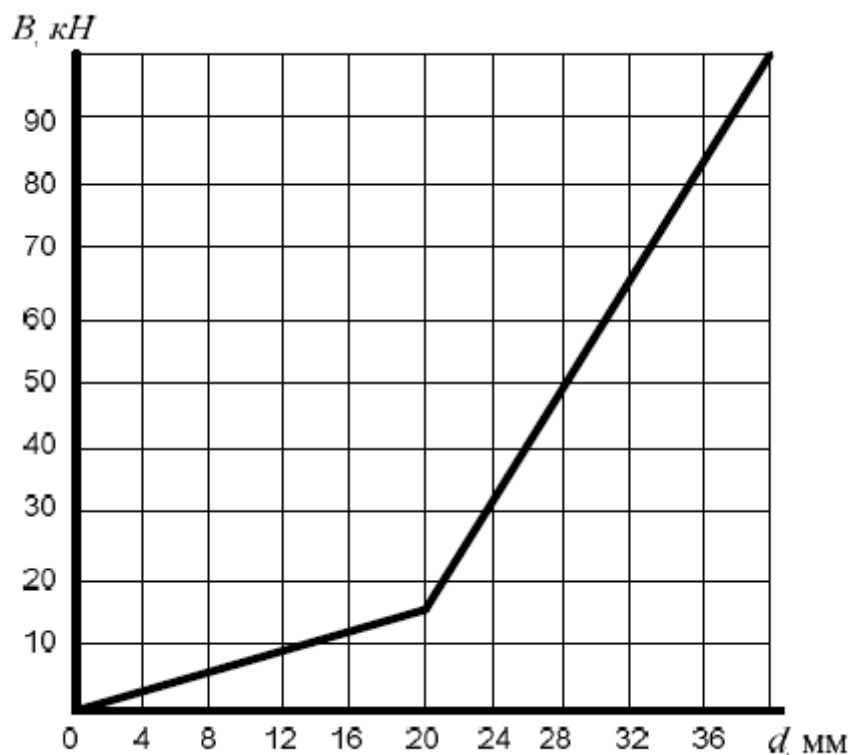


Рис. 8. Зависимость возвращающих сил от величины отклонения тележек

3.2.3 Тележка тепловоза ТЭП60

Тележка тепловоза ТЭП60 бесчелюстная, с опорно-рамным подвешиванием ТЭД. База тележки $b = 4,6$ м. Колесные пары расположены несимметрично: средние оси тележек сдвинуты к середине тепловоза на $0,1$ м. Кузов опирается на тележку через две маятниковые опоры с резиновыми конусами по концам и на четыре пружинные опоры. Середины главных опор соединены с кронштейнами кузова пружинными аппаратами, удерживающими опоры в вертикальной плоскости. При отклонении кузова на величину d пружины обоих возвращающих аппаратов сжимаются, и маятниковые опоры занимают наклонное положение. При этом кузов скользит по верхней плоскости боковых опор. Относу кузова противодействуют возвращающие силы, вызванные сжатием пружин возвращающих аппаратов, и силы трения на боковых опорах $F_{БО}$. Момент трения $M_{ТР}$ и возвращающий момент $M_{В}$ определяется по формулам [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**]:

$$M_{ТР} = 2F_{БО} \left[\sqrt{a^2 + (k + e)^2} + \sqrt{a^2 + (k - e)^2} + \frac{2}{3}d \right],$$

$$M_{В} = 2 \left(\frac{Ж}{2} - \frac{P_{БО}}{h} \right) k^2 \alpha,$$

где $F_{БО}$ – сила трения на боковой опоре, которая определяется по формуле [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**]

$$F_{БО} = P_{БО} f_{ТР} = 47.5 \cdot 0.1 = 4.75 \text{ кН};$$

$Ж = 955$ – жесткость пружины возвращающего аппарата, кН/м;

$a = 1,39$ – расстояние от оси боковой опоры до продольной оси тележки, м;

$k = 1,125$ – половина расстояния между боковыми опорами, м;

$e = 0,176$ – смещение боковых опор относительно главных, м;

$d = 0,2$ – диаметр боковых опор, м;

$h = 0,512$ – высота главной опоры, м;

α – угол поворота тележки в радианах.

3.2.4 Тележка тепловоза ТЭП70

У тепловоза ТЭП70 кузов опирается на тележку через восемь цилиндрических пружин, расположенных на боковинах рамы тележки (по четыре с каждой стороны). Шкворневое устройство расположено перед средней осью на расстоянии 0,77 м и позволяет перемещаться кузову в поперечном направлении на 60 мм от своей оси. При боковом отnose кузова пружины занимают наклонное положение. После выбора свободного хода (20 мм) в работу вступает и пружина шкворневого устройства. Вместе с пружиной шкворня боковые пружины, отклоненные от вертикального положения, создают силу, стремящуюся вернуть кузов в свое первоначальное положение. Так как пружины расположены на разном удалении от шкворня, то при повороте тележки их отклонения будут разными, как разной будет и возвращающая сила. Вследствие этого возникает дополнительно возвращающий момент M_B , кН·м,

$$M_B = 2\alpha_{\Pi} J_{\text{ПР}} (l_1^2 + l_2^2 + l_3^2 + l_4^2)$$

где $J_{\text{ПР}}$ – жесткость боковой пружины при поперечной деформации,

$$J_{\text{ПР}} = 42 \text{ кН/м};$$

l_{1-4} – плечи действия возвращающих сил ($l_1 = 1,13$ м, $l_2 = 1,16$ м, $l_3 = 1,4$ м, $l_4 = 1,61$ м);

α_{Π} – угол поворота передней тележки, радиан. Определяется по формуле, приведенной выше.

Момент трения, создаваемый силами сопротивления гасителей, определяется по формуле

$$M_{\text{ТР}} = 2F_c l_{\Gamma},$$

где $F_C = 70 \dots 90$ – сила сопротивления гасителей, кН;

$l_\Gamma = 0,1$ – плечо действия силы, м.

Общий момент определяется суммированием M_B и M_{TP} .

3.2.5 Тележка тепловоза 2ТЭ25А

У тепловоза 2ТЭ25А кузов опирается на тележку через десять цилиндрических пружин, расположенных на боковинах рамы тележки (по пять с каждой стороны). Шкворневое устройство расположено перед средней осью на расстоянии 0,6 м. При боковом отnose кузова пружины занимают наклонное положение. Вместе с пружиной шкворня боковые пружины, отклоненные от вертикального положения, создают силу, стремящуюся вернуть кузов в свое первоначальное положение. Так как пружины расположены на разном удалении от шкворня, то при повороте тележки их отклонения будут разными, как разной будет и возвращающая сила. Вследствие этого возникает дополнительно возвращающий момент M_B , кН·м,

$$M_B = 2\alpha_{\text{П}} J_{\text{ПР}} (l_1^2 + l_2^2 + l_3^2 + l_4^2 + l_5^2),$$

где $J_{\text{ПР}}$ – жесткость боковой пружины при поперечной деформации,

$J_{\text{ПР}} = 42$ кН/м;

l_{1-5} – плечи действия возвращающих сил ($l_1 = 1,13$ м, $l_2 = 1,15$ м, $l_3 = 1,25$ м, $l_4 = 1,4$ м, $l_5 = 1,59$ м);

$\alpha_{\text{П}}$ – угол поворота передней тележки, радиан. Определяется по формуле, приведенной выше.

Момент трения, создаваемый силами сопротивления гасителей, определяется по формуле

$$M_{TP} = 2F_C l_\Gamma,$$

где $F_C = 70 \dots 90$ – сила сопротивления гасителей, кН;

$l_\Gamma = 0,1$ – плечо действия силы, м.

Общий момент определяется суммированием M_B и M_{TP} .

Значения возвращающих (M_B) и демпфирующих (M_{TP}) (момент трения) моментов тележки относительно кузова в соответствии с выбранным локомотивом, при выполнении курсовой работы (проекта), можно определить по упрощенным формулам, приведенным в таблице 7.

Таблица 7

Значения возвращающих (M_B) и демпфирующих (M_{TP}) моментов

	2ТЭ10Л	2ТЭ116	2ТЭ121	2ТЭ25К	ТЭП60	ТЭП70	2ТЭ25А
M_B , кН×м	17,95	22,4	21,3	23	50	603 α	727 α
M_{TP} , кН×м	13,6	0	0	0	35	14	15

3.3 Определение направляющих усилий при движении экипажа в кривой

Расчёт начинается с установки тележки в положение максимального перекоса.

В точках контакта колеса с рельсом возникает сила трения скольжения F (рис. 9). Эти силы направлены перпендикулярно лучам, проведенными из полюса поворота к точкам контакта колеса и рельса в сторону, противоположную вращению тележки. Величина силы трения определится из выражения:

$$F = P\mu,$$

где P – вертикальная нагрузка колеса на рельс;

μ – коэффициент трения, $\mu = 0,25$.

В дальнейших расчётах будут использоваться продольные Q_i и поперечные H_i составляющие сил трения, которые определятся из выражений:

$$Q_i = P\mu \cdot \sin(\beta_i) = P\mu \frac{S}{\sqrt{x_i^2 + S^2}},$$

2								
3								

Значения возвращающих (M_B) и демпфирующих (M_{TP}) (момент трения) моментов тележки относительно кузова определяют по формулам в соответствии с выбранным локомотивом.

Для определения неизвестных сил Y_1 , Y_3 и Π составляются уравнения равновесия экипажа, согласно расчётной схеме (рис. 9).

Эти уравнения при установке тележки в положение максимального перекоса будут иметь вид:

$$\left. \begin{aligned} Y_1 - Y_3 - \Pi + T - 2(H_1 + H_2 - H_3) &= 0 \\ Y_1 x_1 + Y_3 x_3 + (T - \Pi) p - M_B - M_{TP} - 2(H_1 x_1 + H_2 x_2 + H_3 x_3) - 2S(Q_1 + Q_2 + Q_3) &= 0 \end{aligned} \right\}$$

Полагая $V = 0$, а следовательно, $\Pi = 0$, решаем систему уравнений относительно Y_1 и Y_3 . Положительные значения этих сил служит подтверждением правильности вывода о рассматриваемой установке экипажа. Если одно из направляющих усилий, например Y_3 , отрицательно, это указывает на то, что установка перекоса отсутствует.

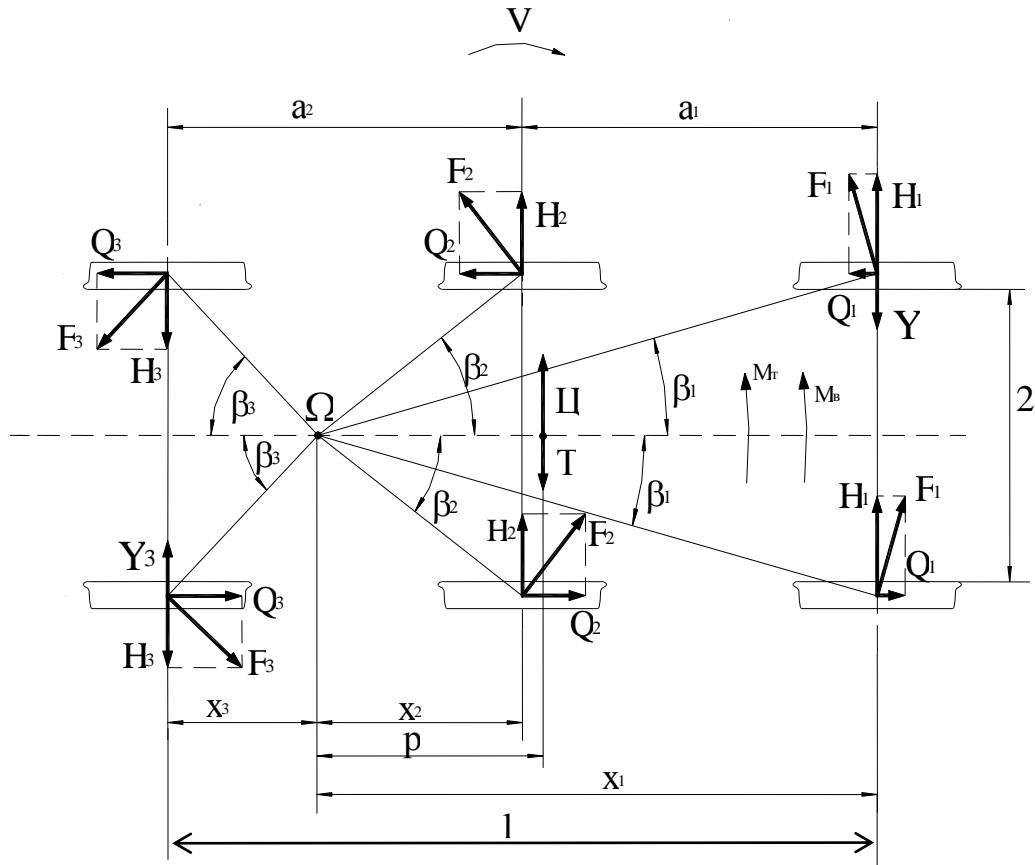


Рис. 9. Расчётная схема динамического вписывание в установке максимального перекоса

Для определения скорости движения (V_1), при которой тележка начнёт переходить из положения максимального перекоса в положение промежуточной установки необходимо принять $Y_3 = 0$. Тогда для определения Y_1 и Π получим следующую систему уравнений:

$$\left. \begin{aligned} Y_1 - \Pi &= 2(H_1 + H_2 - H_3) - T = 0 \\ Y_1 x_1 - \Pi \cdot p &= M_B + M_{TP} - T \cdot p + 2(H_1 x_1 + H_2 x_2 + H_3 x_3) + 2S(Q_1 + Q_2 + Q_3) = 0 \end{aligned} \right\}$$

По полученной величине Π из системы уравнений находятся величины Y_1 и Π , а также скорость V_1 по формуле:

$$V_1 = \sqrt{\frac{R \cdot \Pi}{m_T + 0.5m_K}},$$

Задаваясь рядом значений скорости от нуля до V_1 , определяем для каждого значения скорости значение Π и, подставляя его в систему уравнений находим соответствующие значения Y_1 и Y_3 .

В случае, когда экипаж займёт промежуточное положение, значения

Y_1 и V_1 находятся из системы задаваясь рядом значений x_1 в пределах:

$$\frac{a_1 + a_2}{2} \leq x_1 \leq \frac{a_1 + a_2}{2} + R \frac{2\sigma + e}{a_1 + a_2};$$

где $a_1 + a_2 = l$ – база тележки.

Здесь необходимо иметь ввиду, что с изменением положения полюса Ω будут изменяться и составляющие сил трения Q_i и H_i .

В случае, когда экипаж займёт хордовое положение (рис. 10), полюсные расстояния определяются по формулам:

$$x_1 = x_3, \quad x_2 = a_1 - x_1$$

и соответственно изменятся значения Q_i и H_i .

Прежде всего, определяется скорость V_2 начала установки экипажа в хордовое положение. При этом $Y_3 = 0$ и определяются Y_1 и ζ из следующих уравнений:

$$Y_1 = \frac{2(M_B + M_{TP})}{l} + \frac{4S(Q_1 + Q_2 + Q_3)}{l} + \frac{4x_2 H_2}{l} + 2(H_1 + H_3)$$

$$\zeta = Y_1 - 2(H_1 + H_2 - H_3) + T.$$

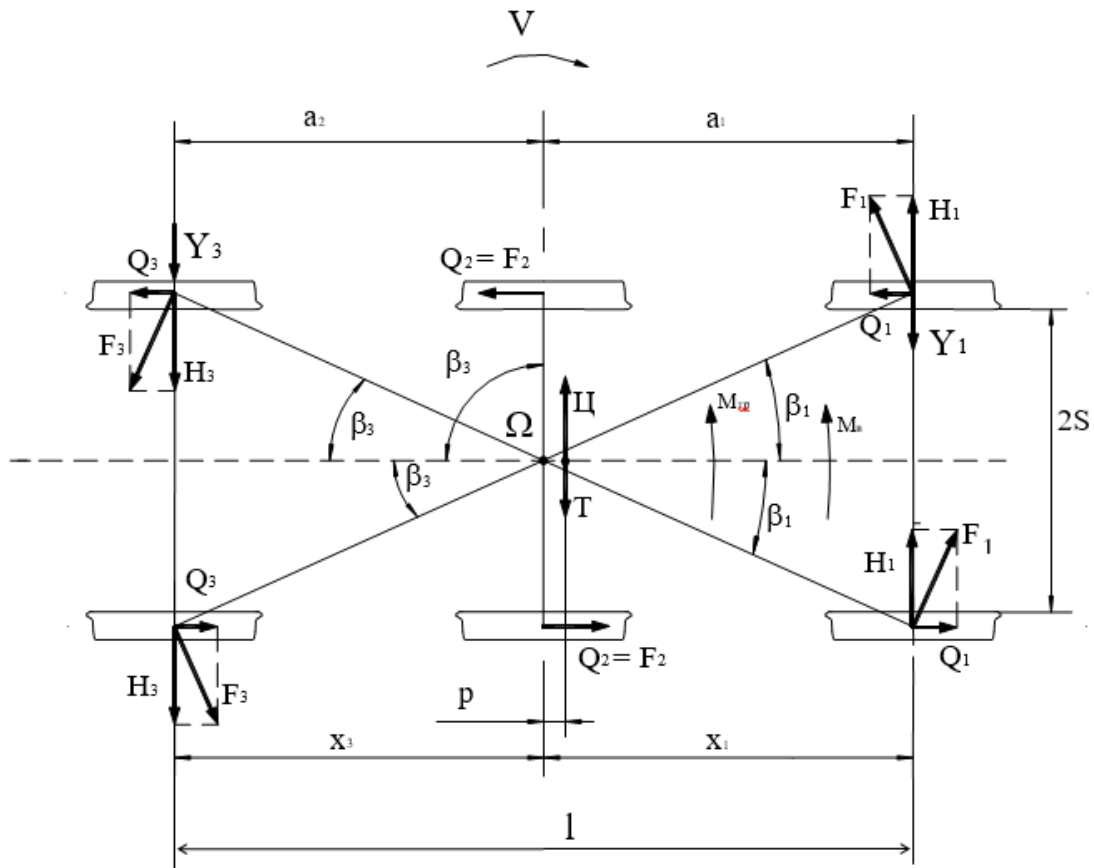


Рис. 10. Расчётная схема динамического вписывания в положении хордовой установки

Скорость начала установки экипажа в хордовое положение определяется аналогично скорости V_1 .

Затем, задаваясь несколькими значениями скорости от V_2 до V_K , определяют для каждого значения скорости численные значения центробежной силы, и определяют значения Y_1 и Y_3 , подставляя их в следующую систему уравнений:

$$\left. \begin{aligned} Y_1 + Y_3 &= Ц - T + 2(H_1 + H_2 - H_3) \\ Y_1 - Y_3 &= \frac{2(M_B + M_{TP}) + 4S(Q_1 + Q_2 + Q_3) + 4x_2 H_2}{l} + 2(H_1 + H_3) \end{aligned} \right\}$$

Возвращающий момент и момент сил трения, действующие на тележку увеличивают направляющие усилия на первой оси первой тележки и уменьшают их на первой оси задней тележки. Так как для динамических и прочностных расчётов, как правило, необходимо знать

$$Y_3 = Y_{P3} - 2H_3; Y_3' = Y_3 + H_3 = Y_{P3} + H_3.$$

График зависимостей $Y = f_1(V)$, $Y' = f_2(V)$ называются горизонтально-динамическими паспортами поперечных сил локомотива (рис. 12).

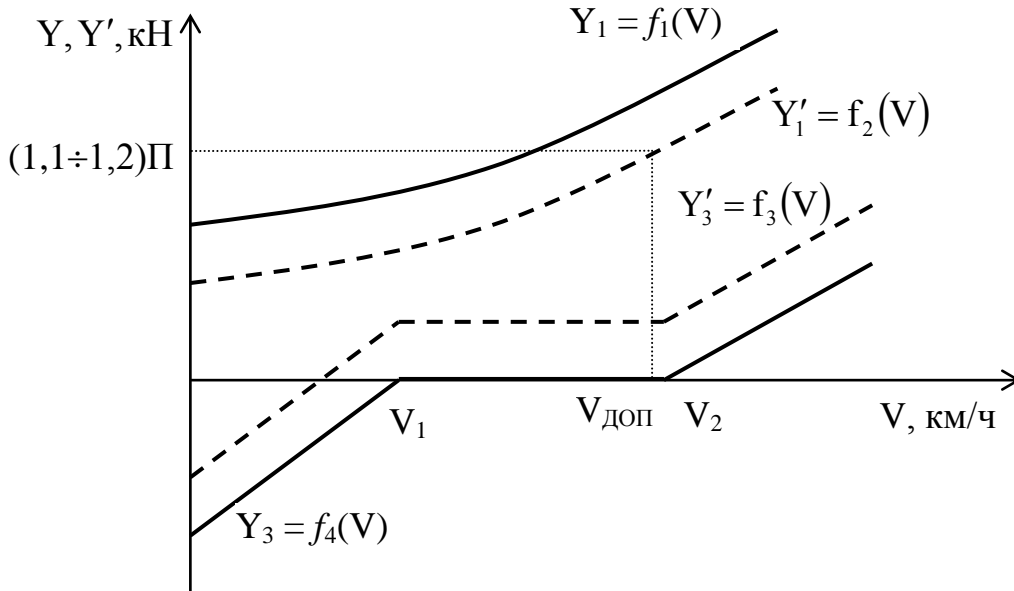


Рис. 12. Горизонтально-динамический паспорт трёхосной тележки локомотива

3.4 Оценка безопасности движения локомотива в кривой

При движении локомотива в кривой возникают значительные боковые силы, которые могут привести к недопустимо большому отжатию рельсов, вползанию гребня бандажа на головку рельса и, как следствие, к сходу колёсной пары с рельсовой колеи.

В качестве критерия оценки безопасности движения против схода колеса с рельса, в первом приближении, можно принять допустимое соотношение бокового усилия к фактической вертикальной нагрузке колеса на рельс (рис. 13):

$$\frac{Y_1'}{\Pi} \leq \operatorname{tg}(\gamma - \tau)$$

где γ – угол наклона образующей гребня бандажа к горизонтали, $\gamma = 70^\circ$;

τ – угол трения, $\tau = \arctg(\mu)$, при $\mu = 0,25$ $\tau = 14^\circ$.

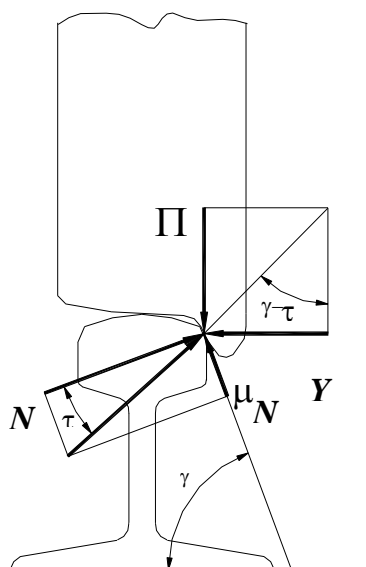


Рис. 13. Схема сил, возникающих между колесом и рельсом, при движении экипажа в кривой

Подставляя численные получим: $Y'_1 \leq 1,48\Pi$.

С учётом необходимого запаса обычно принимают условие:

$$Y'_1 \leq (1,1 \dots 1,2) \Pi.$$

Далее из горизонтально-динамического паспорта локомотива (рис. 12) определяют допустимую скорость движения локомотива в кривой заданного радиуса.

В качестве второго критерия оценки безопасности движения локомотива в кривой часто применяется способ определения наибольшей скорости движения в кривой по допустимой величине непогашенного ускорения, которое принимается не более $0,7 \text{ м/с}^2$. Тогда для возвышения наружного рельса $h = 150 \text{ мм}$, наибольшая скорость движения определится по формуле:

$$V_{\text{доп}} \leq 4,6\sqrt{R}, \frac{\text{км}}{\text{ч}}.$$

5 «ТЕОРИЯ ТЯГИ ПОЕЗДОВ», «ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ И ТЯГА ПОЕЗДОВ»

Спрявление профиля пути и его анализ

Для повышения точности результатов тяговых расчётов, а также сокращения их объёма и, следовательно, времени на их выполнение, необходимо спрямить профиль пути заданного участка.

В основе спрямления профиля пути лежит равенство механических работ на спрямлённом профиле и на действительном профиле.

Спрявление профиля состоит в замене двух или нескольких смежных элементов продольного профиля пути одним элементом, длина которого s_c равна сумме длин спрямляемых элементов (s_1, s_2, \dots, s_n), т. е.

$$s_c = s_1 + s_2 + \dots + s_n, \quad (1)$$

а крутизна i'_c вычисляется по формуле

$$i'_c = \frac{i_1 s_1 + i_2 s_2 + \dots + i_n s_n}{s_1 + s_2 + \dots + s_n}, \quad (2)$$

где i_1, i_2, \dots, i_n – крутизна элементов спрямляемого участка.

Чтобы расчёты скорости и времени движения поезда по участку были достаточно точными, необходимо выполнить проверку возможности спрямления группы элементов профиля по формуле

$$s_i \leq \frac{2000}{\Delta i}, \quad (3)$$

где s_i – длина спрямляемого элемента, м;

Δi – абсолютная величина разности между уклоном спрямлённого участка и уклоном проверяемого элемента, ‰, т. е. $i'_c - i_i$.

Проверке по формуле (3) подлежит каждый элемент спрямляемой группы. Чем короче элементы спрямляемой группы и чем ближе они по крутизне, тем более вероятно, что проверка их на удовлетворение условию (3) окажется благоприятной (положительной).

Кривые на спрямляемом участке и на отдельных элементах заменяются фиктивным подъёмом, крутизна которого определяется по формуле

$$i_c'' = \frac{700}{s_c} \sum_1^n \frac{s_{kpi}}{R_i}, \quad (4)$$

где s_{kpi} и R_i – длина и радиус кривых в пределах спрямлённого участка, м.

Крутизна спрямлённого участка с учётом фиктивного подъёма от кривой

$$i_c = i_c' + i_c''. \quad (5)$$

Необходимо отметить, что знак крутизны уклона i_c' может быть и положительным (для подъёмов), и отрицательным (для спусков); знак крутизны фиктивного подъёма от кривой i_c'' всегда положительный. Это обязательно надо учитывать при вычислениях.

Объединять в группы для спрямления следует только близкие по крутизне элементы профиля одного знака. Горизонтальные элементы (площадки) могут включаться в спрямляемые группы как с элементами, имеющими положительный знак крутизны, так и с элементами отрицательной крутизны. **Элементы, на которых расположены отдельные пункты, не спрямляются.**

Не следует включать в группы элементов, подлежащие спрямлению, расчётный подъём, а также крутой подъём, на котором выполняется проверка возможности преодоления его поездом с учётом накопленной на предшествующих элементах кинетической энергии. Площадки на перегоне между элементами разного знака также нельзя включать в спрямление. Спрямлённый профиль должен сохранить характерные особенности действительного профиля в смысле относительного расположения повышенных и пониженных точек.

Результаты расчётов по спрямлению заданного профиля пути сводятся в табл. 1.

Таблица спрямления профиля пути

№ элемента	Крутизна элементов i , ‰	Длина элементов s , м	Кривые		Длина спрямлённого участка s_c , м	Крутизна спрямлённого участка i'_c , ‰	Фиктивный подъём от кривых i''_c , ‰	Суммарная крутизна спрямлённого участка $i_c = i'_c + i''_c$, ‰	№ спрямлённых участков
			R , м	$s_{кр}$, м					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	I
2	II
3	III
4	IV
...

Длина участка $\sum s_i = \dots$

После спрямления профиля пути выполняется его анализ с целью установления расчётного подъёма, скоростного подъёма и наибольшего спуска.

Примечание. В графы 1–5 таблицы заносятся параметры всех элементов заданного профиля пути, взятые из соответствующей таблицы задания. Если элемент заданного профиля не спрямляется, то он переносится на спрямлённый профиль (учитывается фиктивный подъём от кривой, если она имеется). Участки спрямлённого профиля следует разделить горизонтальными линиями (от графы 6 до графы 10). Внизу таблицы, под третьей графой, следует указать длину заданного участка пути.

Расчётный подъём – это наиболее трудный для движения в данном направлении элемент профиля пути, на котором достигается расчётная

скорость, соответствующая расчётной силе тяги локомотива (см. табл. 2). Если наиболее крутой подъём участка достаточно длинный, то он принимается за расчётный. Если же наиболее крутой подъём заданного участка имеет небольшую протяжённость и ему предшествуют «лёгкие» элементы профиля (спуски, площадки), на которых поезд может развить высокую скорость, то такой подъём не может быть принят за расчётный, так как поезд преодолеет его за счёт накопленной кинетической энергии. В этом случае за расчётный следует принять подъём меньшей крутизны, но большей протяжённости, на котором может быть достигнута равномерная скорость.

За максимальный спуск принимается элемент спрямлённого профиля пути со знаком минус и наибольший по величине.

6 « ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА »

Расчет количества ремонтных позиций

Расчет количества ремонтных позиций производится по формуле:

$$\Phi = \Phi_1 + \Phi_2 = \frac{П_1 \cdot t_1}{Д} + \frac{П_2 \cdot t_2}{Д},$$

где t_1, t_2 – норма простоя на единицу ремонта в часах (для СР- t_1 ; КР – t_2);

$Д$ – годовой фонд времени ремонтной позиции;

$П_1, П_2$ – годовые программы, соответственно среднего и капитального ремонта тепловозов;

Φ_1, Φ_2 – количество позиций, соответственно, при среднем и капитальном ремонтах.

Данные расчета сводятся в таблицу 1.

Таблица 1. Расчёт количества позиций сборочного цеха

№ п/п	Наименование позиции	Годовой план ремонта		Нормы простоя, ч		Годовые затраты, ч		Годовой фонд ремонтной позиции, ч	Кол-во позиций Φ_1	Кол-во позиций Φ_2	Кол-во поз. Φ до целого
		$П_1$	$П_2$	t_1	t_2	$П_1 \cdot t_1$	$П_2 \cdot t_2$				
1	Разборудование локомотива			8	8						
2	Предварительная разборка			8	8						
3	Очистка кузова			8	8						

4	Окончательная разборка кузова			14	14						
5	Ремонт кузова			64	106						
6	Опуск кузова			12	24						
7	Окончательная сборка электровоза			22	44						
8	Холодная обкатка и экипировка			8	8						
9	Испытание эл-за			21	21						
10	Горячая обкатка			14	14						
11	Осмотр и отделка после обкатки			14	14						
12	Окраска эл-за			36	86						
Итого											

7 «ЛОКОМОТИВНОЕ ХОЗЯЙСТВО»

Определение рабочей силы для деповских видов ремонта тепловозов

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.

Комплексные и специализированные бригады в зависимости от технического процесса и условий работы могут быть сквозными, т.е. объединяющими рабочих нескольких смен.

Расчет штата для деповских видов ремонта локомотивов производится в соответствии с годовой программой ремонта с учетом добора грузовых тепловозов на ремонты из других депо, затратой рабочей силы в человеко-часах на единицу ремонта и годовым фондом рабочего времени одного работника.

Для того чтобы определить количество грузовых тепловозов, добранных на ремонт из других депо, сначала рассчитываем количество комплексных бригад, необходимых для выполнения программы ремонта локомотивов, приписанных к проектируемому депо, которая определяется по формуле:

$$A = \frac{M_p^{год} \cdot t_p^{к.бр}}{T_{ц}},$$

где $t_p^{к.бр}$ – принятое время работы комплексной бригады на соответствующем виде ремонта, сутки. По рассчитанным выше формулам $t_{CP}^{к.бр} = 9,6$ суток, $t_{TP*}^{к.бр} = 7,6$ суток;

$T_{ц}$ – число рабочих дней в году соответствующего ремонтного участка. Для TP-3 и TP-2 $T_{ц} = 253$ дня;

Принимаем число бригад, занятых на TP-3 – 2 бригады, на TP-2 – 2 бригады, за счет приема в ремонт грузовых тепловозов других депо.

Определяем годовую программу ремонта с учетом добора тепловозов на ремонт из других депо:

$$M_p^{год} = \frac{\Delta A_{бр} \cdot 253}{t_p^{к.бр}}.$$

А TP-3 и TP-2 пассажирских и маневровых тепловозов передаем в другие депо, что оправдывает при сохранении разносерийности в ремонте данного депо и отвечает его специализации.

В крупных депо эффективно организовать работу слесарей комплексных бригад TP-1, TO-3, TO-2 по системе непрерывной рабочей недели, бригада делится на 4 группы, каждая из которых возглавляется мастером и поочередно в соответствии с графиком получает выходной день.

Штат слесарей, занятых на ремонте локомотива в целом или отдельных его узлов (агрегатов), рассчитывается по формуле:

$$P = \frac{M_p^{год} \cdot a}{\Phi_{год}}, \text{ слесарей,}$$

где $M_p^{год}$ – годовая программа данного вида ремонт TP или TO тепловозов с учетом приема в ремонт локомотивов других депо;

a – норма затраты человеко-часов на единицу ремонта локомотива или определенного узла;

$\Phi_{год}$ – годовой фонд рабочего времени одного работника, ч;

Таблица 1. Нормативы трудоемкости на единицу технического обслуживания и текущего ремонта локомотивов

Локомотивы	Трудоемкость технического обслуживания и текущего ремонта, чел-ч			
	ТО-3	ТР-1	ТР-2	ТР-3
2ТЭ116	110 – 120	280 – 290	2000 – 2200	3600 – 3800
ТЭП70	100 – 120	270 – 290	1800 – 2000	3400 – 3600
2ТЭ10М	105 – 115	275 – 285	1450 – 1550	2950 – 3050
ТЭМ2	65 – 75	140 – 160	500 – 600	1350 – 1450
ЧМЭЗ	65 – 75	165 – 175	750 – 950	1700 – 1900

Кроме штата слесарей, в депо предусматриваются рабочие, выполняющие хозяйственные работы, трудоемкость которых принимается в размере 10...16,5% от затраты человеко-часов на производственные нужды с учетом плановых видов ремонта.

Поскольку в процессе эксплуатации локомотивов имеют место внезапные отказы, то необходимо предусмотреть штат слесарей для выполнения ремонтных работ по их устранению. Рекомендуется принять трудозатраты по фактическим данным на дорогах.

На основании статистических данных по ряду депо принимаем трудозатраты на устранение внезапных отказов 10 % от общих трудозатрат на выполнение плановых видов ремонтов. Весь расчет по определению рабочей силы депо сводим в таблицу. Для упрощения расчета в таблице, необходимо годовую программу ТР-1 и ТО-3 пассажирских и маневровых локомотивов привести к грузовым локомотивам через коэффициенты трудоемкости ремонта α_p :

$$M_{TP}^{год} = M_{mp}^{ep} + \alpha_{mp}^{nacc} \cdot M_{mp}^{nacc} + \alpha_{mp}^M \cdot M_{mp}^M$$

$$M_{mo3}^{zod} = M_{mo3}^{zp} + \alpha_{mo3}^{nacc} \cdot M_{mo3}^{nacc} + \alpha_{mo3}^M \cdot M_{mo3}^M$$

где $\alpha_{mp}^{nacc} = \frac{a_{mp}^{nacc}}{a_{mp}^{zp}}; \alpha_{mp}^M = \frac{a_{mp}^M}{a_{mp}^{zp}}; \alpha_{mo3}^{nacc} = \frac{a_{mo3}^{nacc}}{a_{mo3}^{zp}}; \alpha_{mo3}^M = \frac{a_{mo3}^M}{a_{mo3}^{zp}};$

**8 «ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ И РЕМОНТЕ ПОДВИЖНОГО
СОСТАВА» («ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
И СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ
И ОБСЛУЖИВАНИИ АВТОНОМНЫХ ЛОКОМОТИВОВ»,
«ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ
ДИАГНОСТИРОВАНИЯ И НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ
ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ И РЕМОНТЕ
ПОДВИЖНОГО СОСТАВА»)**

Лабораторная работа № 1. Контроль состояния деталей методом магнитной дефектоскопии

Цель работы

Приобретение практических навыков работы с дефектоскопами, применяемыми при проверке деталей тепловозов на ремонтных заводах и в депо.

Общие сведения

Магнитная дефектоскопия позволяет обнаружить усталостные и закалочные трещины, волосовины, включения и другие дефекты деталей, выходящие на поверхность. Сущность этого метода заключается в следующем. Деталь намагничивают, при наличии в детали трещины процесс намагничивания сопровождается образованием на границе металл–воздух, металл–включение магнитных полюсов. Для выявления дефекта используют специальные магнитные порошки, состоящие на 90–95 % из железа с размером частиц не более 50–55 мкм. Порошок используется для приготовления магнитной смеси, основой которой является минеральное масло (трансформаторное, компрессорное) или керосин. Если на каждую деталь нанести ферромагнитный порошок или намагниченную смесь, то под действием сил магнитного поля частицы порошка в этой зоне будут скапли-

ваться у границ трещин, как у полюсов магнита, «обрисовывать» контур трещины, т.е. показывать место ее расположения, длину и форму.

Важным и в большинстве случаев необходимым условием для выявления дефектов магнитным методом является перпендикулярное к направлению магнитного поля расположение дефектов. Дефект, расположенный вдоль магнитного поля, не может быть выявлен вследствие малого искажения поля.

Эффективность метода магнитной дефектоскопии в значительной степени зависит от способа намагничивания испытуемого объекта. Существует два способа намагничивания деталей: полюсное (см. рис. 1) и бесплюсное или циркуляционное (см. рис. 2).

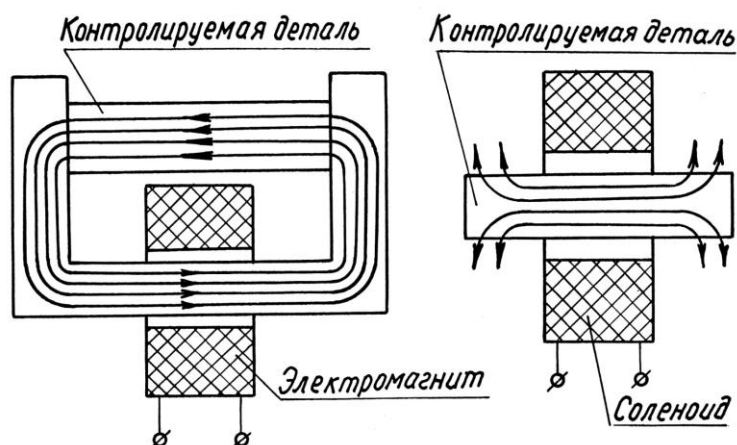


Рис. 1. Полюсное намагничивание

При полюсном способе деталь намагничивают электромагнитом или соленоидом (намагничивающей катушкой).

При этом в детали образуется продольное магнитное поле, при котором хорошо обнаруживаются поперечные, наиболее опасные трещины.

При бесплюсном намагничивании через деталь пропускается большой ток низкого напряжения, а если деталь полая, то используют электродный метод намагничивания, когда образуется поперечное магнитное поле, которое позволяет выявить продольные дефекты (трещины, волосовины) и радиальные трещины на торцевых поверхностях.

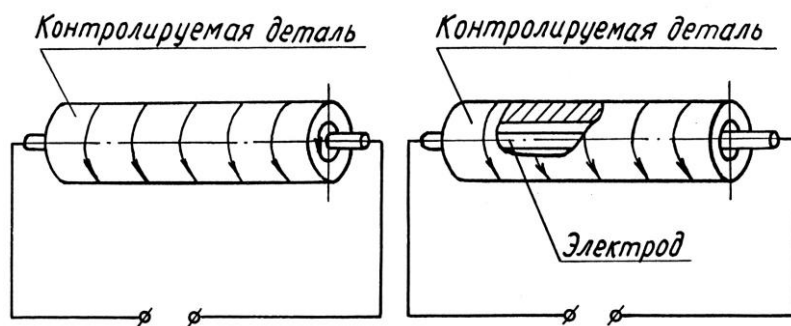


Рис. 2. Бесплюсное намагничивание (циркуляционное)

Намагниченные детали могут длительное время притягивать к себе стальные опилки и частицы, которые особенно опасны для трущихся деталей подшипниковых узлов. Поэтому детали, подвергнутые контролю, размагничивают. К недостаткам магнитопорошкового способа следует отнести трудности, возникающие при размагничивании громоздких деталей (коленчатые валы, блоки и т.д.), недоступность непосредственного контроля деталей в узлах или конструкциях без их разборки, а также невозможность контроля деталей из пластмасс, цветных металлов

На сегодняшний день разработаны современные магнитопорошковые дефектоскопы МД-М и МДМ-2.

Новый модульный **магнитопорошковый дефектоскоп МД-М** воплотил в себе массу последних достижений в сфере неразрушающего контроля и широко используется для замены устаревших моделей дефектоскопов. Дефектоскоп МД-М имеет возможность регулировки значения электрического тока намагничивания до 5000 А, памятью настроек, режимом функционирования «ток-пауза», авторазмагничиванием объекта до исходного состояния, регулируемой длительностью процесса намагничивания и размагничивания и многими другими функциями.



Рис. 3. Магнитопорошковый дефектоскоп МД-М

Портативный магнитопорошковый дефектоскоп МДМ-2 представляет собой уникальное решение для контроля изделий методом магнитных частиц. Впервые все разновидности и приемы магнитопорошкового метода контроля, включая импульсное намагничивание, намагничивание постоянным током с помощью электромагнита, а также намагничивание в соленоиде возможно без использования сетевого питания.

Мощный встроенный аккумулятор позволяет реализовывать любые методики магнитопорошкового контроля даже в полевых условиях. Несмотря на малые размеры и массу всего 4 кг дефектоскоп обладает регулировкой импульсного тока до 3000А, автоматическим размагничиванием, регулируемой длительностью намагничивания и размагничивания и другими функциями.



Рис. 4. Магнитопорошковый дефектоскоп МДМ-2

Лабораторная работа № 2. Контроль состояния деталей теплового двигателя методом ультразвуковой дефектоскопии

Цель работы

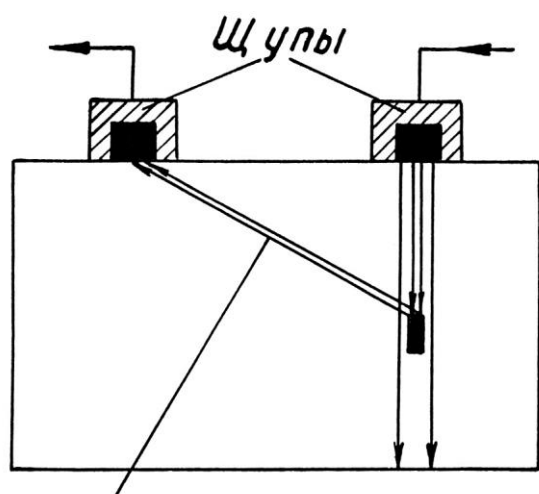
Изучение принципов применения ультразвуковой дефектоскопии для обнаружения дефектов на глубине в ответственных деталях.

Общие сведения

Ультразвуковая дефектоскопия применяется для обнаружения подповерхностных и глубоко залегающих дефектов деталей независимо от материала, из которого они изготовлены.

Метод основан на свойстве ультразвуковых колебаний (с частотами выше 20000 Гц) проникать в толщу любого тела и отражаться от границ раздела двух сред: воздух – металл, инородные включения – металл, жидкость – газ и т. д. (рис. 5).

Для получения ультразвуковых колебаний используют главным образом пьезоэлектрические преобразователи. В качестве индикатора



Отражённое эхо

Рис. 5. Метод ультразвуковой дефектоскопии (отражённого эха)

импульсного ультразвукового дефектоскопа служит жидкокристаллический дисплей 1, позволяющий обнаружить дефект в изделии, измерять глубину залегания дефекта.

Принцип работы ультразвукового дефектоскопа (рис. 6) заключается в том, что встроенный в него импульсный генератор 4 через равные промежутки времени посылает короткие электрические импульсы на пьезоэлектрическую пластину передающего щупа 6. Под действием электроимпульса в кристалле пластины возникают напряжения, которые создают механические напряжения: кристалл то сжимается, то растягивается. Таким образом, под действием переменного электрического поля грани пьезоэлектрической пластины совершают ультразвуковые колебания высокой частоты, которые передаются в контролируемое изделие 7 при контакте с ним. При этом на экране дисплея отобразится служебный импульс в левой части, отображающий посылаемый щупом 6 сигнал.

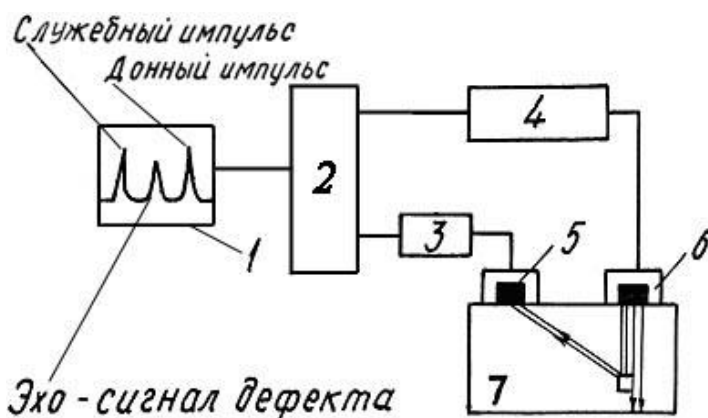


Рис. 6. Устройство ультразвукового дефектоскопа

Затем щуп (искатель) прикладывается к проверяемой детали. При отсутствии дефекта ультразвуковые колебания отражаются от противоположной стороны изделия (дна) и воспринимаются такой же пластиной приемного щупа 5, где они вновь преобразуются в электрические импульсы, которые поступают в усилитель 3, а затем обрабатываются микропроцессорным устройством 2 дефектоскопа. На экране при этом возникает так называемый донный сигнал (импульс). При наличии в изделии дефекта часть ультразвуковых колебаний вначале отразится от него (эхо–сигнал от дефекта), а остальная часть отразится от противоположной стороны изделия (донный импульс). Усиленный эхо–сигнал отображается на дисплее раньше донного.

Прием эхо–сигналов происходит в промежутке между двумя очередными электрическими импульсами генератора.

При ультразвуковой дефектоскопии решающее значение имеет качество ввода ультразвука в материал детали. Так как ультразвуковые колебания практически не проходят даже через очень тонкие слои воздуха, то контактные поверхности искателя и детали смазывают минеральным маслом.

На сегодняшний день фирмой «Алтек» выпускается ряд современных ультразвуковых дефектоскопов.

Прибор УД2-102ВД «Пеленг» (рис. 7) предназначен для ручного контроля сварных соединений листовых элементов, труб, котлов, рельсов, деталей подвижного состава и других изделий (металлических и неметаллических), а также для измерения толщины деталей.

Наличие микропроцессорного управления позволяет упростить и унифицировать операции по настройке прибора и проведению контроля практически любых деталей.

Прибор оснащен встроенной аккумуляторной батареей, что позволяет использовать прибор при контроле крупногабаритных деталей непосредственно на месте их эксплуатации.

Диапазон частот применяемых преобразователей от 0,4 МГц до 5,0 МГц, а для контроля рельсов – 0,1 МГц.



Рис. 7. Прибор УД2-102ВД «Пеленг»

Прибор имеет энергонезависимую память, простой и удобный интерфейс, возможность автоматической сигнализации дефектов, оснащен цветным TFT дисплеем с высоким разрешением, позволяет документировать результаты контроля (отчет, протокол разверток).

Лабораторная работа № 3. Тепловизионный контроль оборудования тепловозов

Цель работы

Изучение принципов применения тепловизионной диагностики.

Общие сведения

Тепловизионная диагностика является самым новым и эффективным средством диагностики локомотивного хозяйства.

Тепловизионный контроль – это метод неразрушающего контроля, который заключается в измерении потока излучения и вычислении температуры поверхности обследуемых деталей и узлов при помощи электронно-оптических устройств – тепловизоров.

Данный метод основан на свойстве нагретых предметов излучать энергию (электромагнитные волны) в инфракрасной области спектра с длиной волны 8...14 мкм.

Тепловизор состоит из объектива, специального матричного приемника инфракрасного излучения (микроболометра), электронного устройства обработки сигналов, цветного жидкокристаллического дисплея и устройств записи информации.

Приемная матрица представляет собой массив из инфракрасных приемников излучения, которые находятся в фокальной плоскости объектива. Стандартные матричные приемники излучения современных тепловизоров имеют размер от 160×120 до 640×480 пикселей. Пиксель – минимальный отдельный элемент матричного приемника, который может регистрировать инфракрасное излучение.

Инфракрасное излучение от объекта фокусируется оптикой тепловизора на приемник излучения, который формирует электрический сигнал. Данный сигнал регистрируется электроникой тепловизора и переводится в электронное изображение (термограмму), которое выводится на экран дисплея. При этом распределение инфракрасного излучения по поверхности объекта представляется с помощью градации цвета. Таким образом, специалист по термографии может легко наблюдать термограмму, которая соответствует тепловому излучению от поверхности объекта.

Инфракрасная диагностика обладает рядом достоинств и преимуществ по сравнению с традиционными методами испытаний:

- безопасность персонала при проведении измерений;
- не требуется отключение оборудования;

- измерения проводятся в реальных эксплуатационных режимах работы локомотивного оборудования;
- не требуется подготовки рабочего места;
- большой объём выполняемых работ за единицу времени;
- возможность определение дефектов на ранней стадии развития;
- диагностика всех типов локомотивов;
- малые трудозатраты на производство измерений;
- наглядность, достоверность и точность диагностики.

В локомотивных депо тепловизоры должны применяться как диагностический комплекс во время технического обслуживания (ТО) и технических ремонтов (ТР) локомотивов, а также для контроля и тепловизионной диагностики основного и вспомогательного оборудования на технологических участках, испытательных станциях, котельных депо и пр.

Диагностика с помощью тепловизора проводится на основании превышения нормированной температуры узла или объекта согласно утвержденных норм и пороговых уровней.

Примерный перечень контролируемого оборудования для локомотивных депо:

1. Электрооборудование тепловозов и электровозов, электрические схемы соединений электрических машин, принципиальные схемы электронных блоков, катушки, контакторы, соединения, статоры электродвигателей на стендах, состояние щеточно-коллекторных узлов и др.;

2. Механическое оборудование – буксовые узлы, узлы КМБ на локомотиве и испытательных станциях, генераторы на испытательных стендах и пр.;

3. Энергоаудит зданий и сооружений, входящих в состав депо на потери тепла и соответственно экономии электроэнергии.

Лабораторная работа № 4. Виброакустическая диагностика оборудования тепловозов

Цель работы

Изучение принципов виброакустического метода диагностирования.

Общие сведения

Виброакустический метод диагностирования получил широкое распространение в локомотивном хозяйстве, так как не требует разборки агрегатов и узлов локомотива. Данный метод основан на процессах, возникающих в узлах трения и сопряжения во время рабочего режима. Работа таких узлов, как правило, сопровождается шумами и колебаниями, по которым возможно определить техническое состояние объекта. В процессе работы узла неисправность дает о себе знать усиленной вибрацией или колебаниями. Разные дефекты имеют колебания разной частоты.

Одна их причин, вызывающих колебания механизма, связана с неуравновешенностью движущихся деталей. При этом механизмы совершают колебания как единое целое относительно положения равновесия. Эти колебания характеризуются низкими частотами, сравнительно большими амплитудами перемещения и малыми ускорениями. Основная частота вибрации механизма равна частоте вращения вала, на котором находится несбалансированная масса.

Вторым источником колебаний механизма являются соударения его деталей, вызванные увеличенными зазорами. Эти колебания характеризуются более высокими частотами, малыми амплитудами смещения и значительными ускорениями. Чаще всего детали и узлы испытывают простые синусоидальные колебания.

Появление отклонений в работе узлов и механизмов приводит к изменению периодических колебаний.

Виброакустический метод позволяет получить наиболее полную информацию о состоянии объекта. Акустический сигнал обладает большой информативностью, поэтому для большой полноты диагностирования объекта требуется небольшое число датчиков. Колебания механизма в виде упругих волн приходят к датчику, который превращает их в электрический сигнал и направляет его в аппаратуру диагностирования, где он подвергается анализу.

На сегодняшний день разработаны и используются несколько приборов вибродиагностики, среди которых наиболее многофункциональными являются приборы «Вектор-2000», «Прогноз-1М», «Топаз».

Портативный комплекс «Вектор-2000» (рис. 8) предназначен для контроля и прогноза технического состояния вращающегося оборудования по вибрации. Он состоит из вибрoанализатора СД-12М, комплекта датчиков и портативного компьютера с программным обеспечением «DREAM».



Рис. 8. Портативный комплекс вибродиагностики «Вектор-2000»

Вибрация измеряется акселерометрами непосредственно на подшипниковых щитах диагностируемого оборудования. Для достоверного изме-

рения скорости вращения используется фотодатчик ФД-2, входящий в состав комплекта.

Для каждого диагностируемого агрегата составляется «карта измерений», загружаемая в виброанализатор. На экране виброанализатора отображаются все точки, где следует измерить вибрацию на машине, а параметры измерений выставляются автоматически для каждой отдельной точки.

После измерений все данные поступают в базу данных, и программа осуществляет их сравнение между собой, сравнение с эталонами, проводит анализ случайных и гармонических составляющих вибрации и в результате выдает отчет о техническом состоянии диагностируемого узла с перечнем всех найденных дефектов, их глубины и опасности. На основании этих данных программа автоматически рассчитывает безопасный пробег или период узла и выдает рекомендации по обслуживанию и ремонту, если такие необходимы.

Диагностируемые узлы:

- Подшипники качения – буксовые (в том числе упорные), моторно-якорные, опорные, малой шестерни, вспомогательных машин;
- Подшипники скольжения – моторно-осевые, вспомогательных машин;
- Зубчатые зацепления, ременные передачи, валы и муфты;
- Электромагнитная часть (обмотки и зазоры) тяговых электродвигателей и генератора, кузовных приводов;
- Рабочие колеса насосов и генераторов.

Комплекс оперативной диагностики «Прогноз-1М» (рис. 9) имеет то же предназначение, что и «Вектор 2000», но обладает более совершенными алгоритмами анализа вибросигнала, позволяющими надежнее определять наличие и характер дефектов.



Рис. 9. Комплекс оперативной вибродиагностики «Прогноз-1М»

Виброанализатор ТОПАЗ – это портативный микропроцессорный виброизмерительный прибор, позволяющий решать большинство задач современной вибродиагностики.

Виброанализатор ТОПАЗ (рис. 10) может использоваться и как автономный анализатор вибрации, при этом все измерения и данные анализа записываются в энергонезависимую память прибора, и как составная часть системы мониторинга состояния оборудования, задействовав всю мощь программного обеспечения ДИАМАНТ-2.

В измерителе вибрации ТОПАЗ предусмотрены специальные функции ранней диагностики состояния подшипников качения и зубчатых передач, измерения пик-фактора, эксцесса и спектра огибающей.

Отличительные особенности анализатора вибрации ТОПАЗ:

- Большой жидкокристаллический низкотемпературный дисплей с высоким разрешением и подсветкой;
- Возможность работы при температурах $-20\dots+60$ °С;
- Обновление программного обеспечения через Internet;
- Неограниченное время хранения данных;
- Два процессора – управляющий и сигнальный;
- Легкозаменяемые, стандартные аккумуляторы или батареи.



Рис. 10. Портативный микропроцессорный виброизмерительный прибор ТОПАЗ

Лабораторная работа № 5. «Комплекс автоматизированных реостатных испытаний КИПАРИС»

Цель работы

Изучение комплекса КИПАРИС, его назначения и функций.

Общие сведения

Комплекс Интеллектуальный Производственный Автоматизированных Реостатных Испытаний (КИПАРИС) предназначен для автоматизированного контроля и диагностирования технического состояния дизель-генераторной установки тепловоза, ее систем и агрегатов.

Комплекс располагается на месте производства реостатных испытаний тепловозов и позволяет производить их в автоматизированном режиме в объеме, определенном Правилами и Руководствами по ТО и ТР тепловозов. Для проведения испытаний датчики, входящие в состав комплекса, устанавливаются в штатные точки контроля и диагностирования техниче-

ского состояния дизель-генераторной установки (ДГУ), а сам комплекс подключается к уже имеющемуся силовому оборудованию, предназначенному для проведения реостатных испытаний.

На сегодняшний день производятся комплексы нового поколения типа «Кипарис-5» (рис. 11). Они предназначены для диагностирования, контроля параметров, обработки и представления информации в цифровом и графическом виде, выдаче рекомендаций и указаний по настройке параметров дизель-генераторных установок магистральных и маневровых тепловозов 2ТЭ10, 2ТЭ116, 2ТЭП70, М62, ТЭМ2, ТЭМ7, ЧМЭЗ и т.д. при проведении реостатных испытаний в условиях локомотивных депо и ремонтных заводов.



Рис. 11. Комплекс КИПАРИС-5

Комплекс выпускается в **трех** исполнениях: на базе стационарного компьютера, на базе ноутбука и в виде мобильного устройства.

КИПАРИС-5 позволяет:

- автоматизировать управление нагрузочным реостатом и дизель-генераторной установкой тепловоза с непрерывным отслеживанием позиции контроллера машиниста, тока нагрузки, напряжения и мощности тягового генератора на соответствие полю допуска по частоте вращения коленвала дизеля при установленной позиции контроллера машиниста с учетом атмосферных параметров;
- осуществлять текущий контроль температур воды и масла, охлаждающих дизель, давления масла и топлива;
- контролировать параметры автоматической системы регулирования мощности тягового генератора;
- автоматически производить обкатку дизель-генераторной установки;
- работать как с пульта комплекса, так и из кабины управления тепловозом с дублированием информации на выносной видеотерминал;
- выполнять безреостатное диагностирование топливной аппаратуры дизеля;
- производить контроль технического состояния газоздушного тракта с выдачей рекомендаций по устранению неисправностей;
- производить настройку динамических характеристик всережимного регулятора с целью сокращения расхода топлива;
- настраивать мощность ДГУ на наименьший расход топлива в эксплуатации;
- производить расчет вредных атмосферных выбросов.

Новое аппаратное обеспечение комплекса позволило уменьшить количество соединительных кабелей в несколько раз по сравнению с предыдущей версией при сохранении числа и точности измерительных каналов.

Наличие в системе экспертной функции позволяет ускорить настройку, процесс обнаружения неисправностей узлов тепловоза.

В составе комплекса поставляется датчик для замера индикаторной диаграммы, для определения цилиндровой мощности, показателя механической напряженности двигателя. Программный анализ индикаторных диаграмм позволяет оценить техническое состояние двигателя, качество регулировки и экономичности. Ведение архива испытаний позволяет проводить оценку тенденции изменения технического состояния, обращать внимание на лимитирующие узлы и агрегаты;

Значительный объем справочно-нормативной информации облегчает работу оператора комплекса при проведении реостатных испытаний. Программное обеспечение выполнено в стиле «дружественного интерфейса» и не требует от оператора комплекса специализированных знаний в обращении с компьютером. При подключении компьютера к локальной вычислительной сети депо данные о результатах реостатных испытаний автоматически отправляются в базу данных мониторинга технического состояния дизель-генераторных установок локомотивов.

Лабораторная работа № 6. Системы контроля и диагностики электрического оборудования серии «Доктор»

Цель работы

Изучение приборов серии «Доктор», их назначения и выполняемых ими функций.

Общие сведения

На сегодняшний день на сети железных дорог РФ используется ряд приборов серии «Доктор», предназначенных для диагностики электрического оборудования локомотивов. В указанную серию входят приборы «Доктор-030М», «Доктор-030ZМ», «Доктор-060Z», «Доктор-060М».

Система контроля и диагностики (СКД) «Доктор-030М» предназначена для измерения активного сопротивления постоян-

ному току, индуктивности, времени срабатывания коммутационной аппаратуры, измерения сопротивления нагрузки низковольтных цепей, коэффициентов трансформации электрических машин постоянного тока и трансформаторов, а также выдачи напряжения постоянного и пульсирующего тока, используемых для диагностирования и настройки электрических цепей, узлов и аппаратов локомотивов.

При помощи СКД экспресс-контроль оборудования проводится в течение 20-30 минут с последующим выявлением неисправных узлов и агрегатов, и дальнейшей их локализацией. СКД позволяет производить обработку и вывод результата на встроенный ЖК-дисплей, печатающее устройство, а также накапливать и передавать данные о техническом состоянии подвижных единиц в единую базу данных диагностических устройств, для их дальнейшей обработки и определения объемов ремонта тяговых подвижных единиц.

СКД «Доктор-030М» представляет собой аппаратно-программный диагностический комплекс, состоящий из базового блока, в котором установлен промышленный компьютер, источники питания, жидкокристаллический дисплей, а также набора сменных измерительных модулей, осуществляющих измерения соответствующих параметров и передачу данных в компьютер базового блока.

Перечень контролируемых параметров:

- Контроль межвиткового замыкания якорей и обмоток возбуждения двигателей;
- Контроль состояния и установка щеток на геометрической нейтрали в электрических машинах постоянного тока;
- Контроль состояния якорной цепи и обмоток возбуждения;
- Контроль межвиткового замыкания катушек реле, контакторов и др. магнитных систем;
- Контроль времени срабатывания коммутационной аппаратуры;

- Контроль переходного сопротивления контактов контакторов и реле;
- Контроль пусковых сопротивлений;
- Проверка секвенции включения аппаратов от контроллера машиниста, «экспресс-диагностика» – локализация отклонения параметров эл. цепей в целом.

СКД «Доктор-030ZM» предназначена для контроля и диагностики изоляции электрооборудования, контроля индуктивности электромагнитных систем, характеристик тяговых трансформаторов, а также контроля состояния и определения объема требуемого ремонта электрических машин и тяговых двигателей, выявления их неисправных узлов.

СКД «Доктор-030zm» выполняет следующие виды измерений:

- сопротивление изоляции в широких пределах;
- коэффициент абсорбции (оценка влажности изоляции);
- возвратное напряжение (определение старения изоляции);
- индуктивности магнитных систем, Гн;
- ёмкости, Ф;
- комплексного сопротивления, Ом;
- фактора потерь, D;
- добротности магнитных систем, Q.

Комплексная система контроля периодического ремонта КСК-ПР «Доктор-060» предназначена для контроля и диагностики электрических машин, электрических аппаратов, в условиях цехов по ремонту и испытаниям тягового подвижного состава. В состав КСК-ПР входит рабочее место мастера «Доктор-060ММ», стационарный блок приёма-передачи данных «Доктор-060СТ» и поставляется набор мобильных приборов контроля и диагностики, который формируется в зависимости от особенностей организации процесса диагностики и ремонта:

– «Доктор-060М» – мобильный прибор контроля качества изоляции, предназначенный для контроля параметров и выявления дефектов

изоляционных конструкций различного электрооборудования локомотивов. Прибор позволяет измерять сопротивление изоляции, возвратное напряжение, возникающее на изоляции после воздействия на нее испытательным напряжением, а также вычислять коэффициент диэлектрической абсорбции.

– «Доктор-060Z» – мобильный прибор диагностики электрических машин и аппаратов, предназначенный для контроля параметров и выявления дефектов обмоток тяговых электродвигателей и другого электрооборудования тягового подвижного состава железнодорожного транспорта. Прибор позволяет производить измерение (вычисление) и оценивать в соответствии с нормированными значениями следующие параметры диагностируемого оборудования:

- *фактор потерь* (тангенс угла диэлектрических потерь), который характеризует потери, вызываемые токами проводимости в изоляции. Несоответствие данного параметра нормативному, свидетельствует об увлажнении, местном разрушении или загрязнении изоляции;

- *добротность* (величина обратная фактору потерь), измерение которой наиболее рационально при контроле наличия межвитковых замыканий, ухудшения изоляционных свойств обмоток;

- *ёмкость*, также позволяет оценивать качество изоляции: степень увлажнения изоляции, загрязнение, местное разрушение и ухудшение характеристик масла;

- *индуктивность*, измеряется для контроля состояния катушек электрических аппаратов, выявления межвитковых замыканий и обрывов;

- *сопротивление* (активное) катушек (обмоток) контролируется на соответствие заводским нормам и требованиям Правил ремонта и ТО электрических аппаратов;

- в автоматизированном режиме осуществлять поиск межвитковых замыканий в обмотке якоря.

– «Доктор-060ММ» – рабочее место мастера, представляющее собой персональный компьютер со специализированным программным обеспечением и принтер для вывода на печать результатов испытаний диагностики.

– «Доктор-060СТ» – стационарный блок приема-передачи данных, осуществляющий связь между переносными блоками и персональным компьютером рабочего места мастера.

Все переносные блоки могут работать как в качестве самостоятельных измерительных устройств, так и в составе комплекса. Они оснащены клавиатурой и жидкокристаллическим дисплеем, на котором отображается меню прибора и результаты измерений.

Лабораторная работа № 7. Современные комплексы технологического контроля

Цель работы

Изучение современных комплексов технологического контроля оборудования локомотивов.

Общие сведения

Оснащение ремонтных железнодорожных предприятий (сервисные депо и локомотиворемонтные заводы) современным оборудованием технологического контроля и диагностики является неотъемлемым этапом перехода к системе организации ремонта локомотивов по их техническому состоянию. Использование набора отдельных, не связанных между собой диагностических приборов усложняет обработку данных технической диагностики и, как следствие, создание электронного паспорта локомотива. Оптимизировать процесс технологического контроля параметров локомотива в соответствии с требованиями системы менеджмента качества позволяет внедрение комплексных систем контроля и диагностики. Примером таких систем могут служить комплексные системы контроля параметров электроаппаратного (СКП-АЦ, КСК-АЦ) и электромашинного (СКП-ЭМЦ,

КСК-ЭМЦ) цехов, а также информационно-контрольная система электроаппаратного и электромашинного цехов (ИКС-АЦ, ИКС-ЭМЦ).

СКП-АЦ (более позднее название – КСК-АЦ) предназначена для использования в цехах по ремонту и испытаниям электрооборудования тягового подвижного состава. Она позволяет диагностировать состояние и контролировать технические характеристики различных электрических аппаратов локомотивов посредством электронного сбора информации о технических параметрах ремонтируемых объектов согласно регламенту ремонта.

В состав СКП-АЦ входит рабочее место мастера и требуемый набор рабочих постов контроля (рис. 12), который формируется в зависимости от потребностей и особенностей организации ремонтного процесса.

Каждый рабочий пост контроля состоит из металлического каркаса (терминал), в котором закреплен блок электроники, содержащий микропроцессорные интеллектуальные модули обработки информации. Подключение к диагностируемому оборудованию происходит при помощи щупов, кабелей, контактных реек и приспособлений, входящих в комплект поставки.

Каждый рабочий пост контроля устанавливается на соответствующем рабочем месте слесаря по ремонту и служит непосредственно для измерения параметров конкретного диагностируемого оборудования. Количественные результаты измерений отображаются на алфавитно-цифровом дисплее терминального модуля и передаются на рабочее место мастера, которое представляет собой сервер с набором специализированного программного обеспечения и стационарного блока приёма передачи данных. Место мастера производит обработку результатов измерений и их хранение.

Результаты качественной оценки (норма / не норма) и рекомендации ремонтному персоналу передаются обратно на рабочие посты контроля и выводятся на дисплей терминального модуля. Процесс обмена информа-

цией между рабочими постами контроля и рабочим местом мастера происходит в автоматическом режиме. Данные измерений сохраняются на специальном сервере системы (рис. 13).



Рис. 12. Внешний вид рабочих постов контроля и сервера



Рис. 13. Структура комплекса СКП-АЦ

В электроаппаратном цехе могут быть установлены посты контроля аппаратов защиты, электропневматических контакторов, электромагнитных контакторов, контроллера машиниста, реле и панелей и др.

Сервер обеспечивает:

- Хранение и представление информации о типах подвижного состава, ремонтируемого на предприятии, типах оборудования и их параметрах;
- Формирование базы данных нормированных значений диагностируемых параметров оборудования;
- Формирование списка ремонтного персонала предприятия (цеха);
- Ведение учета подвижного состава, а также оборудования, поступившего в ремонт;
- Контроль времени выполнения различных диагностических операций, проводимых ремонтным персоналом цеха;
- Сбор, хранение и представление информации о результатах испытаний, проводимых с помощью оборудования;
- Формирование паспорта технического состояния подвижного состава на основе собранных данных.

СКП-ЭМЦ (КСК-ЭМЦ) предназначен для применения на ремонтных предприятиях железнодорожного транспорта в цехах по ремонту тяговых двигателей (ТЭД) локомотивов. Комплекс позволяет измерять основные электрические параметры ТЭД, а также определять ряд неисправностей их узлов. По составу комплекс аналогичен системе СКП-АЦ.

ИКС-АЦ, ИКС-ЭМЦ – информационно-контрольная система электроаппаратного, электромашинного цехов, предназначена для диагностики состояния и контроля технических характеристик различных типов электрических аппаратов и ТЭД локомотивов, осуществляет замер технических параметров ремонтируемого объекта, сбор данных, их накопление и передачу на центральный сервер, где осуществляется качественный и количественный их анализ. Система выполняет все функции предшествующих ей Комплексных систем контроля качества электроаппаратного и электромашинного цехов (КСК-АЦ, КСК-ЭМЦ), содержит тот же функциональный перечень постов.

ИКС выполнена на принципиально новой элементной базе: в состав каждого поста входит специализированная ЭВМ; используется 19-дюймовый сенсорный монитор с антивандальным экраном, рассчитанным на работу в условиях ремонтного предприятия; устройство передачи данных с использованием беспроводных технологий делает посты фактически «мобильными».

ИКС позволяет автоматизировать производственные процессы на ремонтных предприятиях на более высоком уровне, реализует функции: технического учета оборудования и материалов; обучения персонала на основе использования 3D-технологий; использование технологической документации при производстве ремонтных работ; хранения технической документации; использование сетевых графиков при производстве работ; планирования и управления процессами эксплуатации и ремонта; идентификацию персонала.

Лабораторная работа № 8. Системы аудио- и видеорегистрации в кабине машиниста

Цель работы

Изучение современных локомотивных систем аудио- и видеорегистрации.

Общие сведения

Для обеспечения безопасности движения поездов командно-инструкторским, ревизорским аппаратом и руководителями ОАО «РЖД», его филиалов и структурных подразделений используются системы аудио- и видеорегистрации в качестве технического средства контроля за соблюдением требований безопасности движения и охраны труда, за выполнением установленного регламента переговоров и регламентных действий, а также для анализа качества исполнения должностных обязанностей локомотивными бригадами, в целях повышения профессионального мастер-

ства, уровня ответственности и снижения количества нештатных ситуаций. На сегодняшний день существует несколько модификаций локомотивных систем аудио- и видеорегистрации.

Регистратор переговоров локомотивный РПЛ-2 предназначен для регистрации переговоров между локомотивной бригадой и диспетчером по каналам радиосвязи, регистрации выполнения регламента переговоров между машинистом и помощником машиниста при отправлении поезда и в движении с привязкой к ординате пути, времени, состоянию локомотивного светофора, фактической и допустимой скорости.

Комплекс состоит самого регистратора, модуля микрофона (одного или двух) и блока сопряжения с локомотивными устройствами.

Регистратор обеспечивает следующие функции и возможности:

- сопряжение с локомотивными радиостанциями;
- возможность записи с привязкой к местоположению локомотива, состоянию светофоров, фактической скорости движения локомотива, допустимой скорости движения, давлению в тормозной магистрали;
- возможность синхронизации времени и даты с единым астрономическим временем через комплексное локомотивное устройство безопасности КЛУБ-У;
- возможность регистрации переговоров в кабине локомотива при подъезде к запрещающему показанию сигнала светофора и следовании на запрещающий сигнал, при смене огней локомотивного светофора на более запрещающее или белое показание, при отправлении поезда, при движении на белый сигнал светофора при маневровом режиме работы;
- возможность съема информации через USB-интерфейс;
- автоматическое стирание старых записей при переполнении накопителя;
- хранение записанной информации не менее 14 дней;
- защиту от несанкционированного доступа;

- круглосуточную работу «РПЛ-2» в режиме регистрации переговоров;

Регистраторы РПЛ-2МВ и «АПК КВАРЦ» имеют в своем составе видеокамеру и наделены функцией видеорегистрации наряду с возможностью записи аудиоинформации.

Функция видеорегистрации расширила возможности ревизорского и командно-инструкторского аппарата, дала возможность отслеживать не только соблюдение локомотивной бригадой регламента переговоров, но и контролировать выполнение ими регламентных действий.

Регистраторы состоят из блоков аудио-видео регистрации, видеокамеры и микрофонов, расположенных в кабинах машиниста, кабельных линий связи и устройств сопряжения.

Системы видеонаблюдения обеспечивают:

- запись изображения с видеокамеры на жесткий диск видеорегистратора с фиксацией даты и времени записи;
- инфракрасную подсветку зон обзора видеокамеры и возможность работы видеокамеры в режиме «День/Ночь»;
- непрерывную запись видеоизображения от видеокамеры до 15 суток. По заполнении емкости жесткого диска видеорегистратора прежняя запись постепенно ступенчато стирается и производится последующая запись;
- регистрацию изображения от внешних видеокамер (устанавливаются по требованию заказчика при установке дополнительного видеорегистратора);
- просмотр записи при помощи персонального компьютера с программным обеспечением, поставляемым с видеорегистратором;
- защиту от несанкционированного уничтожения или замены записи;
- регистрацию и запись сеансов связи, в том числе несостоявшихся по локомотивной радиостанции с указанием даты, времени проведения каждого сеанса связи;

- запись переговоров, ведущихся в кабине машиниста:

а) в течение 120 секунд перед отправлением поезда (запись регламента переговоров во время «Минуты готовности»);

б) в первые 120 секунд при начале движения локомотива;

в) в первые 120 секунд по любой смене сигналов светофора, как во время движения локомотива, так и во время стоянки;

г) постоянно во время движения локомотива по белому, красно-желтому и красному сигналам локомотивного светофора или при отсутствии сигналов; для маневровых локомотивов запись ведется в постоянном режиме независимо от скорости движения;

д) при падении давления в тормозной магистрали, в уравнительном резервуаре, или повышении давления в тормозных цилиндрах на величину 0,2 и более Атм; запись начинается за 120 секунд до наступления указанных признаков.

Видеозапись действий и обстановки в кабине машиниста с синхронной записью переговоров, ведущихся в кабине машиниста, с регистрацией идентификационной информации и сообщений о событиях и параметрах выполняется:

1) при движении (стоянке) локомотива с частотой оцифровки 25 кадров/с при возникновении следующих событий:

- в течение 120 секунд перед отправлением поезда (видеозапись выполнения регламента «Минутная готовность»);

- первые 120 секунд при начале движения локомотива;

- первые 120 секунд при любой смене показаний светофора;

- постоянно во время движения локомотива по белому, красно-желтому и красному сигналам локомотивного светофора;

- при падении давления в тормозной магистрали, уравнительном резервуаре или повышении давления в тормозных цилиндрах на величину 0,2 и более Атм; запись начинается за 120 секунд до наступления указанных признаков;

- при включении ЭПК в течение 120 секунд;
- при выключении ЭПК (в процессе движения) постоянно до включения;
- при превышении фактической скоростью допустимого значения по системе безопасности локомотива, продолжительность видеозаписи – до восстановления допустимого значения скорости;
- в течение 120 секунд перед срабатыванием противобоксовочной защиты и в течение 120 секунд после срабатывания;
- в течение 120 секунд перед срабатыванием и в течение 120 секунд после срабатывания ТСКБМ.

2) во всех остальных случаях при движении локомотива видеозапись выполняется с частотой оцифровки 5 кадров/с.

Архивы видео и аудиозаписей сохраняются на встроенных и съемных энергонезависимых цифровых носителях.

Считывание архива записей для выполнения контроля и долговременного хранения, возможно четырьмя способами:

- производится посредством копирования записей со съемных носителей в локомотивном депо с помощью считывателя съемных носителей и специализированного программного обеспечения, установленного на персональный компьютер;
- данные могут быть считаны непосредственно с Системы, при помощи переносного компьютера с установленным специализированным ПО, через стандартный интерфейс Ethernet.

АПК КВАРЦ-М2 имеет тот же принцип работы, как и у «АПК КВАРЦ», но отличительной особенностью является наличие дополнительной камеры, которая направлена вперед – для записи того, что происходит впереди локомотива.

Лабораторная работа № 8. Система Маневровой автоматической локомотивной сигнализации (МАЛС)

Цель работы

Изучение устройства и работы системы маневровой автоматической сигнализации.

Общие сведения

Система МАЛС предназначена для обеспечения безопасности проведения маневровых работ на железнодорожных станциях и запрета движения локомотива (состава) со скоростью выше допустимой, а также для автоматической его остановки перед закрытым сигналом или местом проведения работ.

Объектом управления системы являются маневровые локомотивы, оборудованные устройствами МАЛС.

Система МАЛС состоит из:

- станционных устройств, увязанных с системами электрической централизации (ЭЦ) станции и включающих в себя автоматизированные рабочие места (АРМ) системы (для руководителей станции, дежурных по станции, по горке, маневровых диспетчеров и т.п.);
- бортовой аппаратуры (БА МАЛС), устанавливаемой на маневровых локомотивах;
- стационарного и мобильных комплектов оборудования радиоканала передачи данных (РПД), а также спутниковой навигации (ССН);
- средств мониторинга системы (для электромехаников СЦБ и машинистов-инструкторов эксплуатационных локомотивных депо) в том числе удалённого.

Станционные устройства и бортовая аппаратура МАЛС в условиях эксплуатации связаны между собой только по радиоканалу передачи данных (рис. 14).



Рис. 14. Структурная схема МАЛС

Контроллеры опроса КО опрашивают подключенные к ним контакты реле электрической централизации ЭЦ, формируют массив данных и выдают их в каналы связи станционного формирователя (СФ МАЛС). На основании оперативной информации от устройств ЭЦ и команд дежурного по станции СФ МАЛС формирует команды для маневрового локомотива и передает их в цифровой радиоканал связи через приемопередающее устройство. В ответной телеграмме передаются параметры подвижного объекта системы. Бортовой контроллер (БК) получает команды от станционной аппаратуры через приемопередающее устройство. Блок БК производит опрос состояния электрооборудования локомотива через блок переключателей (БП) и снимает информацию с датчиков импульсов ДИ1, ДИ2. Информация для машиниста выдается на монитор блока индикации (БИ), а команды машиниста вводятся в бортовой контроллер с помощью функциональной клавиатуры блока управления (БУ).

Локомотивная аппаратура может работать в трех режимах: ручном, автономном и телеуправления.

В качестве канала передачи информации от стационарных устройств на локомотивные в системе МАЛС используется цифровой радиоканал, работающий в диапазоне 460 МГц.

Система МАЛС предназначена для передачи на локомотивные устройства команд, обеспечивающих набор и снижение скорости, экстренное торможение, в том числе обеспечивается выдача команд на:

- автоматическую остановку маневрового локомотива (состава) перед светофором с запрещающим показанием, при скатывании локомотива или при таких типичных ошибках машинистов, как: неправильное восприятие или неправильная интерпретация машинистом команд составителя или дежурного по станции;

- снижение скорости при приближении к светофору с запрещающим показанием или месту проведения работ на станционных путях;

- запрет движения маневрового локомотива по станции со скоростью выше разрешенной ПТЭ, приказом начальника дороги, введенными предупреждениями;

- экстренную остановку маневрового локомотива, оборудованного БА, по приказу дежурного по станции;

- выдачу разрешения или запрета на выезд маневрового локомотива на перегон.

Система обеспечивает:

- 1) контроль местоположения и параметров движения маневрового локомотива;

- 2) проведение маневров по маршрутам, не изолированным от поездного движения, в зоне ЭЦ при движении локомотивом вперед;

- 3) регистрацию и протоколирование работы локомотивных, станционных устройств и средств радиосвязи.

- 4) автоматизированное формирование статистической справки по показателям работы локомотивов (без ручного ввода).

Кроме того, в системе МАЛС реализованы возможности по:

- формированию статистических данных работы локомотивов, оборудованных БА МАЛС;

- анализу технологических ситуаций, позволяющих рассматривать в масштабе реального времени совместную работу устройств ЭЦ, РПД и бортовой аппаратуры МАЛС, действия дежурных по станции, машинистов;

- просмотру электронной скоростемерной ленты локомотива.

9 «ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА (ЧАСТЬ 2)»

Расчет штата локомотивных бригад

Явочный штат локомотивных бригад:

$$\sum B_{\text{яв}} = \frac{\bar{D} \cdot \sum T_{\text{бр}} \cdot N \cdot n}{\bar{\Phi}},$$

где \bar{D} – среднее за год количество дней в месяце, $\bar{D} = 30,4$;

$T_{\text{бр}}$ – время оборота локомотивной бригады, ч;

N – размеры движения, п.п.;

n – количество участков обращения локомотивных бригад;

$\bar{\Phi}$ – среднемесячный фонд рабочего времени локомотивной бригады, $\bar{\Phi} = 169$ ч.

Время оборота локомотивной бригады:

$$T_{\text{БР1}} = t_{\text{ПР}}^{\text{ОС}} + t'_{\text{X}} + t_{\text{ОЖ}} + t''_{\text{X}} + t_{\text{СД}}^{\text{ОС}},$$

$$T_{\text{БР2}} = t_{\text{ПР}}^{\text{ОС}} + t'_{\text{X}} + t_{\text{СД}}^{\text{ОБ}} + t_{\text{ПР}}^{\text{ОБ}} + t''_{\text{X}} + t_{\text{СД}}^{\text{ОС}},$$

где $t_{\text{ПР}}^{\text{ОС}}, t_{\text{ПР}}^{\text{ОБ}}$ – время приемки локомотива в основном, оборотном депо, $t_{\text{ПР}} = 0,5$ ч;

$t_{\text{СД}}^{\text{ОС}}, t_{\text{СД}}^{\text{ОБ}}$ – время сдачи локомотива, $t_{\text{СД}} = 0,3$ ч;

$t'_{\text{X}}, t''_{\text{X}}$ – время хода локомотива по участку;

$$t'_{\text{X}} = \frac{l_{\text{бр}}}{V_{\text{y}}}$$

$t_{\text{ОЖ}}$ – время ожидания локомотива, $t_{\text{ОЖ}} = 0,5$ ч;

Списочный штат локомотивных бригад:

$$B_{\text{СП}} = 1,13 \square B_{\text{ЯВ}}.$$

Расчет выполняемой работы локомотивными бригадами

Выполняемая работа локомотивными бригадами:

$$A_{\text{БР}} = \frac{\bar{\Phi} \cdot 2 \cdot l_{\text{бр}} \cdot Q}{\sum T_{\text{бр}}},$$

По расчетным значениям $B_{\text{СП1,2}}$; $A_{\text{БР1,2}}$ строятся гистограммы.

На основании расчетов необходимо сделать вывод о наиболее оптимальном варианте размещения пунктов смены локомотивных бригад исходя из их минимального количества. Привести расчёт экономии денежных средств и увеличения производительности.

10 «ПРАВИЛА ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ»

Введение

Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации устанавливают основные положения и порядок работы железных дорог и работников железнодорожного транспорта, основные размеры, нормы содержания важнейших сооружений, устройств и подвижного состава и требования, предъявляемые к ним, систему организации движения поездов и принципы сигнализации.

Правила технической эксплуатации обязательны для всех подразделений и работников железнодорожного транспорта.

Выполнение Правил технической эксплуатации обеспечивает слаженность всех звеньев железнодорожного транспорта, четкую и бесперебойную работу железных дорог и безопасность движения.

Определение количества башмаков для закрепления состава

При закреплении вагонов на станционных путях в соответствии с требованиями необходимо руководствоваться следующими минимальными нормами:

На горизонтальных путях и путях с уклонами до 0,0005 включительно – по одному тормозному башмаку для закрепления любого количества вагонов с обеих сторон (состава, группы вагонов или одиночного вагона);

На путях с уклонами более 0,0005 нормы закрепления определяются по следующим расчетным формулам:

При закреплении одиночных вагонов, а также составов или групп, состоящих из однородного по весу (брутто) подвижного состава: грузовых груженых или порожних вагонов независимо от их рода, вагонов пассажирского парка, включая моторвагонный подвижной состав; рефрижераторных вагонов при условии, что в группе (секции) все вагоны груженые

или все порожние (в том числе порожняя секция с машинным отделением); сплотов локомотивов в недействующем состоянии;

При закреплении смешанных (разнородных по весу) составов или групп, состоящих из груженных и порожних вагонов или груженных вагонов различного веса при условии, что тормозные башмаки укладываются под вагоны с нагрузкой на ось не менее 15 т (брутто), а при отсутствии таких вагонов – под вагоны с меньшей нагрузкой на ось, но максимальной для закрепляемой группы.

При соблюдении данных условий, применяется формула:

$$K = \frac{n \cdot (1,5 \cdot i + 1)}{200},$$

где K – необходимое количество тормозных башмаков;

n – количество осей в составе (группе);

i – средняя величина уклона пути или отрезка пути в промилях;

$(1,5 i + 1)$ – количество тормозных башмаков на каждые 200 осей.

При закреплении смешанных составов или групп, состоящих из разнородных по весу вагонов, если тормозные башмаки укладываются под порожние вагоны, вагоны с нагрузкой менее 15 т на ось брутто, не являющимися самыми тяжелыми вагонами в группе, или под вагоны с неизвестной нагрузкой на ось, применяется формула:

$$K = \frac{n \cdot (4 \cdot i + 1)}{200},$$

где $(4i + 1)$ – количество тормозных башмаков на каждые 200 осей.

Нормы закрепления, рассчитанные по данным формулам, указываются в техническо-распорядительном акте (ТРА) станции.

При закреплении групп вагонов, в которых число осей меньше или больше двухсот, количество башмаков исчисляется пропорционально соотношению фактического числа осей закрепляемой группы к 200 осям. При получении дробного значения количество башмаков округляется до большего целого числа.

Примеры:

а) для закрепления 80 осей группы вагонов на уклоне 0,0025 и укладывании тормозных башмаков под порожние вагоны (или вагоны с неизвестной нагрузкой на ось) потребуется:

$$\frac{80 \cdot (4 \cdot 2,5 + 1)}{200} = 4,4 \approx 5 \text{ башмаков,}$$

той же группы вагонов и при укладывании тормозных башмаков под вагоны с нагрузкой на ось не менее 15 т (или, если таких вагонов в группе нет, – под вагоны с максимальной нагрузкой на ось данной группы):

$$\frac{80 \cdot (1,5 \cdot 2,5 + 1)}{200} = 1,9 \approx 2 \text{ башмака ;}$$

б) для закрепления 240 осей угольного маршрута или состава из порожних вагонов на уклоне 0,0015 потребуется:

$$\frac{240 \cdot (1,5 \cdot 1,5 + 1)}{200} = 3,9 \approx 4 \text{ башмака .}$$

На станционных путях с сильно замасленными поверхностями рельсов (пути погрузки наливных грузов, очистки и промывки цистерн и т.п.), указанные в пункте 1 настоящего приложения нормы закрепления увеличиваются в 1,5 раза.

На путях с ломаным профилем нормы закрепления составов поездов или групп вагонов, располагающихся в пределах полной длины путей, исчисляются по средней величине уклона для всей длины пути. Если вагоны оставляются на отдельных отрезках путей, то их закрепление тормозными башмаками должно производиться по нормам, соответствующим фактической величине уклона данного отрезка.

При закреплении поданной под выгрузку группы вагонов тормозные башмаки должны укладываться под вагоны, которые подлежат разгрузке в последнюю очередь.

Тормозные башмаки должны быть исправными и укладываться под разные оси состава таким образом, чтобы носок полоза башмака касался

обода колеса. В местах постоянной укладки тормозных башмаков должны быть установлены ящики с песком, который применяется в случаях образования наледи, инея и т.п. Если закрепление производится двумя и более башмаками, то нельзя их укладывать под одну и ту же вагонную ось.

Запрещается использовать для закрепления вагонов тормозные башмаки с обледенелым или замасленным полозом.

На путях с уклонами башмаки укладываются со стороны спуска. На уклонах более 0,0005 до 0,001 включительно вагоны закрепляются дополнительно одним тормозным башмаком и со стороны, противоположной спуску.

Если тормозной башмак укладывается не под крайний вагон со стороны возможного ухода закрепляемой группы, то должна быть дополнительно проверена надежность сцепления с этим вагоном всех других вагонов этой группы.

При сильном (более 15 м/с) ветре, направление которого совпадает с направлением возможного ухода вагонов, исчисленная в соответствии с п.1 настоящего приложения норма закрепления (на каждые 200 осей закрепляемой группы) увеличивается укладкой под колеса вагонов трех дополнительных тормозных башмаков, а при очень сильном (штормовом) ветре – семи тормозных башмаков.

При закреплении моторвагонных поездов, локомотивов в недействующем состоянии, а в исключительных случаях другого подвижного состава, при отсутствии достаточного количества тормозных башмаков, могут быть использованы ручные тормоза подвижного состава из расчета: 5 тормозных осей заменяют 1 тормозной башмак.

На горизонтальных путях или путях с уклоном 0,0005 и менее допускается приводить в действие ручной тормоз одного вагона (локомотива) в любой части сцепленной группы подвижного состава взамен тормозных башмаков с обеих ее сторон.

11 «ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ЛОКОМОТИВОВ» («СПЕЦКУРС №2», «ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ И СХЕМЫ ЛОКОМОТИВОВ»)

Лабораторная работа № 1. Изучение конструкции и работы тепловозных контакторов

Цель работы: изучить конструкцию и принцип действия электропневматического, электромагнитного и группового контакторов. Произвести измерение силы нажатия контактов электропневматического контактора.

Краткие сведения из теории:

Контакторы представляют собой аппараты с приводом дистанционного управления, предназначенные для повторных замыканий и размыканий отдельных участков электрических цепей. Дистанционное управление контакторами осуществляется автоматически или вручную при помощи кнопок.

По типу привода контакторы подразделяются на электромагнитные и электропневматические.

Электромагнитные контакторы различных конструкций устанавливаются в различных цепях тепловозов: цепях ослабления поля, пуска дизеля, заряда аккумуляторных батарей и т.д.

В электромагнитных контакторах привод выполнен в виде электромагнита с подвижным якорем. При протекании тока по катушке электромагнита якорь под действием магнитного поля, создаваемого катушкой, притягивается к сердечнику, вследствие чего подвижной контакт прижимается к неподвижному.

На рисунке 1 приведена принципиальная схема устройства электромагнитного контактора постоянного тока. Катушка 1 контактора

питается током цепи управления (75 или 110 В). Образованное этим током магнитное поле притягивает к сердечнику 2 катушки железный якорь 3; последний, поворачиваясь на оси 4, замыкает главные контакты 5 и 6 в цепи рабочего тока. Пружина 7 обеспечивает необходимое притирание и давление подвижного контакта 5 на неподвижный контакт 6. Силовая цепь присоединена к зажимам 8 и 9; ток силовой цепи проходит через дугогасительную катушку 10, контакты 5 и 6 и соединительный гибкий провод 11. Обычно главные контакты помещаются в дугогасительной камере из огнестойкого материала (асбестоцемент).

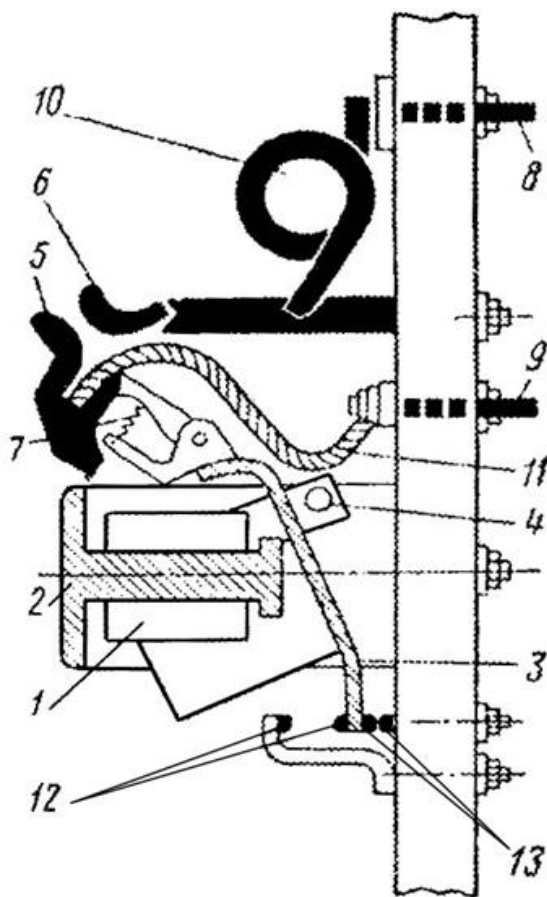


Рис. 1. Схема устройства электромагнитного контактора

пальцы при определённом положении аппарата, создают необходимую цепь управления.

Дугогасительная катушка 10 своим магнитным полем выдувает электрическую дугу, которая образуется между контактами 5 и 6 при их

Помимо контактов силовой цепи, одновременно замыкаются прямые блокировочные контакты цепи управления 12, а обратная блокировка 13 отключается. Блокировки служат для обеспечения необходимой последовательности работы других аппаратов тепловоза. Блокировки состоят из ряда неподвижных пальцев, укрепленных на раме аппарата и соединённых с проводами управления, и подвижных пальцев, которые также соединены с проводами управления и укреплены на подвижной части контактора. Сегменты, замыкая

размыкании под нагрузкой в дугогасительную камеру, где обеспечивается её удлинение, охлаждение и деионизация, и тем самым способствует быстрому гашению дуги, что необходимо во избежание оплавления контактов.

В аппаратах низкого напряжения с малыми номинальными токами гашение дуги обеспечивают соответствующим выбором расстояния между разомкнутыми контактами, т.е. их *раствора*. В аппаратах с большими токами, даже относительно низкого напряжения, обеспечивать гашение дуги только путём увеличения раствора контактов нецелесообразно по конструктивным соображениям. В этом случае гашение дуги при сравнительно небольшом растворе контактов осуществляют дугогасительными устройствами. Эти устройства должны обеспечивать надёжное гашение дуги при возможно меньшем объёме устройства и малом износе контактов и камеры.

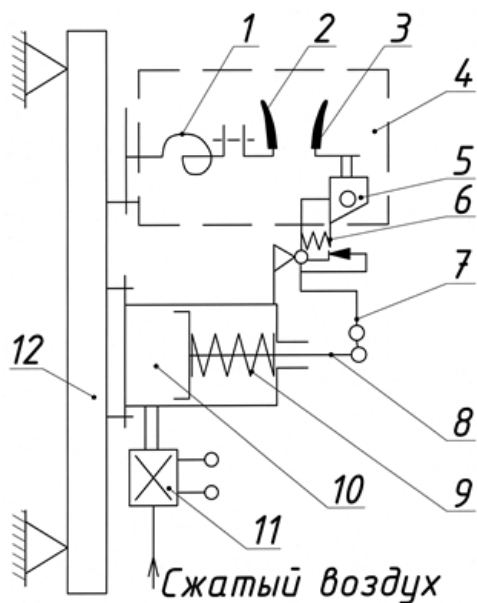


Рис. 2. Принципиальная схема электропневматического контактора:
 1 – дугогасительная катушка;
 2,3 – неподвижная и подвижная губки контактора; 4 – дугогасительная камера;
 5 – рычаг качающийся; 6 – пружина;
 7 – рычаг; 8 – шток пневмоцилиндра;
 9 – отключающая пружина; 10 – пневмопривод; 11 – электропневматический вентиль; 12 – электроизоляционная панель

Электропневматические контакторы предназначены для подключения тяговых двигателей к тяговому генератору. Учитывая, что в силовых цепях локомотивов протекают большие токи (500...1000 А), необходимо обеспечить большое удельное нажатие контактов, способствующее снижению величины переходного сопротивления и, следовательно, предупреждающее нагрев контактной группы. При небольших габаритах контактора этого можно достичь только с помощью пневмопривода. Устройство такого контактора показано на рис. 2. Подвижная часть контактной системы

приводится в движение поршнем пневмопривода. Впуск и выпуск сжатого воздуха осуществляется электропневматическим вентилем, получающим питание от цепей управления тепловоза. Исправная работа контактора в значительной степени зависит от нагрева контактов, силы удара и действия электрической дуги. При определённом токе нагрев определяется сопротивлением в месте соприкосновения контактов (контактным сопротивлением). Минимальным контактным сопротивлением обладают линейные контакты, т.е. такие, которые соприкасаются по прямой линии или практически по очень узкой прямоугольной площадке. Эти контакты применяют в тяговой аппаратуре.

Контактное сопротивление одного и того же материала при одном и том же контактном нажатии меняется в зависимости от чистоты контактирующих поверхностей, степени их обработки, загрязнения и окисления. Чем больше степень загрязнения и окисления, тем больше контактное сопротивление. При этом всякое нагревание металла контактов увеличивает степень его окисления, что повышает контактное сопротивление, а это в свою очередь приводит к увеличению нагрева контакта.

Контакторы всех типов сконструированы таким образом, что в процессе включения и выключения поверхности их контактов скользят друг относительно друга. При скольжении поверхности контактов зачищаются, вследствие чего контактное сопротивление уменьшается и они нагреваются слабее.

Совместное перемещение контактов от точек первоначального касания к точкам полного и окончательного касания (или обратно) с их скольжением называют *провалом* (притиранием) контактов. Размер провала измеряется в миллиметрах и определяется добавочным ходом подвижного контакта после соприкосновения его с неподвижным.

Наиболее часто на тепловозах применяются электромагнитные контакторы следующих типов: КПМ-220, КПМ-111, КПМ-121; КПД-46А-1,

КПВ-504, КПВ-604, а также электропневматические контакторы типа ПК-753.

Групповые электропневматические контакторы применяются на тепловозах 2ТЭ10В, 2ТЭ10М, 2ТЭ10У, М62, 2ТЭ116 и служат для подключения параллельно обмоткам возбуждения тяговых двигателей резисторов ослабления возбуждения.

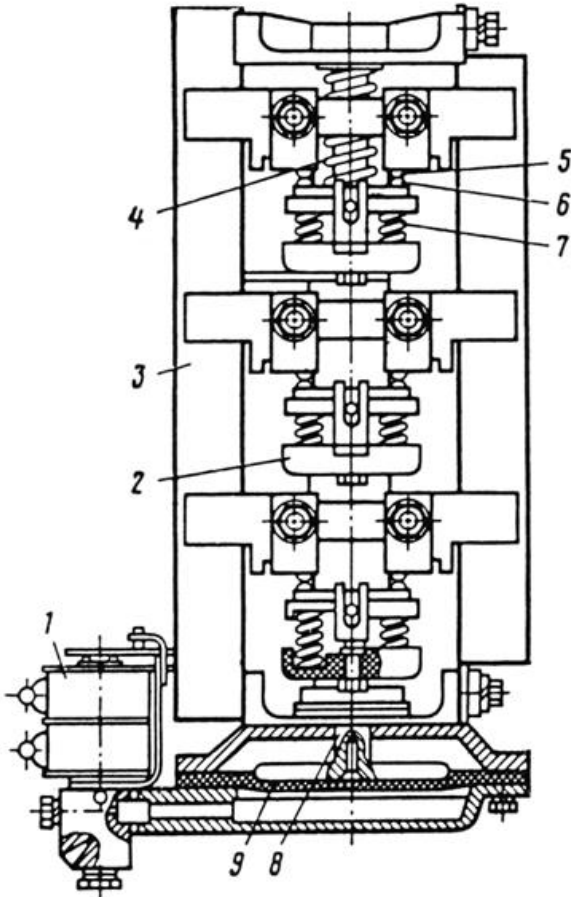


Рис. 3. Электропневматический групповой контактор:

- 1 – электропневматический вентиль;
 2 – контактодержатель подвижных контактов;
 3 – стойка;
 4 – выключающая пружина;
 5 – неподвижные контакты;
 6 – подвижные контакты;
 7 – пружина;
 8 – шток;
 9 – диафрагма

Главные контакты групповых электропневматических контакторов рассчитаны на длительный ток 450 А и имеют раствор 6 мм, провал 4 мм, нажатие 2×120 Н, вспомогательные контакты рассчитаны на ток 2 А и имеют нажатие 1,1...1,3 Н. Групповой электропневматический контактор (рис. 3) состоит из привода, к корпусу которого крепится электропневматический вентиль 1. Диафрагмой 9 внутренний объем корпуса делится на две части, к нижней подводится воздух от электропневматического вентиля, а в верхней расположен шток 8, торец которого опирается на диафрагму. К штоку крепятся контактодержатели 2 с подвижными контактами 6 мостикового типа. Неподвижные контакты крепятся к стойкам 3 через пластмассовые изоляционные контактодержатели.

При включении электропневматического вентиля воздух поступает под диафрагму, диафрагма прогибается и давит на шток, шток перемещается вверх и подвижные контакты замыкаются с неподвижными. Нажатие на контакты создается пружиной 7, одновременно сжимается выключающая пружина 4. При выключении электропневма-

тического вентиля объем под диафрагмой соединяется с атмосферой, и под действием выключающей пружины шток опустится вниз, а подвижные контакты разомкнут ранее замкнутую цепь. Главные контакты групповых электропневматических контакторов выполнены из металлокерамики СОК-15 (15 % серебра и 85 % окисла кадмия), имеющей низкое переходное сопротивление. Это обусловлено низким сопротивлением резисторов ослабления возбуждения тяговых двигателей, которые подключаются главными контактами.

Порядок выполнения работы

1 По плакатам и на натуральных образцах изучить конструкцию тепловозных контакторов.

2 Перед включением стенда убедиться, что выключатель компрессора, а также выключатели контакторов находятся в положении «0» (выключены).

3 Включить стенд, переведя выключатель «Питание стенда» в положение «1».

4 Убедиться в том, что кран на выходе компрессора, подающий сжатый воздух к аппаратам стенда, закрыт.

5 Запустить компрессор, переведя тумблер «Питание компрессора» в положение «1».

6 После автоматического отключения компрессора приступить к измерению величины контактного нажатия электропневматического контактора в соответствии с указаниями преподавателя. Результат измерения сравнить с паспортным значением для данного контактора и сделать выводы о его исправности и пригодности к эксплуатации.

7 Отключить питание вентиля электропневматического контактора соответствующим тумблером. Ознакомиться с работой электромагнитного и группового контакторов, управляя ими с помощью тумблеров питания.

Контрольные вопросы

- 1 Какие функции выполняют контакторы в тепловозах? Какие виды контакторов Вы знаете?
- 2 Какие типы приводов используются в тепловозных контакторах?
- 3 Назовите преимущества и недостатки основных типов приводов.
- 4 Дайте определение раствора и провала контактов.
- 5 Каково назначение дугогасительного устройства контакторов и отдельных его элементов?

Лабораторная работа № 2. Изучение конструкции и работы контроллера машиниста и реверсора

Цель работы: изучить конструкцию и принцип действия контроллера машиниста и реверсора.

Краткие сведения из теории

Контроллеры машиниста служат для дистанционного управления электрической передачей тепловоза: изменения направления движения и регулирования мощности дизель-генераторной установки по позициям. По виду контроллеры делятся на контроллеры с ручным управлением и контроллеры с ручным и электропневматическим управлением.

Контроллер машиниста КВ-1552 изображен на рис. 4. У этого контроллера контактная система мостикового типа, управление главным барабаном осуществляется штурвалом. Корпус контроллера 3 состоит из сварного каркаса и крышки. В корпусе установлен главный вал 6, верхний конец которого проходит через крышку, и на нем укреплен гайкой штурвал 2.

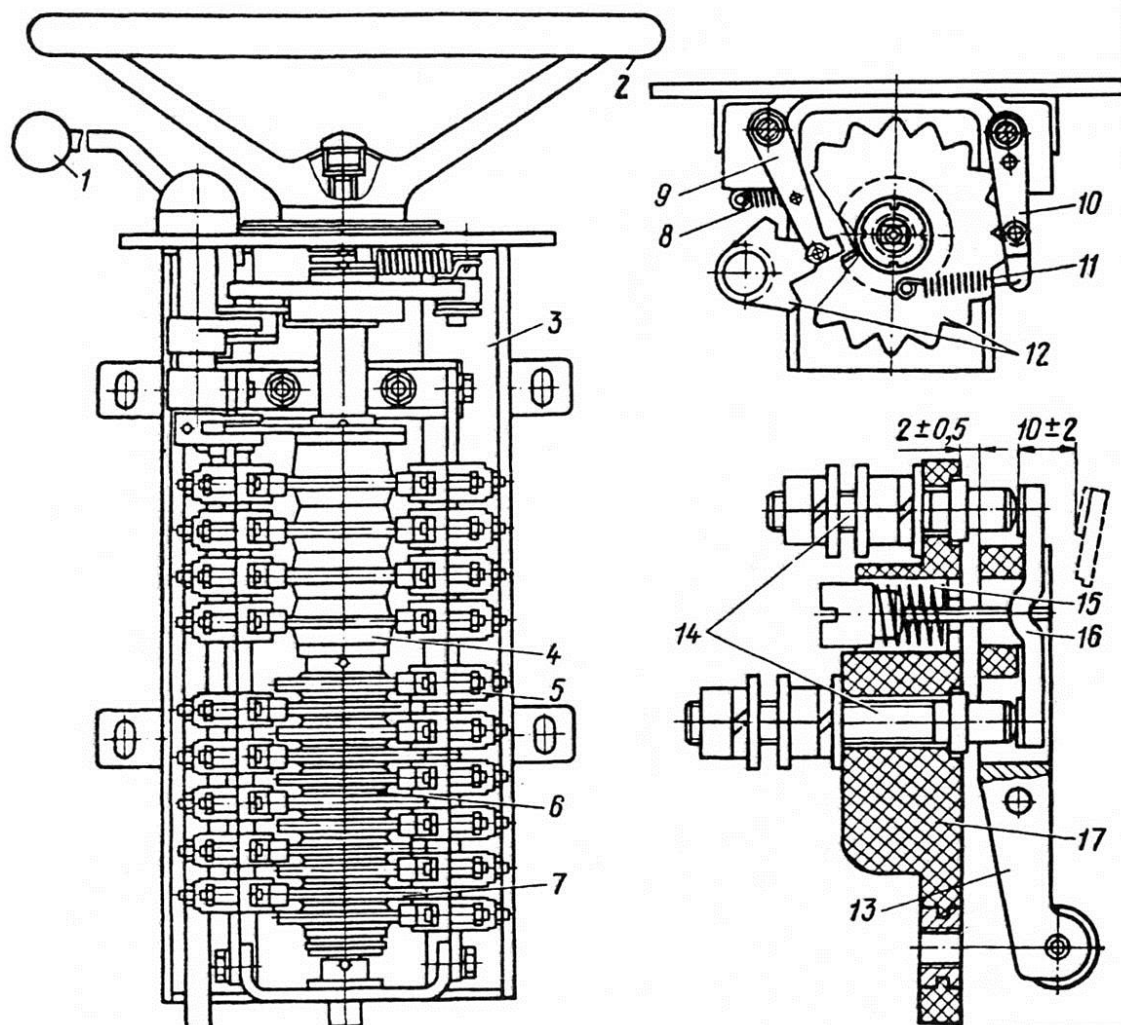


Рис. 4. Контроллер машиниста КВ-1552:

1 – реверсивная рукоятка; 2 – штурвал; 3 – корпус; 4 – реверсивный барабан;
 5 – кулачковые шайбы; 6 – главный вал с шайбами; 7 – контактные элементы;
 8, 11 – пружины; 9 – фиксатор; 10 – рычаг; 12 – храповик; 13 – рычаг контактного
 элемента; 14 – контактные болты; 15 – пружина; 16 – подвижные контакты;
 17 – пластмассовый изолятор

Под ступицей штурвала установлен диск с таблицей указания позиций. На нижней части главного вала, имеющего квадратное сечение, жестко установлен набор пластмассовых шайб контроллера. На средней части вала свободно надет реверсивный барабан 4. Поворот главного вала посредством штурвала предусмотрен на 16 позиций: одну нулевую позицию, соответствующую работе дизеля на холостом ходу, и 15 позиций движения тепловоза. Позиции главного и реверсивного барабана фиксируются храповиками. Фиксация храповика происходит на каждой позиции штурвала или реверсивной рукоятки рычагом 10, фиксатором 9 и пружинами 8, 11. Механи-

ческая блокировка исключает перемещение реверсивной рукоятки на ходовых позициях штурвала главного барабана и перемещение штурвала на нулевом положении реверсивной рукоятки. Это обеспечивается фиксатором 9, расположенным между храповиками главного и реверсивного барабанов.

Реверсивная рукоятка съемная, снять ее можно только при нулевом положении штурвала. При снятой реверсивной рукоятке невозможно перемещение штурвала контроллера, а следовательно, невозможно приведение тепловоза в движение. Таким образом, реверсивная рукоятка является ключом к системе управления.

С левой и правой стороны от главного вала контроллера на рейках закреплены кулачковые элементы, состоящие из пластмассового изолятора 17, рычага 13, контактных болтов 14, подвижного контакта 16, держателя и пружины 15, обеспечивающих начальное и конечное контактные нажатия. В рычаге имеется ролик, который прижимается к поверхности кулачковой шайбы. При повороте реверсивного или главного барабана ролик перекачивается по профилю шайбы, имеющей вырезы в соответствии с требуемой очередностью замыкания или размыкания электрической цепи по позициям штурвала или положениям реверсивной рукоятки. Если ролик находится на невырезанном участке шайбы, то подвижные контакты отведены держателем от неподвижных. При попадании ролика в вырез шайбы рычаг под действием пружины 15 поворачивается вокруг оси, и подвижной контакт приходит в соприкосновение с неподвижным.

Условное обозначение контроллера КВ-1552 содержит следующую информацию: К – контроллер, В – возбуждения, 15 – количество позиций главного барабана, 52 – конструктивное исполнение.

Характеристика контактов контроллеров КВ-0551, КВ-1552, КВ-1553, КВ-1554, КВ-0853, КВ-0854, КВП-0850, КВП-0850М:

Номинальный ток, А.....	20;
Номинальное напряжение, В.....	110;
Раствор, мм, не менее.....	8;

Провал, мм, не менее.....	2;
Контактное нажатие, Н.....	3,5...4,5.

Реверсоры служат для изменения направления движения тепловоза за счет изменения направления тока в обмотках возбуждения тяговых двигателей. Изменение направления движения осуществляется при остановленном тепловозе, т. е. при обесточенной цепи, а поэтому главные контакты реверсора не имеют дугогашения. На тепловозах применяются два вида реверсоров: кулачковые и барабанные.

Пневматические кулачковые переключатели, применяемые на тепловозах в качестве реверсоров, отличаются друг от друга числом главных контактов, которое определяется количеством и схемой соединения тяговых двигателей и номинальным напряжением вспомогательных контактов и катушек электропневматических вентилях (110 В на тепловозах 2ТЭ116, ТЭП70 и 75 В на тепловозах 2ТЭ10В, 2ТЭ10М, ТЭМ2).

Основные параметры контактов пневматических кулачковых переключателей приведены в табл. 1.

Таблица 1

Основные параметры контактов пневматических кулачковых переключателей

Параметры	Главные контакты	Вспомогательные контакты
Ток длительный, А	1000	2
Напряжение максимальное, В	900	75/110
Нажатие, Н	300±15	1.1...1,3
Раствор, мм	10	Не менее 2,5
Провал, мм	2,1	2...3

Пневматический привод 2 (рис. 5) реверсора двусторонний, он имеет две камеры, диафрагмы которых связаны зубчатой рейкой, в зацепление с которой входит шестерня вала 5. На валу 5 крепятся кулачковые элементы с двусторонним расположением контактных групп. Кулачковый контакт-

ный элемент состоит из среднего изоляционного контактодержателя с двумя подвижными пальцевыми контактами 9, имеющими один общий вывод. Неподвижные контакты 8 крепятся к изоляционным контактодержателям, которые в свою очередь закреплены на металлических стойках 1. Кулачковая шайба 6 управляет двумя элементами: верхним и нижним. При включении электропневматического вентиля воздух поступает в привод, давит на диафрагму, диафрагма прогибается и перемещает зубчатую рейку, которая через шестерню поворачивает вал на определенный угол. При вращении вала кулачковая шайба 6 давит на ролик и поворачивает рычаг 7 вокруг оси до замыкания контактов. Профиль шайбы выбран так, что после включения контакты остаются замкнутыми даже при разрыве цепи катушки включающего электропневматического вентиля. Чтобы изменить положение реверсора, необходимо подать питание на второй вентиль, предварительно сняв питание с первого. Это осуществляется с помощью реверсивной рукоятки контроллера машиниста. В этом случае воздух поступит во вторую камеру (первая будет соединена с атмосферой через выпускной клапан первого выключенного вентиля), будет давить на вторую диафрагму, диафрагма прогнется, переместит рейку в противоположном направлении (по сравнению с ранее описанным), вал повернется на определенный угол в другую сторону, при этом замкнутые контакты разомкнутся, разомкнутые замкнутся.

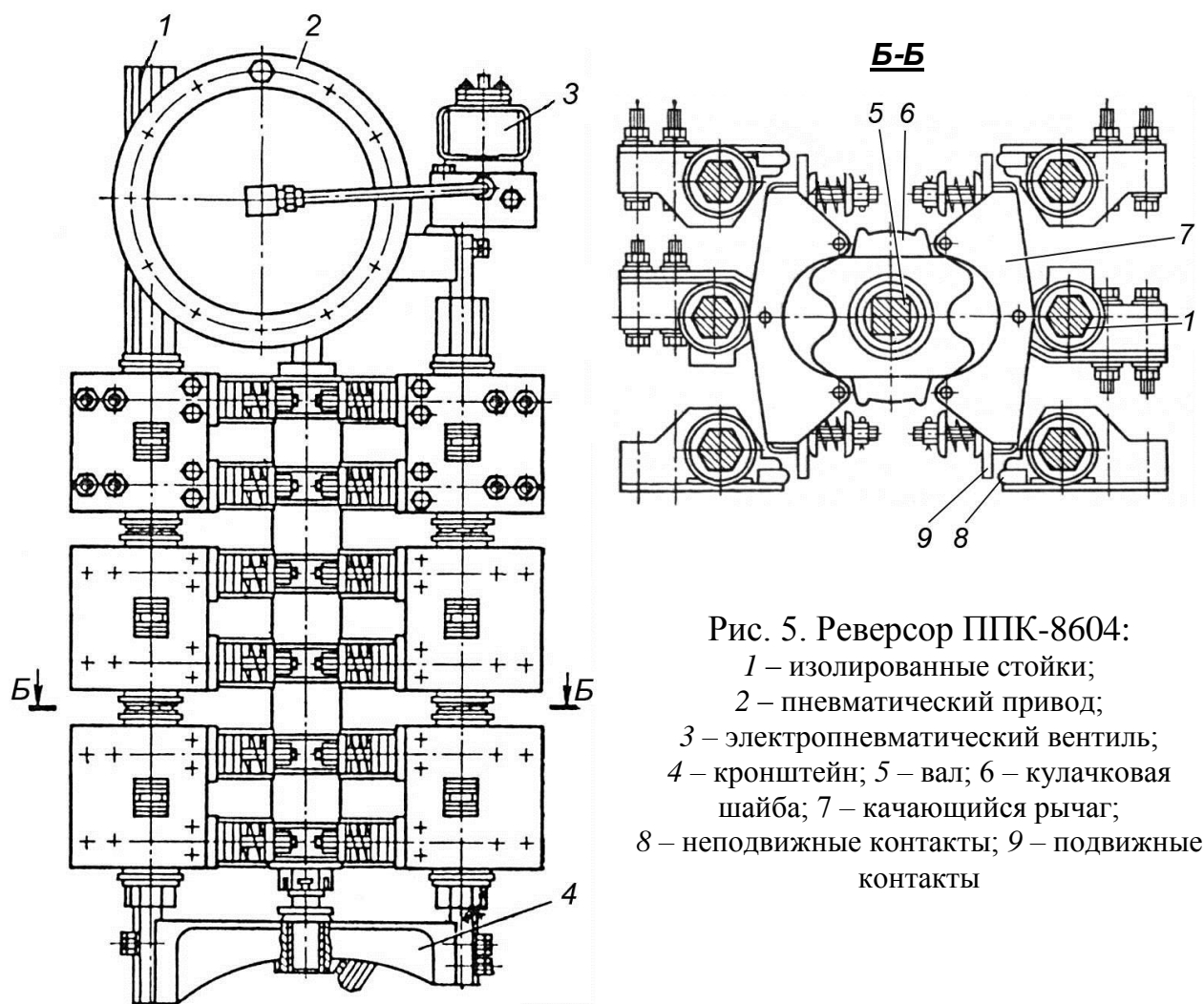


Рис. 5. Реверсор ППК-8604:
 1 – изолированные стойки;
 2 – пневматический привод;
 3 – электропневматический вентиль;
 4 – кронштейн; 5 – вал; 6 – кулачковая
 шайба; 7 – качающийся рычаг;
 8 – неподвижные контакты; 9 – подвижные
 контакты

В нейтральное положение реверсор при работе тепловоза не устанавливается: конструкцией привода предусмотрена постановка реверсора в нейтральное положение вручную и только на ремонте или пересылке тепловоза в нерабочем состоянии. Схема включения реверсора дана на рис. 6.

При повороте вала реверсора влево (против часовой стрелки) левый подвижной контакт замыкается с неподвижным контактом 1, а правый с неподвижным контактом 4, и ток в обмотке возбуждения ОВ будет проходить слева направо (жирная стрелка). При повороте вала реверсора вправо (по часовой стрелке) левый подвижной контакт замкнется с неподвижным контактом 3, а правый подвижной с неподвижным контактом 2, в резуль-

тате ток в обмотке возбуждения ОВ изменит направление, пойдет справа налево (пунктирная стрелка).

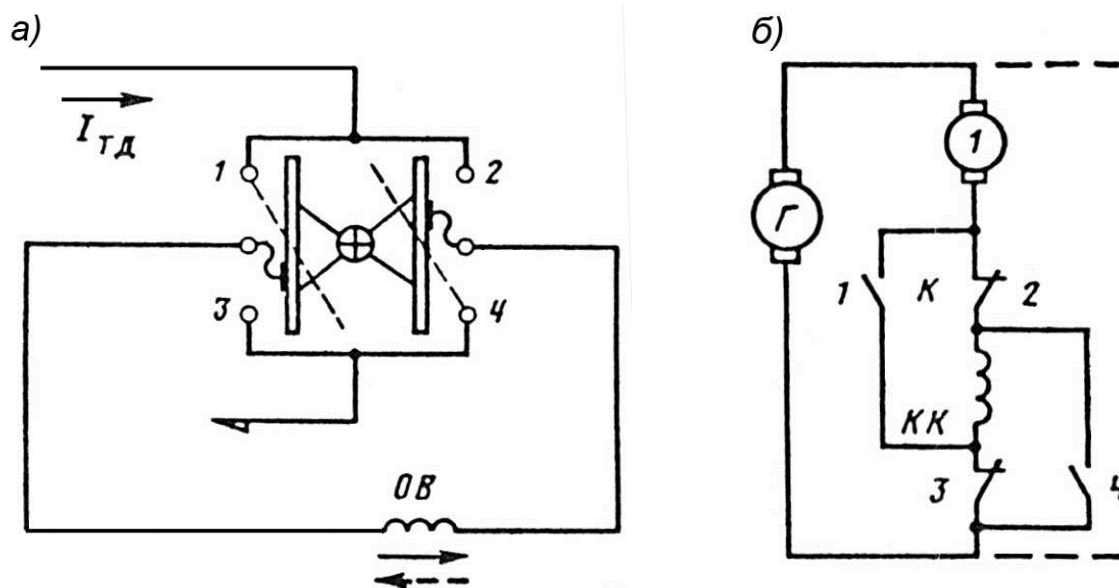


Рис. 6. Схема действия (а) и включения (б) реверсора:
 $I_{ТД}$ – ток тягового двигателя; 1 – 4 – контакты реверсора; ОВ – обмотка возбуждения;
 К – КК – выводы обмотки возбуждения тягового двигателя

Порядок выполнения работы

1 По плакатам и на натуральных образцах изучить конструкцию контроллера машиниста и реверсора.

2 Перед включением стенда убедиться, что выключатель компрессора, а также выключатели контакторов находятся в положении «0» (выключены).

3 Включить стенд, переведя выключатель «Питание стенда» в положение «1».

4 Убедиться в том, что кран на выходе компрессора, подающий сжатый воздух к аппаратам стенда, закрыт.

5 Убедиться, что реверсивная рукоятка контроллера машиниста находится в нейтральном положении.

6 Запустить компрессор, переведя тумблер «Питание компрессора» в положение «1».

7 После автоматического отключения компрессора перевести тумблер «Питание реверсора» в положение «1». Затем, переводя реверсивную рукоятку поочередно в положение «Вперед» и «Назад», произвести испытание реверсора.

8 Оставив реверсивную рукоятку в одном из рабочих положений, ознакомиться с работой контроллера машиниста, поворачивая штурвал и наблюдая за изменением номера позиции.

9 Отключить тумблеры питания в обратной последовательности, перевести реверсивную рукоятку в нейтральное положение.

Контрольные вопросы

- 1 Назначение контроллера машиниста в тепловозе?
- 2 Каким образом происходит фиксация выбранной позиции контроллера?
- 3 Какая зависимость существует между положениями реверсивной рукоятки и штурвала контроллера?
- 4 Назначение реверсора.
- 5 Почему контактная система реверсора выполнена без дугогашения?

Лабораторная работа № 3. Изучение реле времени, реле боксования и реле заземления

Цель работы: изучить особенности конструкции реле времени, реле боксования и реле заземления, исследовать их работу.

Краткие сведения из теории

Реле времени

В электрических цепях тепловозов применяются пневматические, электромагнитные и полупроводниковые реле времени.

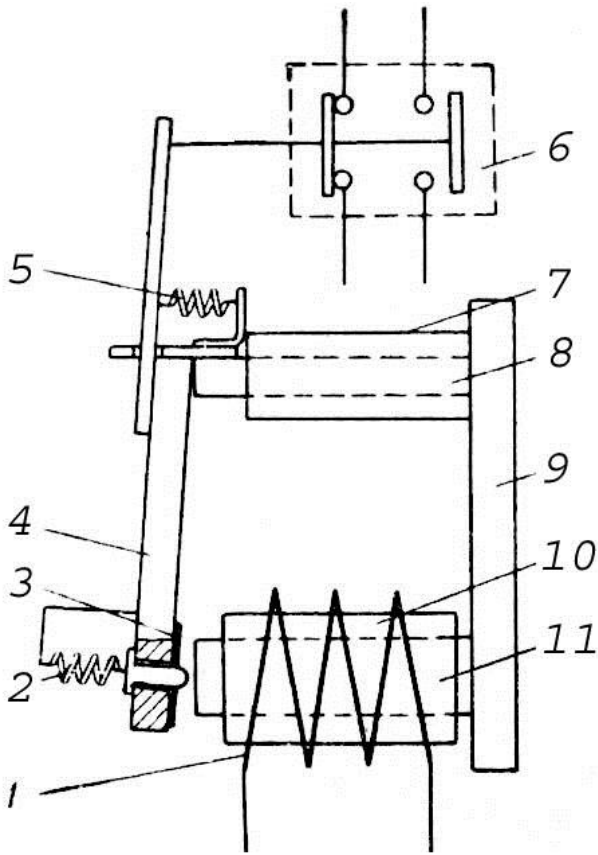


Рис. 7. Реле времени РЭВ-812:

1 – катушка; 2, 5 – пружины; 3 – немагнитная прокладка; 4 – якорь; 6 – контакты; 7 – алюминиевый демпфер; 8 – скоба; 9 – основание; 10 – медная гильза; 11 – сердечник

Электромагнитные реле времени (рис. 7) используются для задержки отключения поездных контакторов после снятия возбуждения возбудителя и тягового генератора, для ступенчатого восстановления нагрузки тягового генератора после прекращения боксования, для обеспечения последовательности срабатывания реле переходов.

Выдержка времени создается за счет наведения ЭДС самоиндукции в алюминиевом демпфере и основании. Выключение катушки приводит к появлению вихревых потоков в них и задерживает спадание магнитного потока в магнитопроводе. Это приводит к задержке отпадания якоря.

Все узлы реле смонтированы на алюминиевом основании, имеющем два отверстия для крепления к корпусу аппаратной камеры. Неподвижная часть магнитопровода состоит из сердечника и скобы. На сердечник надета катушка, на скобу – демпфер, выполненный в виде гильзы. На скобе укреплены угольник и пластина, образуя опору якоря, вокруг которой осуществляется его вращение. На якоре укреплена планка, несущая изоляционную пластмассовую колодку с подвижными контактами. Пластинки неподвижных контактов закреплены шпильками на изоляционной пластмассовой колодке, которая укреплена на основании планкой.

Возврат якоря в отключенное состояние осуществляется пружиной, опирающейся на угольник. Регулировку выдержки времени производят изменением толщины немагнитной прокладки (грубая) и затяжкой отжимной пружины (плавная) при помощи гайки.

Основные технические параметры реле приведены в табл. 2.

Таблица 2

Основные параметры реле РЭВ-812

Реле	Напряжение катушки, В	Длительный ток контактов, А	Выдержка времени, с
РЭВ-812	110	10	3-5

Реле боксования

Реле боксования предназначены для автоматической защиты тяговых электродвигателей тепловоза от разносного боксования. В качестве реле боксования применяют реле типа РК.

Реле РК–211 представляет собой электромагнитный аппарат плунжерного типа, выполненный с разомкнутой магнитной системой. Втягивающий якорь (плунжер) укреплен на поворотном рычаге из немагнитного материала. Контактная система реле имеет один размыкающий и один замыкающий контакты перекидного типа. Высокая чувствительность реле, необходимая для срабатывания в начале боксования, достигается путем облегчения массы, уменьшения трения, тщательной балансировки подвижной системы, а также уменьшения усилия возвратной пружины.

Своевременное отпадание якоря реле после прекращения боксования для исключения большого снижения силы тяги тепловоза обеспечивается высоким коэффициентом возврата. Коэффициент возврата – это отношение тока катушки, при котором реле отключается, к току, при котором оно срабатывает. Этот коэффициент у реле РК–211 должен быть не менее 0,8...0,85, что достигается за счет наличия в якоре реле специального выреза, который искусственно создает большой воздушный зазор в магнитной

системе реле. Этот зазор гораздо больше воздушного зазора между якорем и сердечником, благодаря чему при срабатывании реле не происходит существенного увеличения магнитного потока и, следовательно, усилия притяжения якоря. В результате этого для отпадания якоря реле достаточно небольшого уменьшения тока в его катушке.

Конструкция реле боксования РК–211 показана на рис. 8.

Регулировку реле производят с помощью пружины 11. Ток срабатывания этого реле должен быть равен 0,0475–0,525 А. При настройке реле, помимо тока срабатывания, проверяют и регулируют коэффициент возврата.

На ряде тепловозов реле боксования объединены в один блок, получивший название «блок боксования».

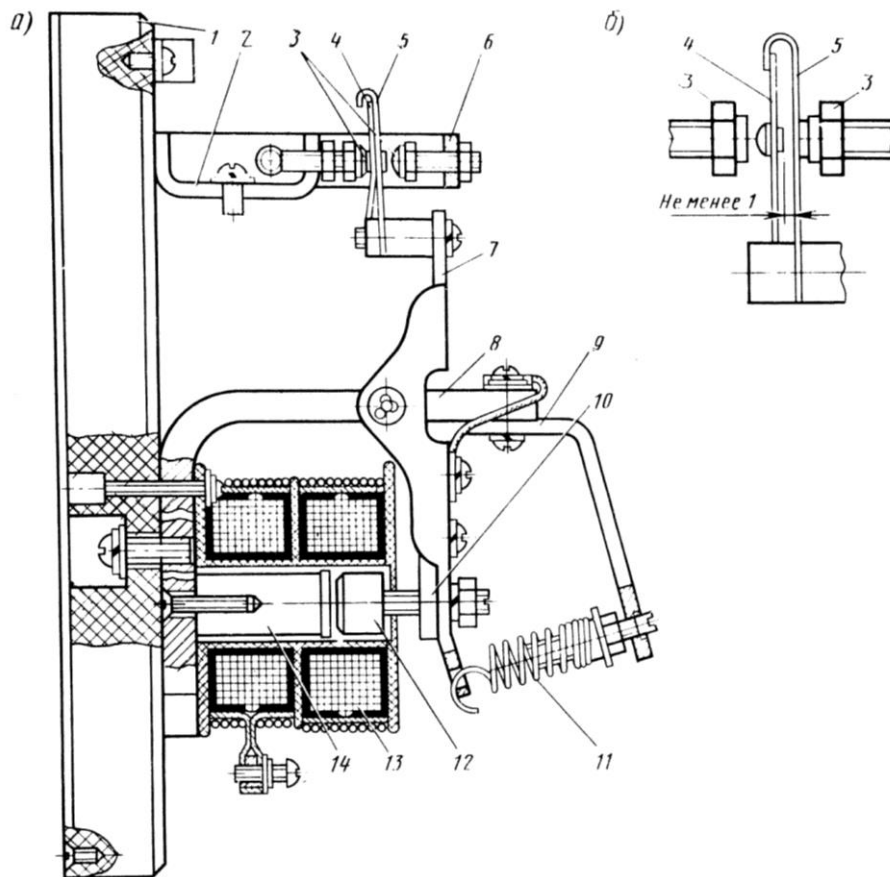


Рис. 8. Реле боксования типа РК–211:

а – конструкция; б – положение контактов при включении реле; 1 – основание; 2, 6 – контактодержатели; 3 – неподвижные контакты; 4 – подвижной контакт; 5 – контактная пластина; 7 – рычаг; 8 – магнитопровод; 9 – угольник; 10 – стальная пластина; 11 – возвратная пластина; 12 – якорь; 13 – катушка; 14 – сердечник

Реле заземления

Реле заземления (РЗ) служит для снятия нагрузки с тягового генератора при пробое изоляции на корпус. На большинстве тепловозов на сегодняшний день установлены РЗ типа РМ-1110.

Реле заземления срабатывает при повреждении изоляции, когда оголившийся проводник в силовой цепи касается металлических частей тепловоза, а также при перебросах дуги на корпус в тяговых электродвигателях или тяговом генераторе.

Реле состоит из электромагнита 1 и блока контактов, установленных на панели 5 (рис. 9). Электромагнит включает в себя ярмо 12, якорь 9, сердечник 11, удерживающую РЗ (У) и рабочую РЗ (Р) катушки.

Якорь 9 прикреплен к противовесу 2, поворачивающемуся вокруг оси 4, размещенной в пазу ярма 12. Сердечник 11 электромагнита закреплен на ярме при помощи пружинного плоского кольца 14. Блок контактов состоит из колодки, на которой укреплены один замыкающий и один размыкающий контакты. При включении электромагнита траверса 6 перемещает подвижные контакты 7, вследствие чего замыкающий контакт замыкается с неподвижным 8, а размыкающий – размыкается. Контакты реле имеют серебряные наплавки. Реле закрыто кожухом. Для регулировки нажатия возвратной пружины – 3 используется винт (упор) 13. Обмотки катушек размещены в пластмассовых обоймах и залиты эпоксидным компаундом. Ход якоря регулируется винтом (упором) 10.

Реле имеет следующую техническую характеристику:

Номинальное напряжение (для контактов), В.....	110;
Напряжение изоляции, В.....	900;
Номинальный ток контактов, А.....	1;
Ток рабочей катушки (ток установки), А.....	0,04;
Ток удерживающей катушки, А.....	0,16;
Раствор контактов, мм.....	1-1,5;
Конечное нажатие контактов, Н.....	0,25-1.

Удерживающая катушка постоянно включена на напряжение цепи управления тепловоза 75 или 110 В, но ее м. д. с. недостаточна для включения реле. Если в силовой цепи тепловоза произошло замыкание на корпус, то через рабочую катушку реле будет протекать ток. Так как м. д. с. обмоток РЗ (Р) и РЗ (У) направлены согласно, то в результате их совместного действия реле включится и якорь притянется к сердечнику. Траверса, прикрепленная к якорю, произведет переключение контактов. При снятии напряжения с катушки РЗ (Р) реле останется под действием м. д. с. катушки РЗ (У) во включенном состоянии. Для отключения его необходимо снять напряжение с удерживающей катушки при помощи кнопки КРЗ (рис. 3).

Настройка реле производится следующим образом: устанавливается в удерживающей катушке ток 0,16 А, регулируя винтом 13 усилие возвратной пружины 3, добиваются, чтобы реле сработало при токе в рабочей катушке 0,04 А. Отключение реле должно произойти при токе катушки РЗ (У) в пределах 0,112 – 0,008 А и выключенной катушке РЗ(Р).

Катушка РЗ(Р) подключена к выпрямительному мосту БВЗ, который соединен с корпусом тепловоза и через рубильник ВРЗ2 с делителем напряжения СР32–СР31. Резистор СР31 соединен с «минусом» тягового генератора Г, а СР32 через рубильник ВРЗ1 – с его «плюсом». Такое подключение катушки РЗ(Р) обеспечивает срабатывание реле заземления при повреждении изоляции в любой точке силовой цепи. Например, при замыкании на корпус плюсового провода ток по рабочей катушке потечет по следующей цепи: плюс генератора Г, корпус тепловоза, диод Д2, резистор СР33, катушка РЗ(Р), диод Д3, рубильник ВРЗ2, резистор СР31, шунт амперметра 104, обмотка добавочных полюсов, минус Г.

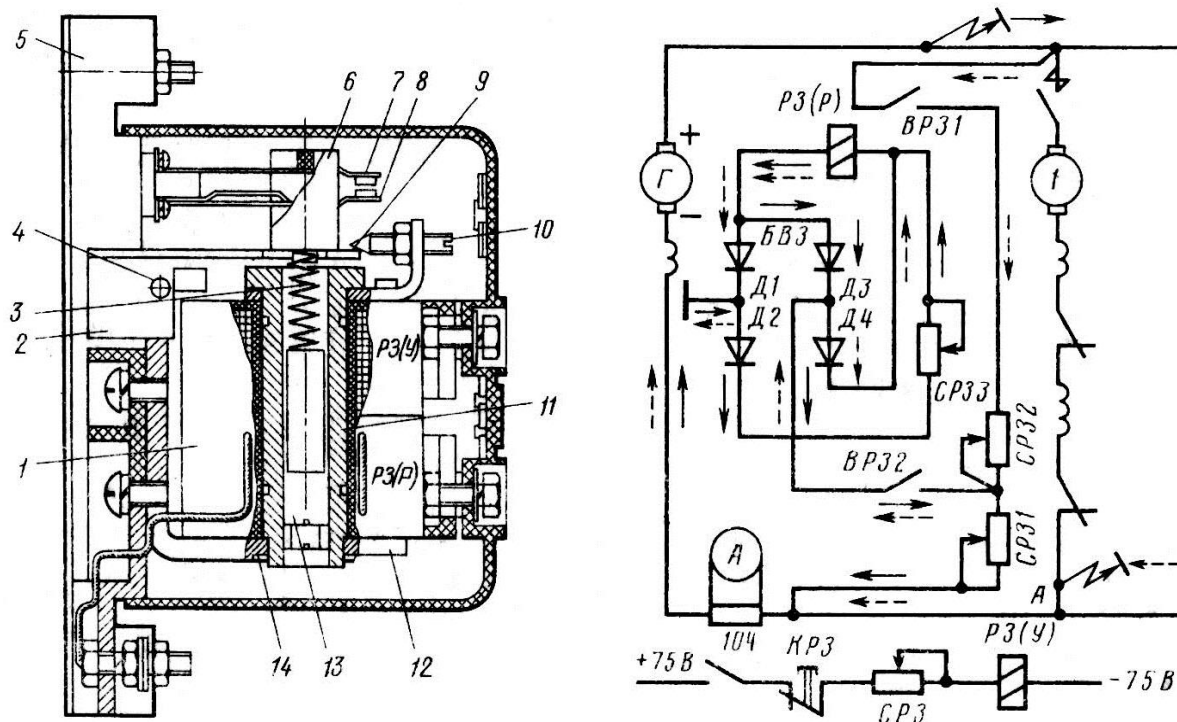


Рис. 9. Реле заземления типа РМ-1110 и схема его включения в цепи тепловоза:

1 – электромагнит; 2 – противовес; 3 – возвратная пружина; 4 – ось; 5 – панель; 6 – траверса; 7 – подвижные контакты; 8 – неподвижный контакт; 9 – якорь; 10, 13 – винт (упор); 11 – сердечник; 12 – паз ярма; 14 – пружинное плоское кольцо

Если произошло замыкание минусового провода в точке А, то создается следующая цепь: плюс Г, рубильник ВР31, резистор СР32, рубильник ВР32, диод Д4, катушка РЗ(Р), диод Д1, корпус тепловоза, место пробоя А, шунт амперметра 104 и далее на минус Г, ток независимо от места повреждения изоляции по рабочей обмотке РЗ(Р) протекает в данном направлении.

При отключении рубильника ВР32 реле заземления отключается полностью.

Порядок выполнения работы

1 По плакатам и на натуральных образцах изучить конструкцию тепловозных реле.

2 Перед включением стенда убедиться, что выключатели всех измерительных панелей лабораторного стенда выключены.

3 Включить стенд, переведя рукоятку автомата питания на правой стенке стенда вверх.

4 Исследовать работу реле времени, используя соответствующую измерительную панель (рис. 10). Перед включением панели необходимо убедиться в том, что тумблер 4 выключен (опущен вниз).

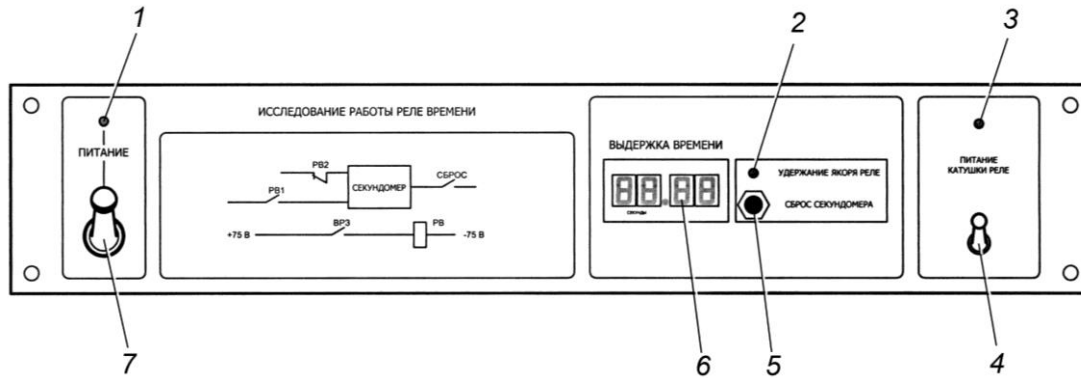


Рис. 10. Внешний вид панели для исследования реле времени и расположение на ней органов управления

5 Включить панель с помощью тумблера 7. При этом загорится индикатор питания 1.

6 После включения питания на табло 6 «ВЫДЕРЖКА ВРЕМЕНИ» должны появиться четыре нуля. После этого можно приступать к измерениям.

7 Перевести рукоятку тумблера 4 вверх, при этом получит питание катушка реле времени. Якорь реле притянется к сердечнику, переключив контакты реле, о чем будет сигнализировать индикатор 2. Через 3...5 с выключить питание катушки тумблером 4. Индикатор 3 погаснет, а на табло 6 начнется отсчет выдержки времени (два левых разряда соответствуют секундам, а два правых – долям секунд). По истечении выдержки якорь реле отпадет, индикатор 2 погаснет, а на табло зафиксируется отсчитанное секундомером время. Занести полученное значение в отчет, после чего обнулить секундомер, кратковременно нажав кнопку 5.

8 Повторить процедуру измерения, получив в общей сложности десять результатов. Занести результаты в отчет, после чего найти среднее значение выдержки времени реле.

9 Отключить питание панели тумблером 7.

10 Исследовать работу реле боксования с помощью измерительной панели, изображенной на рисунке 11; Перед включением панели поставить ручку 5 в среднее положение.

11 Включить питание панели тумблером 2. При этом должен загореться индикатор 1.

12 С помощью ручки 5 реостата установить нулевые показания вольтметра 3 и амперметра 4 (стрелки в среднем положении), что соответствует уравновешенному состоянию измерительного моста, в диагональ которого включено реле боксования.

13 Медленно вращая ручку 5 реостата по часовой стрелке и наблюдая за показаниями вольтметра и амперметра добиться срабатывания реле. Ток и напряжение срабатывания занести в табл. 3. Затем, плавно вращая ручку 5 в обратную сторону, снять показания амперметра и вольтметра при отпадании якоря реле. Результаты также занести в табл. 3.

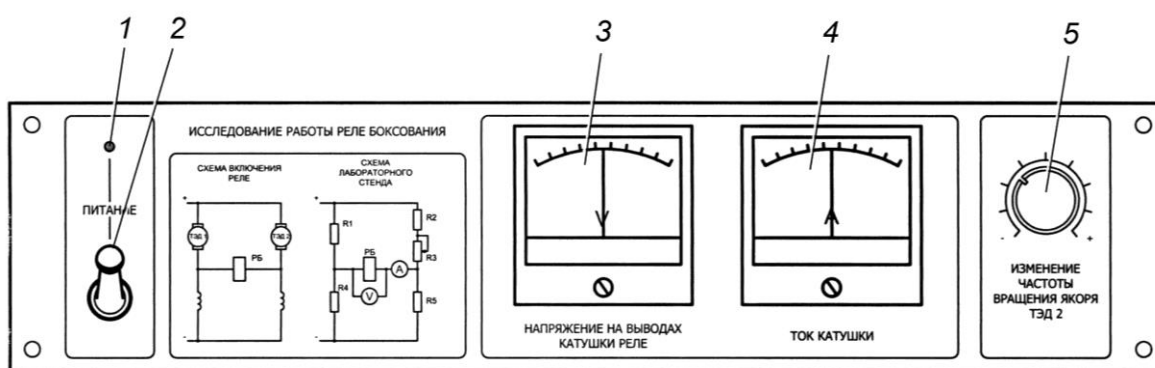


Рис. 11. Внешний вид панели для исследования работы реле боксования

14 Повторить измерения, поворачивая ручку 5 против часовой стрелки и обратно. Результаты занести в таблицу.

15 По окончании измерений вернуть ручку 5 в среднее положение и отключить панель тумблером 2.

Таблица 3

Результаты измерений параметров реле боксования

Измеряемая величина	Вращение ручки реостата	
	По часовой стрелке	Против часовой стрелки
$U_{сраб}, В$		
$I_{сраб}, А$		
$U_{отп}, В$		
$I_{отп}, А$		

16 Сравнить результаты измерений со справочными данными, определить коэффициент возврата реле. Сделать вывод о необходимости регулировки и настройки данного реле;

17 Исследовать работу реле заземления, пользуясь измерительной панелью, изображенной на рисунке 12. Перед включением панели необходимо убедиться в том, что тумблеры 4 и 5 находятся в верхнем положении (включены), а трехпозиционный переключатель 9 – в среднем положении (выключен). Ручки реостатов 7, 8 и 11 также должны быть в среднем положении.

18 Включить панель тумблером 12. При этом загорится индикатор 1, а стрелка амперметра 2 отклонится на некоторую величину, показывая ток удерживающей катушки реле заземления.

19 С помощью реостата 7 и амперметра 2 установить ток удерживающей катушки равным 0,16 А. Перевести тумблер 9 «ЗАМЫКАНИЕ НА КОРПУС», имитирующий пробой в силовой цепи тепловоза, в одно из крайних положений. Если реле сработало сразу, нужно вернуть тумблер в среднее положение и кратковременно нажать кнопку 6 для отключения реле. Затем с помощью реостатов 7 и 8 настроить цепь рабочей катушки так, чтобы срабатывания реле при включении тумблера 9 не происходило.

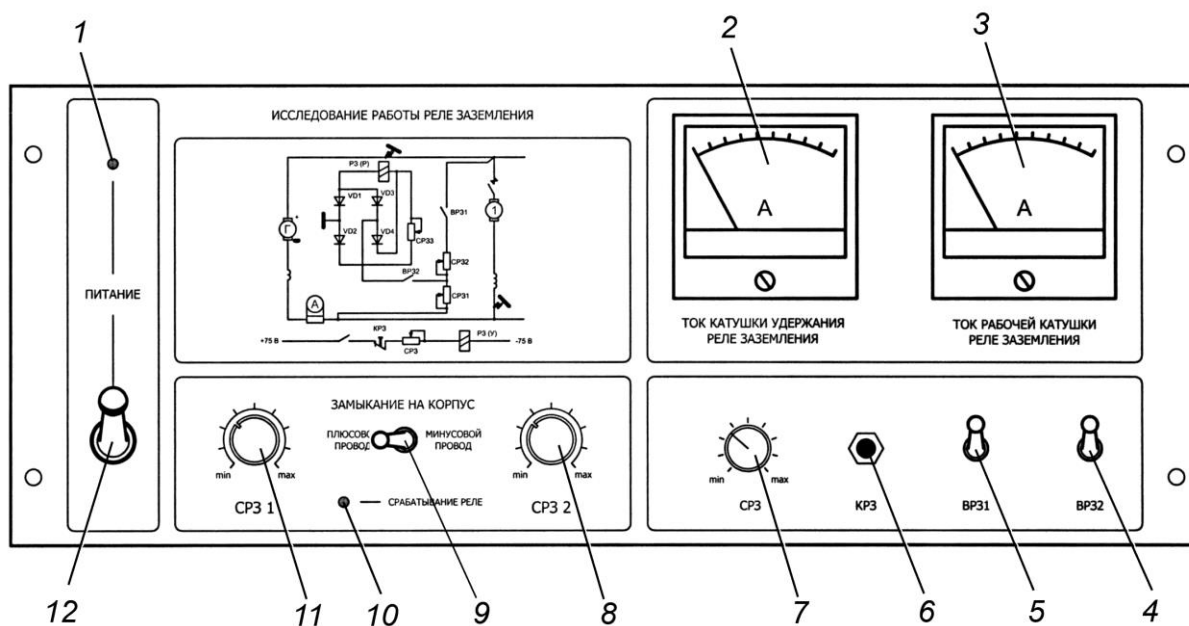


Рис. 12. Внешний вид панели для исследования работы реле заземления

20 Плавно вращая ручки реостатов 8 и 11 и наблюдая за показаниями амперметра 3, определить ток рабочей катушки в момент срабатывания реле. Записать полученное значение в отчет.

21 Выключить рабочую катушку реле, переведя тумблеры 4 и 5 в нижнее положение. Плавно поворачивая ручку реостата 7 и наблюдая за показаниями амперметра 2, определить ток отпадания якоря реле. Занести результат измерений в отчет.

22 Сравнить результаты измерений со справочными данными и сделать вывод о необходимости регулировки реле.

Контрольные вопросы

- 1 За счет чего достигается выдержка времени в реле РЭВ-812?
- 2 Какими способами производится регулирование реле времени?
- 3 За счет чего достигается высокая чувствительность реле боксования?
- 4 Что такое коэффициент возврата?
- 5 Каково назначение двух катушек в реле заземления РМ-1110?
- 6 Благодаря чему срабатывание реле РМ-1110 происходит при замыкании как в плюсовой, так и в минусовой части силовой цепи тепловоза?

Лабораторная работа № 4. Изучение конструкции и работы дифференциального реле (реле переходов)

Цель работы: изучить особенности конструкции дифференциального реле, исследовать его работу.

Краткие сведения из теории

Дифференциальное реле (реле перехода) РД-3010 (рис. 13) автоматически управляет током возбуждения тяговых электродвигателей тепловоза в зависимости от величины их тока и напряжения.

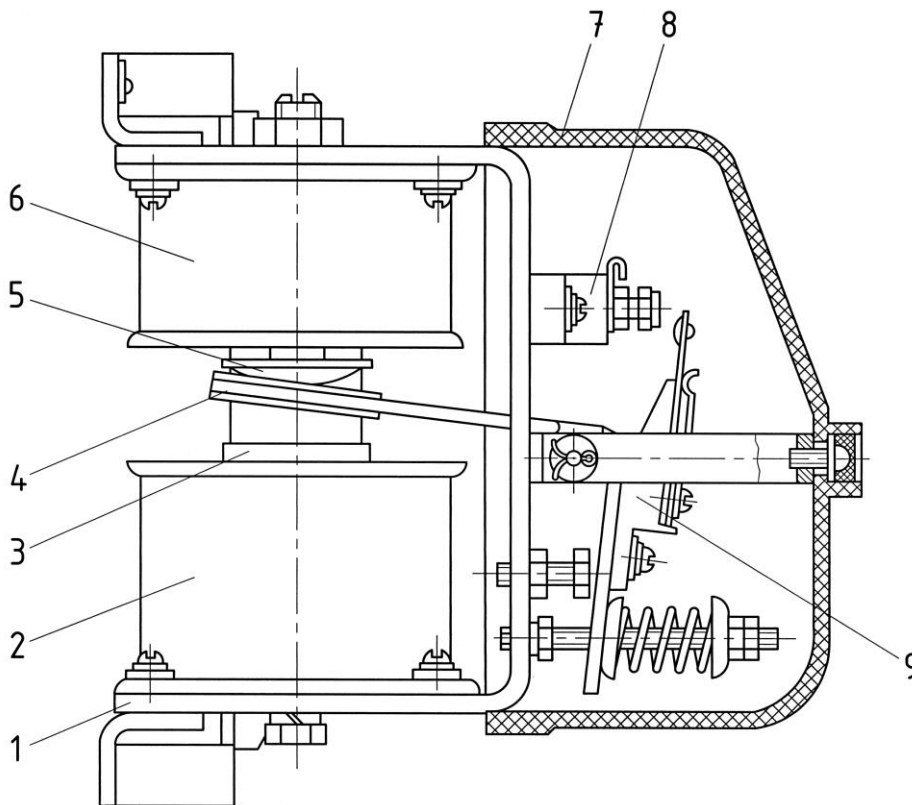


Рис. 13. Дифференциальное реле РД-3010:

1 – ярмо; 2 – катушка напряжения; 3, 5 – сердечники; 4 – якорь; 6 – катушка токовая;
7 – кожух; 8 – узел неподвижного контакта; 9 – узел подвижного контакта

Магнитная система реле состоит из магнитопровода и двух катушек: токовой и напряжения. Катушка напряжения включается на напряжение главного генератора, так что ток в ней пропорционален его напряжению, а токовая катушка подключается параллельно обмотке дополнительных по-

люсов генератора, так что ток в ней пропорционален току главного генератора (рис. 14).

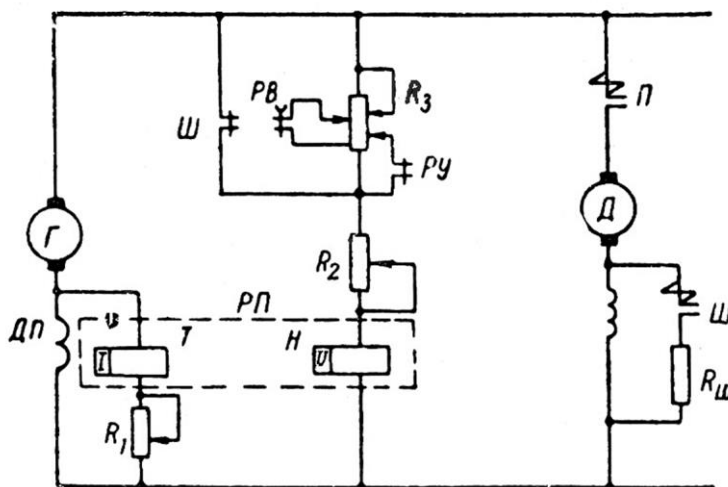


Рис. 14. Принципиальная схема включения реле перехода (РП) для управления ослаблением поля

Г – генератор; Д – электродвигатель; ДП – обмотка дополнительных полюсов генератора; Т – токовая катушка реле перехода; Н – катушка напряжения реле перехода; РВ – контакты реле времени; РУ – контакт реле управления; Ш – контакты контактора ослабления поля; $R_{ш}$ – сопротивление ослабления поля; R_1, R_2 – добавочные сопротивления

Реле имеет один замыкающий контакт с двойным разрывом.

Контактная система реле закрыта защитным прозрачным кожухом.

Реле срабатывает под воздействием электромагнитного усилия, создаваемого катушкой напряжения, которому противодействует усилие токовой катушки и пружины. Соответственно при уменьшении тока в катушке напряжения и увеличении тока в токовой катушке до определенных величин якорь реле отпадает и контакты размыкаются. Параметры настройки реле РД-3010 приведены в табл. 4.

ДААННЫЕ КОНТАКТОВ РЕЛЕ РД-3010

Раствор контактов.....не менее 2 мм;
 Провал контактов.....не менее 1 мм;
 Разрываемый токне более 3 А.

Параметры настройки реле РД-3010

Положение контактов	Ток токовой катушки, А	Ток катушки напряжения, А
Контакты замыкаются	0	0,075-0,085
Контакты размыкаются	0	0,022-0,032
Контакты замыкаются	1	0,155-0,165
Контакты размыкаются	1,3	0,052-0,065

Магнитный поток, создаваемый токовой катушкой, противодействует потоку катушки напряжения, что увеличивает ток, требуемый для включения реле.

Катушка напряжения при возрастании тока в ней (напряжения генератора) вызывает срабатывание реле, а токовая катушка при возрастании тока в ней (тока главного генератора) вызывает отпадание реле. Благодаря этому характеристики реле перехода имеют вид, показанный на рисунке 15, а и б. На этом рисунке характеристики реле нанесены на внешние характеристики главного генератора, поскольку срабатывание и отпадание реле происходят в зависимости от относительной величины напряжения и тока генератора.

Верхняя характеристика является характеристикой срабатывания, т. е. в любой ее точке реле срабатывает и остается включенным до тех пор, пока не будет достигнута нижняя характеристика – отпадания. Таким образом, в зоне I реле всегда включено, в зоне II реле всегда выключено, а в зоне III, расположенной между характеристиками, реле может быть и включено, и выключено в зависимости от того, в какой зоне (I или II) на внешней характеристике работала электропередача до этого. Как видно из рисунка, срабатывание реле (включение ослабления поля, переключение электродвигателей) происходит тогда, когда напряжение генератора приближается к максимальному значению. В результате включения ослабления поля (переключения двигателей) ток генератора скачком увеличивается вдоль гиперболической характеристики. Схема должна быть настроена

так, чтобы при возрастании тока не была достигнута характеристика отпадания. В противном случае реле вновь отпадет, что приведет к обратному уменьшению тока до исходного значения и вызовет повторное срабатывание реле и т. д.

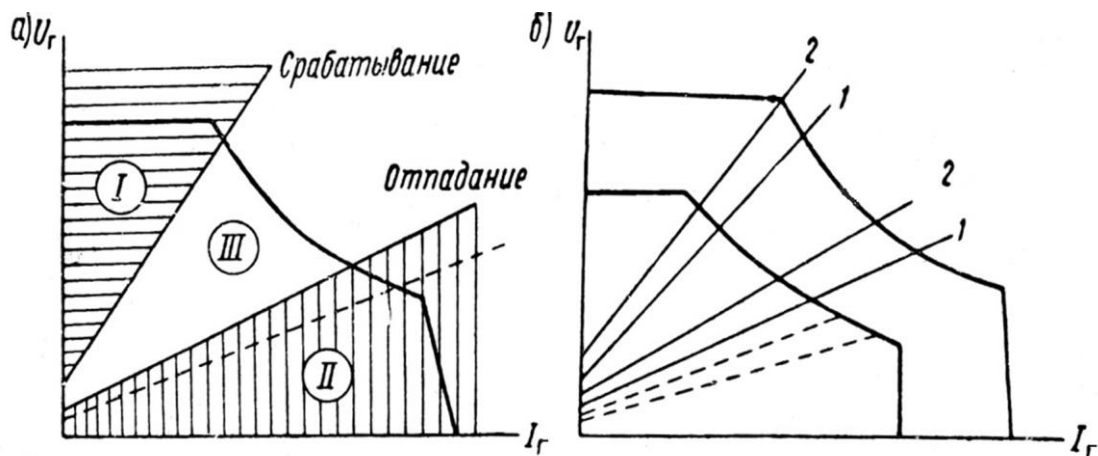


Рис. 15. Характеристики реле перехода:

U_G – напряжение генератора; I_G – ток генератора; 1 – срабатывание и отпадание реле при I ступени ослабления поля; 2 – то же при II ступени ослабления поля

Возникает так называемый «звонковой» режим, когда реле перехода и управляемый им контактор включаются и выключаются с большой частотой. Этот режим является недопустимым, поскольку нарушается нормальная работа электропередачи и обгорают контакты реле перехода и управляемых им контакторов. Наклонные характеристики реле перехода позволяют удобно управлять переходом не только при крайнем положении рукоятки контроллера машиниста, но и на целой группе низших позиций. Однако на низших позициях опасность возникновения звонковой работы возрастает, поскольку интервал между характеристиками срабатывания и отпадания реле уменьшается. Чтобы избежать звонковой работы, обычно применяют на низших позициях сдвиг характеристики отпадания реле в новое положение, показанное пунктиром на рис. 15, а и б. Кроме того, встречаются случаи, когда звонковая работа возникает из-за того, что при включении ослабления поля или переключении электродвигателей ток в

переходном процессе возрастает больше, чем это определяется по параметрам электрической цепи, т. е. происходит «заброс» тока. В процессе этого заброса реле может отпасть, что приведет к звонковой работе. Это явление наблюдается не только на низших позициях, но и при крайнем положении рукоятки контроллера машиниста. Чтобы избежать возникновения звонковой работы, требуется временно отодвинуть характеристику отпадания реле перехода на период заброса тока генератора.

На тепловозах обычно устанавливают два реле перехода, которые управляют включением и отключением первой и второй ступени, ослабления поля (ОП1 и ОП2). Характеристику первого и второго реле настраивают таким образом, чтобы они были несколько сдвинуты одна относительно другой (рис. 15, б). Благодаря этому вначале срабатывает реле первой ступени, реле второй ступени включается после того, как напряжение генератора вновь поднимется по гиперболической характеристике при разгоне тепловоза с поездом. Аналогично первым отпадает реле второй ступени, реле первой ступени отпадает после того, как напряжение генератора вновь понизится по гиперболической характеристике при замедлении тепловоза с поездом.

На стенде регулировку реле переходов проверяют двумя амперметрами, которыми фиксируют токи в катушках в момент включения и выключения реле.

Основная неисправность реле в эксплуатации – подгар контактов.

Порядок выполнения работы

- 1 По плакатам и на натуральных образцах изучить конструкцию реле;
- 2 Перед включением стенда убедиться, что выключатели всех измерительных панелей лабораторного стенда выключены;
- 3 Включить стенд, переведя рукоятку автомата питания на правой стенке стенда вверх;

4 Перед включением панели для исследования дифференциального реле (рис. 16) установить ручки реостатов 7 и 8 в крайнее левое положение, поворачивая их против часовой стрелки до упора;

5 Включить панель с помощью тумблера 9. При этом загорится индикатор питания 1.

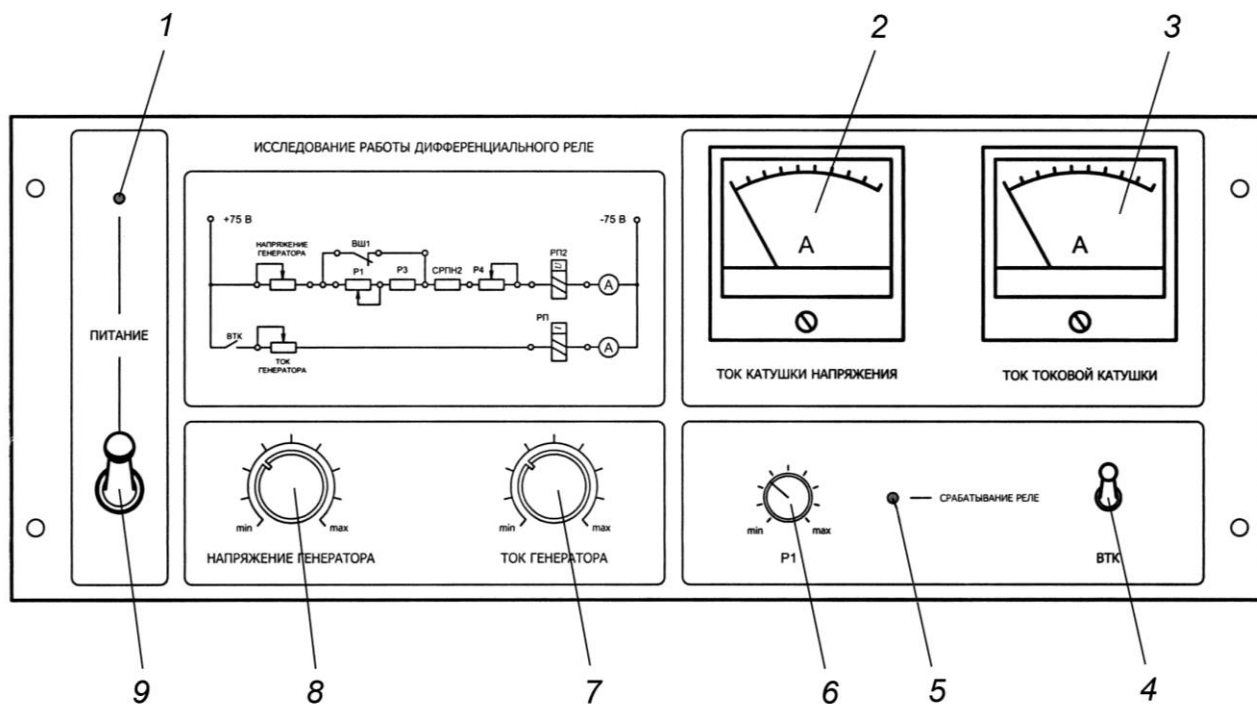


Рис. 16. Внешний вид панели для исследования дифференциального реле

6 В соответствии с таблицей 4 провести измерения токов срабатывания и отпадания реле. При производстве измерений сначала устанавливают ток токовой катушки с помощью реостата 7 так, чтобы показания амперметра 3 соответствовали табличным значениям. Затем, плавно вращая ручку реостата 8 по часовой стрелке, добиваются срабатывания реле (загорится индикатор 5), определяя величину тока срабатывания по амперметру 2. Аналогично определяют ток отпадания реле, вращая ручку 8 против часовой стрелки. Как видно из таблицы 4, первые два измерения выполняются при отключенной токовой катушке реле, а следующие два – при включенной. Включение и отключение этой катушки осуществляется тумблером 4.

7 Занести результаты измерений в отчет по форме табл. 4.

8 Сделать вывод о необходимости регулировки реле.

Контрольные вопросы

- 1 Почему реле РД-3010 содержит две катушки? Каково их назначение?
- 2 Как направлены магнитные потоки катушек реле по отношению друг к другу?
- 3 С какой целью осуществляется переход на ослабленное поле тяговых электродвигателей?
- 4 Что такое звонковая работа реле?

Лабораторная работа № 5. Исследование работы трансформаторов постоянного напряжения (ТПН) и постоянного тока (ТПТ)

Цель работы: изучить особенности конструкции и принцип действия ТПН и ТПТ, ознакомиться с основами работы магнитных усилителей.

Краткие сведения из теории

В схемах тепловозов для создания требуемой формы внешней характеристики генератора необходимо получить сигналы слабого тока, пропорциональные его току и напряжению. Эта задача выполняется трансформаторами постоянного тока (ТПТ) и напряжения (ТПН). При этом решается проблема гальванического разделения силовой части схемы тепловоза от цепей управления и схемы возбуждения тягового генератора.

ТПН и ТПТ представляют собой простейшие магнитные усилители, состоящие из двух управляемых дросселей (рис. 17).

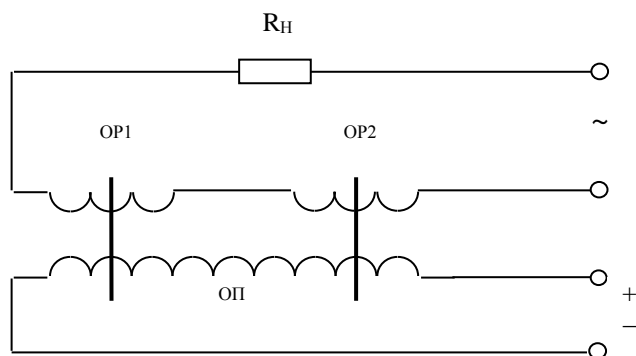


Рис. 17. Схема управляемого дросселя

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, недо-

статочный для насыщения материала. 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.

Для дросселя с сердечником из высококачественного магнитного материала намагничивающая сила обмотки переменного тока дросселя примерно равна намагничивающей силе подмагничивающей обмотки. В свою очередь, намагничивающая сила равна произведению тока на число витков катушки и выражается в ампер-витках. В ТПН и ТПТ обмотка переменного тока называется рабочей, а подмагничивающая – обмоткой управления. Тогда

$$i_p w_p = i_y w_y,$$

где i_p, i_y – ток обмотки соответственно рабочей и управления, А;

w_p, w_y – число витков обмотки соответственно рабочей и управления.

Как видно из схемы (рис. 17), рабочие обмотки соединяются последовательно, а в их цепь включают сопротивление нагрузки R_n .

В магнитном усилителе, изменяя подмагничивание, можно регулировать величину переменного тока в нагрузке. Как и в обычном трансформаторе, в подмагничивающих обмотках дросселя наводится переменное напряжение, нарушающее работу устройства. Чтобы избежать его вредного влияния, рабочие обмотки соединяют последовательно таким образом, чтобы наведённые в них напряжения были направлены навстречу друг другу и поэтому уничтожались. Этим магнитный усилитель принципиально отличается от управляемого дросселя.

ТПТ предназначен для измерения постоянного тока в цепи главного генератора тепловоза. Он состоит из двух кольцевых катушек индуктивности с сердечниками, выполненными из железоникелевого сплава, на каждом из которых намотана рабочая обмотка. Управляющей обмоткой служит один или несколько кабелей, по которым протекает измеряемый ток, протянутых через центральное отверстие трансформатора. В лабораторных условиях, когда нет возможности получить в кабеле ток, равный по величине току генератора тепловоза, корпус трансформатора обматывается проводом, число витков которого выбирается таким, чтобы можно было получить эффект магнитной индукции, равный эффекту одного кабеля силовой цепи тепловозного генератора.

При изменении тока в кабелях меняется индуктивное сопротивление в рабочей цепи трансформатора, которая питается переменным током. Таким образом, ток трансформатора пропорционален измеряемому постоянному току. Ток в рабочей обмотке трансформатора определяется по формуле:

$$I_p = \frac{U_p}{\sqrt{(R_p + R_n)^2 + \omega^2 L^2}},$$

где U_p – напряжение питания рабочей обмотки;

R_p, R_n – активное сопротивление соответственно рабочей обмотки и нагрузки;

L – индуктивность рабочей обмотки;

$\omega = 2\pi f$ – угловая частота питающего напряжения;

f – частота питающего напряжения.

Индуктивность рабочей обмотки имеет вид:

$$L = \mu \frac{w^2 S}{l},$$

где w – число витков рабочей обмотки;

s, l – площадь поперечного сечения и длина средней линии магнитопровода трансформатора;

μ – абсолютная магнитная проницаемость материала сердечника.

Основным параметром ТПТ является его коэффициент усиления по току:

$$K = \frac{I_p}{I},$$

где I – величина измеряемого тока.

Трансформатор постоянного напряжения имеет подмагничивающую (управляющую) обмотку, включённую последовательно с добавочным сопротивлением на зажимы якоря главного генератора. Ток в ней пропорционален напряжению генератора. По закону равенства ампер-витков ток выхода трансформатора оказывается также пропорциональным напряжению генератора.

Технические характеристики

трансформатора постоянного напряжения ТПН-3А

Максимальное напряжение750 В;

Напряжение питания рабочей цепи.....30 В;

Частота питания рабочей цепи	133
Гц;	
Ток рабочей цепи длительного режима	2,5 А;
Ток цепи управления длительного режима.....	1,6 А;
Сопротивление в цепи управления.....	500
Ом;	
Сопротивление нагрузки.....	5 Ом;
Число витков рабочей и управляющей обмотки.....	260x2 и
420.	

Технические характеристики
трансформатора постоянного тока ТПТ-4Б

Максимальный (измерительный) ток.....	6600
А;	
Напряжение питания рабочей цепи.....	70 В;
Частота питания рабочей цепи	133
Гц;	
Длительный ток.....	2,3
А;	
Сопротивление цепи нагрузки.....	10 Ом.

Порядок выполнения работы

1 По плакатам и на натурных образцах изучить конструкцию трансформаторов.

2 Перед включением стенда убедиться, что выключатели всех измерительных панелей лабораторного стенда выключены.

3 Включить стенд, переведя рукоятку автомата питания на правой стенке стенда вверх.

4 Включить панель для исследования работы трансформаторов ТПН и ТПТ, по указаниям преподавателя произвести измерения.

5 По полученным данным построить характеристики трансформаторов.

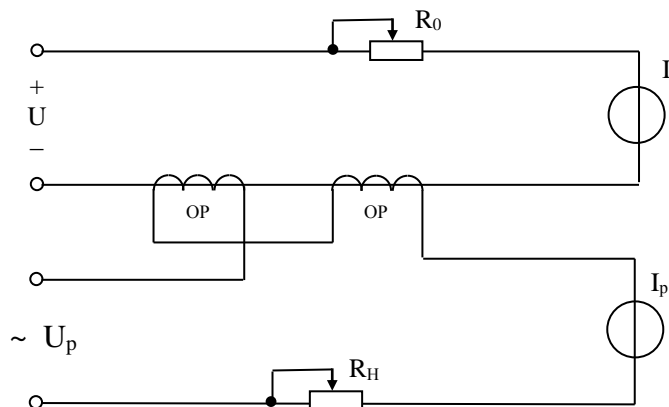


Рис. 18. Схема лабораторного стенда для исследования характеристик ТПТ

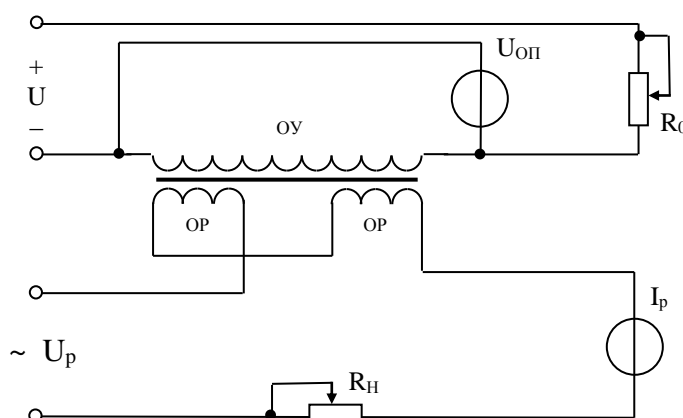


Рис. 19. Схема лабораторного стенда для исследования характеристик ТПН

Контрольные вопросы

- 1 Для чего предназначены ТПН и ТПТ?
- 2 Сколько обмоток содержит ТПН? Как они называются?
- 3 По какой обмотке магнитного усилителя течет постоянный ток, а по какой – переменный?
- 4 Почему ТПТ не содержит обмотки управления? Что выполняет ее функции?
- 5 Почему рабочие обмотки ТПН и ТПТ включены последовательно и встречно?

Лабораторная работа № 6. Исследование работы тепловозных датчиков-реле температуры

Цель работы: изучить конструкцию датчиков-реле температуры, исследовать их работу на лабораторном стенде

Общие сведения:

Датчик-реле температуры Т-35 (рис. 1) предназначен для сигнализации, защиты и регулирования температуры воды и масла в системах тепловоза. Основные технические данные датчика-реле приведены в табл. 1.

Таблица 1

Основные параметры реле Т-35

Диапазон уставок, °С	Максимально допустимая температура, °С	Максимальная основная погрешность, °С	Разброс чувствительности, °С	Максимальный ток контактов при индуктивной нагрузке, А
0...100	130	± 3,0	± 1,0	0,56

Предназначены датчики для подачи электрического сигнала в системы управления охлаждением дизеля тепловоза.

Датчик состоит из манометрической жидкостной термосистемы, жестко соединенной винтами с корпусом датчика. В корпусе размещены переключатель 9 и система рычагов, обеспечивающая замыкание и размыкание контактов переключателя. Системы рычагов и сильфона связаны через шток 2. Пружина 3 прижимает один конец штока 2 ко дну сильфона термосистемы. На второй конец штока пружинами 13 и 11 поджимается система рычагов 8 и 6, шарнирно укрепленная на оси 12. Кинематическая связь рычагов осуществляется пружиной 14 и винтом 15.

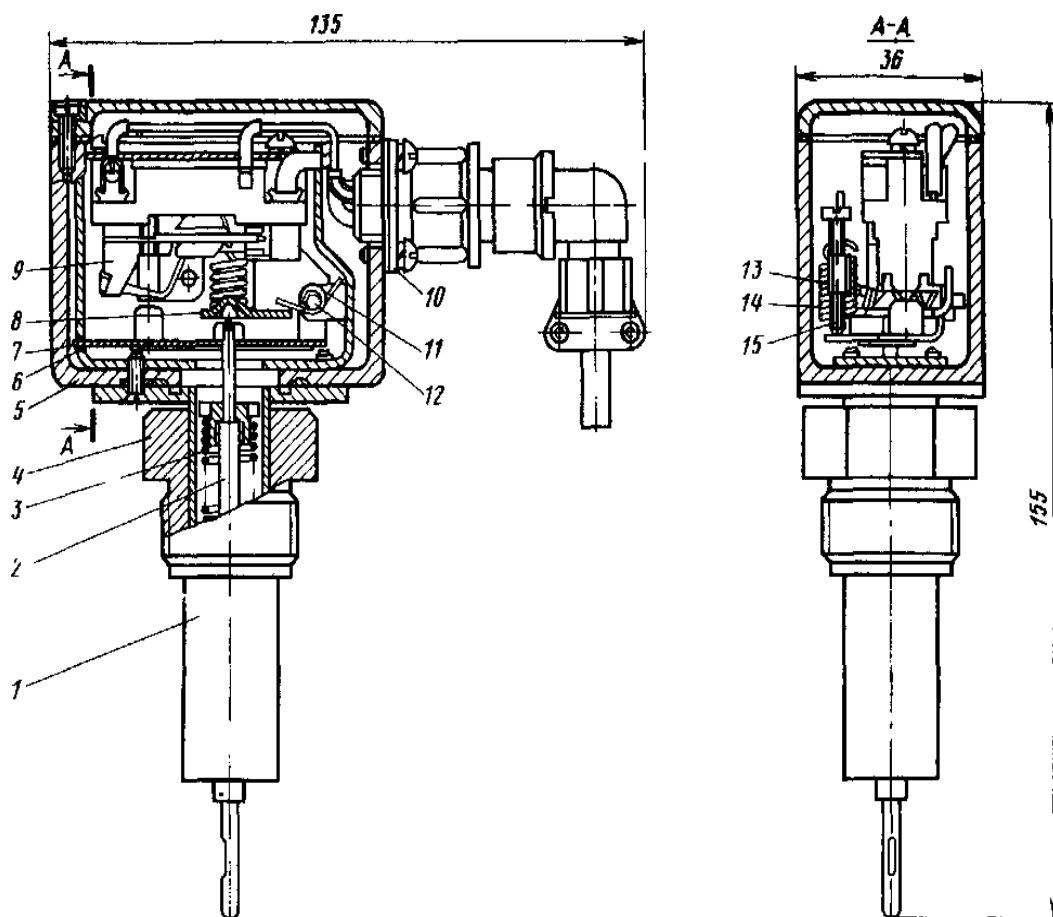


Рис. 1. Датчик-реле температуры Т-35:

1 – термосистема; 2 – шток; 3, 11, 13, 14 – пружины; 4 – гайка; 5 – корпус;
6, 8 – рычаги; 7 – упор; 9 – переключатель; 10 – разъем; 12 – ось;
15 – винт регулировочный

При повышении температуры контролируемой среды, окружающей термосистему 1, объем жидкости в ней изменяется, что приводит к перемещению дна сильфона и штока 2 вверх, передавая это перемещение рычагу 8. Перемещаясь, рычаг 8 через пружину 14 перемещает рычаг 6, который свободным концом воздействует на кнопку переключателя 9. После переключения электрических контактов переключателя 9 в случае, если температура продолжает повышаться, рычаг 6 садится на упор 7, а рычаг 8 продолжает перемещаться. При понижении температуры контролируемой среды объем жидкости в термосистеме уменьшается, дно сильфона и шток 2 перемещаются вниз, а вместе с ними идут вниз под действием пружин 11 и 14 рычаги 6 и 8. Рычаг 6 отойдет от кнопки переключателя 9 и переключатель сработает в обратном направлении. Контакты переключателя замы-

кают электрические цепи питания электропневматических вентилях включения жалюзи и запорного клапана.

Конструкция прибора допускает перенастройку на температуры от 0 до 100 °С. Для уменьшения уставки нужно винт 15 вращать против часовой стрелки (вид сверху), для увеличения – по часовой стрелке.

Порядок выполнения работы:

1. Включить питание измерительного стенда клавишей 1 (рис. 2).

При этом должна загореться подсветка клавиши и светодиод «Питание».

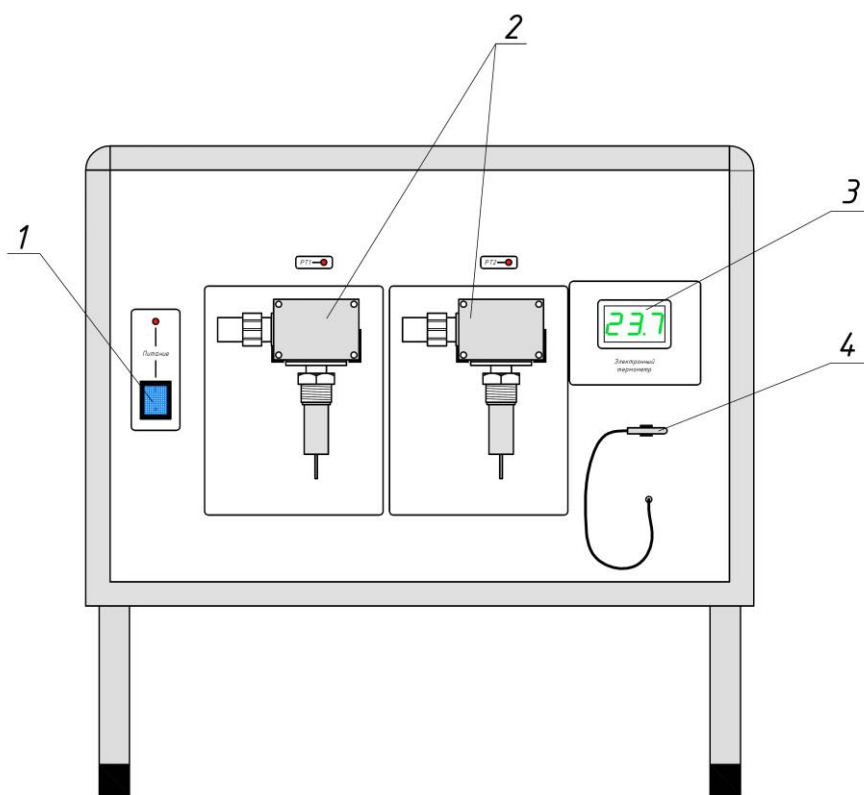


Рис. 2. Внешний вид стенда

2. Подготовить нагревательную емкость с водой, погрузить термобаллон одного из датчиков 2 в емкость, следя за тем, чтобы вода не касалась корпуса датчика-реле.

3. Погрузить в нагревательную емкость датчик температуры 4.

4. Включить питание нагревательной емкости, при этом должен начаться нагрев находящейся в ней воды.

5. По показаниям электронного термометра 3 наблюдать изменение температуры воды в емкости. При приближении температуры к значению 80 °С контролировать состояние датчика реле с помощью светодиода, расположенного над креплением этого датчика на стенде. Срабатывание датчика-реле будет сопровождаться негромким щелчком и зажиганием светодиода на стенде.

6. Записать в отчет значение температуры, при котором произошло срабатывание датчика-реле.

7. Отключить питание нагревательной емкости и, наблюдая за снижением температуры по показаниям электронного термометра, дожидаться момента выключения датчика-реле, при этом светодиод на стенде должен погаснуть.

8. Занести в отчет значение температуры, при котором произошло отключение датчика-реле.

9. Повторить процедуру измерений для второго датчика-реле.

Контрольные вопросы

- 1 Для чего используются датчики-реле Т-35 на тепловозе?
- 2 Каков диапазон температурных уставок датчика-реле Т-35?
- 3 Каков принцип действия термосистемы датчика-реле?
- 4 Как производится регулировка уставки датчика-реле?

12 «ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПЕРЕДАЧИ ЛОКОМОТИВОВ».

Введение

Передачей мощности называют устройство или комплекс устройств, при помощи которых можно изменять передаточное число системы тягового привода с целью регулирования скорости движения и силы тяги транспортной машины, в нашем случае – локомотива.

Традиционно для локомотивов считается, что передача мощности характерна для тепловозов, где она осуществляет трансформацию момента вала дизеля и его мощности в механическую энергию тяги локомотива. В зависимости от применяемых элементов передачи различают механические, гидростатические, гидромеханические и электрические передачи различного вида.

В настоящей главе рассматриваются также передачи мощности электровозов (где они традиционно называются «тяговым электроприводом»), которые преобразуют постоянное по величине напряжение контактного провода в переменное по величине напряжение, подводимое к тяговым электродвигателям.

Электрические передачи мощности локомотивов – это сложные системы, включающие практически все известные на сегодня электрические машины, преобразователи и аппараты, что усложняет изучаемый курс, но делает его интересным и информативным. Спецификой изучения дисциплины является её обобщающее свойство.

Тяговый электропривод локомотивов

Электрический локомотив (*электровоз*) получает энергию, необходимую для ведения поезда, из контактной сети постоянного либо переменного тока, которая может рассматриваться как источник практически бесконечной мощности.

Электровозы наших железных дорог оснащены практически исключительно коллекторными тяговыми двигателями постоянного или пульсирующего тока. Начат выпуск электровозов с асинхронными тяговыми двигателями и микропроцессорными системами управления.

Автономный локомотив (*тепловоз*) несет на себе запас топлива и первичный двигатель, как правило, дизель. На тягу может быть направлена только конечная мощность этого двигателя – в отличие от электровоза, для которого контактная сеть является источником бесконечной мощности. Как следствие, на первый план выдвигается проблема полного использования мощности двигателя.

Для передачи мощности от вала первичного двигателя к движущим осям магистральных и части маневровых тепловозов используется электрическая передача, представляющая собой совокупность электрического генератора, устройств регулирования и управления и тяговых электродвигателей.

В развитии электрических передач мощности (ЭПМ) тепловозов можно отметить следующие этапы:

- ЭПМ постоянного тока, где используются генераторы и тяговые двигатели постоянного тока, электромашинные либо аппаратные системы регулирования напряжения тягового генератора.

- ЭПМ переменного-постоянного тока, где используются синхронные генераторы, полупроводниковые выпрямительные установки и коллекторные тяговые двигатели постоянного тока. Здесь находят применение либо

аппаратные, либо – на современных локомотивах – микропроцессорные системы управления.

- ЭПМ переменного тока, где используются синхронные генераторы, статические выпрямительно-инверторные преобразователи, бесколлекторные тяговые двигатели переменного тока и микропроцессорные системы управления. ЭПМ переменного тока, в которой применяются асинхронные тяговые двигатели, может быть названа асинхронным тяговым приводом локомотива.

Можно выделить три этапа развития тягового электропривода локомотивов по применяемому способу преобразования энергии (табл. 1).

Краткое описание систем преобразования электрической энергии, применявшихся на первом и втором этапах развития, приводится в настоящем учебном пособии (часть 1). Третий этап будет рассмотрен позднее, во второй части.

Таблица 1

Этапы развития тягового электропривода локомотивов

1 этап	Электровозы постоянного тока с коллекторными ТЭД постоянного тока	Тепловозы с ЭПМ постоянного тока
2 этап	Электровозы переменного тока с коллекторными ТЭД пульсирующего тока	Тепловозы с ЭПМ переменного-постоянного тока
3 этап	Электровозы с асинхронными тяговыми двигателями	Тепловозы с ЭПМ переменного тока с асинхронными тяговыми двигателями

Электровозы постоянного тока с коллекторными ТЭД постоянного тока

Электровозы постоянного тока с коллекторными тяговыми двигателями начали работать на железных дорогах нашей страны в 30-х годах XX века, поскольку электрификация велась на постоянном токе.

Простота электрической части и высокий КПД электровозов постоянного тока при работе на естественной характеристике являются их основными преимуществами. В настоящее время в эксплуатации находятся грузовые электровозы ВЛ10, ВЛ11 и ВЛ15, пассажирские электровозы ЧС2 и ЧС7. Начат выпуск новых типов электровозов постоянного тока – грузовых 2ЭС4к «Дончак» и 2ЭС6к, пассажирского ЭП2к.

На таких электровозах применяются коллекторные ТЭД постоянного тока (рис. 1), как правило, последовательного возбуждения. Исключение составляет новый электровоз 2ЭС4к, где применяется комбинированное (независимое и последовательное) возбуждение.

Электромагнитный момент на валу ТЭД, Н·м, равен

$$M = C_m \Phi(I_\theta) I_a, \quad (1)$$

где $\Phi(I_\theta)$ – магнитный поток системы возбуждения, приходящийся на одно полюсное деление, Вб;

I_θ – ток в обмотке возбуждения, А;

I_a – ток в якорной цепи, А;

$C_m = \frac{pN}{2a\pi}$, Н·м/(Вб·А) – машинная постоянная;

p – число пар главных полюсов;

N – число проводников обмотки якоря;

a – число параллельных ветвей обмотки якоря.

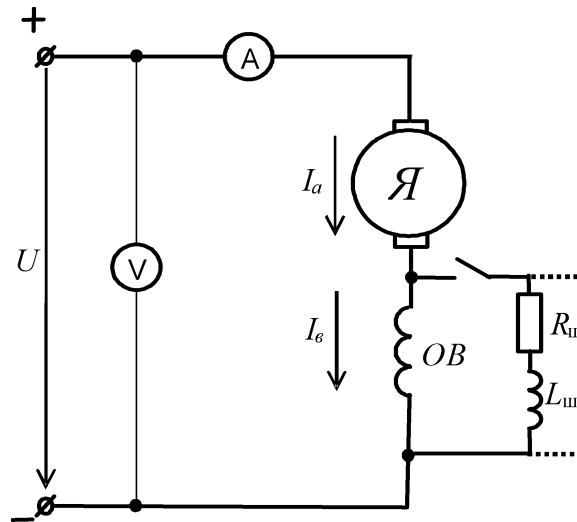


Рис. 1. Схема подключения коллекторного ТЭД последовательного возбуждения:

$Я$ – якорь; $ОВ$ – обмотка возбуждения; I_a – ток в якорной цепи; I_b – ток в обмотке возбуждения; $R_{ш}$ – резистор шунтировки обмотки возбуждения; $L_{ш}$ – индуктивность шунтировки; U – напряжение; A , V – датчики тока и напряжения

Противо-ЭДС двигателя, E , определяется по формуле

$$E = C_e \Phi(I_b) n, \quad (2)$$

где n – частота вращения вала ТЭД, об/мин;

$C_e = \frac{pN}{60a}$ – конструкционная постоянная, В/(Вб·об/мин), причем

$$C_e = \frac{2\pi}{60} C_m.$$

Мощность ТЭД, Вт, равна

$$P = M\omega = \frac{2\pi}{60} Mn = C_e \Phi(I_b) n I_a = E I_a, \quad (3)$$

где ω – угловая скорость вращения вала двигателя, рад/с.

На рис. 2 приведена зависимость $E/\omega = C_e \square = f(I_b)$ (так называемая кривая намагничивания) для тягового электродвигателя ТЛ-2К1.

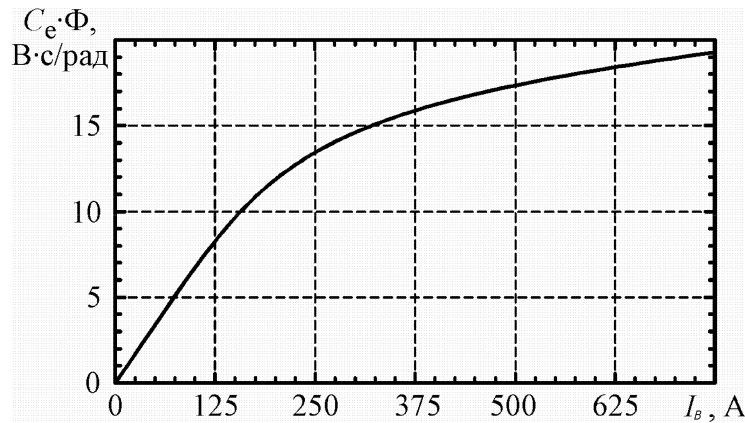


Рис. 2. Кривая намагничивания (холостого хода)
тягового двигателя ТЛ-2К1

Напряжение, подводимое к ТЭД, расходуется на уравнивание противо-ЭДС двигателя и на падение напряжения во внутренних цепях:

$$U = E + I_a \Sigma r = C_e \Phi n + I_a \Sigma r, \quad (4)$$

где Σr – падение напряжения во внутренних цепях, В.

Сила тока в цепи якоря

$$I_a = \frac{U - C_e \Phi n}{\Sigma r}. \quad (5)$$

Достоинства коллекторных ТЭД последовательного возбуждения, послужившие причиной их широкого применения на тяговом подвижном составе, заключаются в простоте регулирования частоты вращения и возможности создания большого пускового момента. Применение независимого возбуждения позволяет, в принципе, еще более увеличить пусковой момент, но требует усложнения конструкции.

К числу основных недостатков коллекторных ТЭД относятся большой расход цветных металлов на единицу мощности, что увеличивает их стоимость, и наличие подвижного контакта в силовой цепи (коллекторно-щеточный узел), что влечет за собой снижение надежности и расходы при эксплуатации.

Из выражения (4) определяем частоту n вращения якоря ТЭД постоянного тока:

$$n = \frac{U - I_a \Sigma r}{C_e \Phi}. \quad (6)$$

Из формулы (6) вытекают три способа регулирования режимов работы двигателя.

1-й способ. Поскольку частота n практически пропорциональна подведенному к ТЭД напряжению U (падение напряжения $I_a \Sigma r$ во внутренних цепях двигателя составляет всего несколько процентов от напряжения U , подведенного к ТЭД), для изменения частоты вращения применяется переключение схемы соединения (перегруппировка) двигателей.

Например, на двухсекционном восьмиосном электровозе ВЛ10 возможно 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.

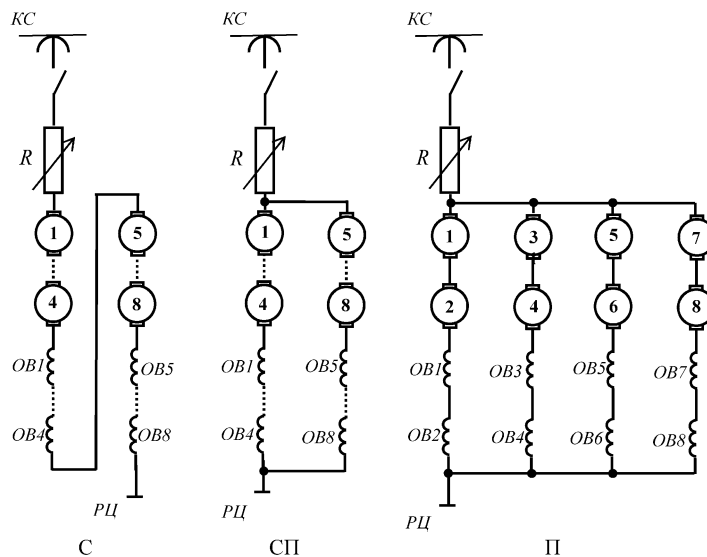


Рис. 3. Последовательное (С), последовательно-параллельное (СП) и параллельное (П) соединение ТЭД: OB – обмотка возбуждения; $КС$ – контактная сеть; $РЦ$ – рельсовая цепь; R – реостат

При соединении С напряжение U на каждом двигателе составляет $1/8$ напряжения контактной сети, то есть $U = U_{кc} / 8 = 375$ В, и через каж-

дый двигатель протекает полный ток, потребляемый электровозом из контактной сети: $I_a = I_{\text{кc}}$. В результате на малой скорости движения создается большой тяговый момент, см. (1).

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

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

2-й способ. Как уже было сказано, падение напряжения $I_a \Sigma r$ во внутренних цепях двигателя невелико, оно составляет всего несколько процентов от подведенного к ТЭД напряжения U . Если же в якорную цепь подключить дополнительное сопротивление (пусковой реостат, показан на рис. 3), то получаем возможность плавного регулирования скорости при трогании с места и разгоне.

3-й способ. Согласно (6), частота n обратно пропорциональна величине магнитного потока Φ . Наибольшее распространение получила система ступенчатого изменения магнитного потока путем шунтирования главных полюсов как наиболее простая по конструкции.

В этом случае (см. рис. 1) параллельно обмотке возбуждения OB тягового электродвигателя подключается резистор $R_{\text{ш}}$, часть тока якоря отводится через него от обмотки возбуждения, и магнитный поток полюсов тягового электродвигателя уменьшается. Включение в параллель дополнительных резисторов дает возможность получения двух и более ступеней ослабления магнитного потока.

Отношение тока обмотки возбуждения I_e к току якоря I_a носит название коэффициента ослабления возбуждения α_B :

$$\alpha_B = \frac{I_e}{I_a} = \frac{R_{ш}}{R_B + R_{ш}}. \quad (7)$$

На электровозе ВЛ10, кроме полного поля, имеются четыре ступени ослабления (коэффициенты 0,75; 0,55; 0,43; 0,36), на электровозах ЧС2 – пять ступеней (0,85; 0,70; 0,575; 0,475; 0,40).

Перечисленные выше три способа регулирования частоты вращения ТЭД являются классическими (контактно-реостатное управление). Они были использованы на первых электровозах в начале XX века и в основном остались без принципиальных изменений на электровозах эксплуатируемого парка.

Недостаток этих способов связан в основном со значительными потерями энергии в пусковых резисторах, а также со ступенчатым характером как изменения напряжения, подаваемого на двигателя, так и ослабления поля. При этом происходит резкое изменение тока, ухудшаются коммутационные условия на коллекторе ТЭД, возникают предпосылки для возникновения боксования, искрения и кругового огня.

К недостаткам схемы относится большое число контакторов, при помощи которых осуществляются все переключения.

Управление работой электровоза ВЛ10 осуществляется при помощи контроллера машиниста, который имеет два кулачковых вала: главный и тормозной. Валы приводятся в движение двумя рукоятками: главной и тормозной, которые связаны с соответствующими зубчатыми передачами. Имеется 37 позиций контроллера машиниста, из них 16-я, 27-я и 37-я являются ходовыми (при соединениях С, СП и П соответственно), так как на этих позициях в якорных цепях ТЭД отсутствуют регулировочные сопротивления. Таким образом, воздействие машиниста на локомотив (говоря компьютерным языком, «человеко-машинный интерфейс») реализуется аппаратным путем.

Новые электровозы 2ЭС4к, 2ЭС6к и ЭП2к оснащены микропроцессорными системами управления и диагностики, обеспечивающими ручное и автоматическое управление движением, режимы автоведения поезда, индикацию параметров движения и диагностику работы оборудования электровоза.

Рекуперативное торможение осуществляется при независимом возбуждении ТЭД, переведенных в генераторный режим. Обмотка возбуждения ТЭД запитывается от вращающегося возбудителя (на старых электровозах), либо от статического преобразователя (на более современных).

Напряжение, на которое должна быть выполнена изоляция силовых и вспомогательных цепей электровозов постоянного тока, определяется напряжением контактной сети $U_{кс}$, что не позволяет применить оптимальные варианты по критериям минимальной стоимости, массогабаритным показателям, надежности и т.д.

Контактно-реостатная система формирования напряжения на ТЭД в принципе может быть заменена импульсным регулятором напряжения (ИРН), который выполнен на силовых управляемых полупроводниковых приборах – тиристорах или транзисторах. В такой схеме регулирование напряжения на двигателях (от нуля до максимального значения) осуществляется плавно и без существенных потерь, поэтому отпадает необходимость не только в резисторах, но и в переключении группировок ТЭД. Однако на электровозах отечественного производства, оснащенных коллекторными ТЭД, ИРН применения не нашли.

Тепловозы с электрической передачей

постоянного тока

Одним из основных требований, предъявляемых к электрической передаче тепловозов, является полное использование на тягу свободной мощности дизеля во всех условиях движения. Свободная мощность дизеля

N равна его эффективной мощности за вычетом мощности, расходуемой на вспомогательные нужды.

Экономичная работа дизеля возможна лишь в установившемся режиме, когда угловая скорость вращения коленчатого вала ω фиксирована (согласно набранной позиции контроллера машиниста) и мощность на валу дизеля постоянна. Тяговый генератор преобразует свободную мощность N дизеля в электрическую мощность P_r (потери учитываются коэффициентом полезного действия генератора η):

$$P_r = \eta N = \text{const},$$

откуда

$$U_r I_r = \eta M \omega = \text{const}, \quad (8)$$

что и определяет необходимость формирования гиперболической внешней характеристики генератора для наиболее полного использования свободной мощности дизеля (так называемая «тепловозная характеристика»).

Графически постоянство мощности выражается внешней характеристикой – зависимостью напряжения генератора U_r от тока генератора I_r на выбранной машинистом позиции контроллера (рис. 4).

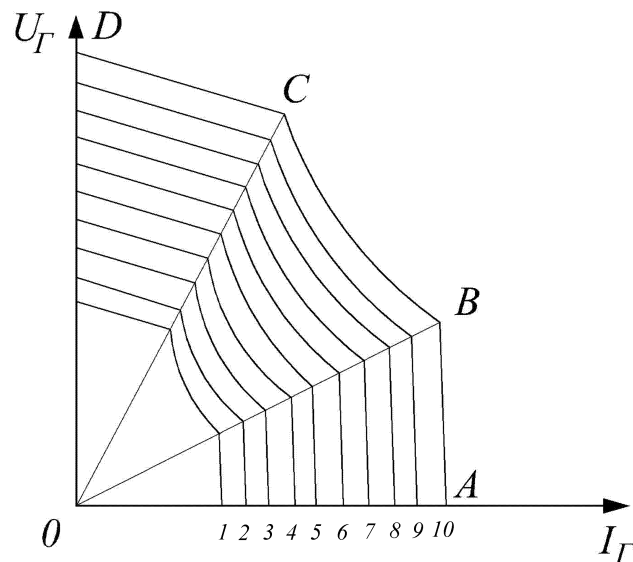


Рис. 4. Внешняя характеристика тягового генератора в зависимости от набранной позиции КМ: 1, ..., 10 – номера позиций

Гиперболический участок BC соответствует постоянной мощности, участок AB обеспечивает ограничение максимального тока при трогании с места, а участок CD – ограничение напряжения при движении на больших скоростях.

Максимальное значение тока генератора I_r определяется максимальным током тяговых двигателей в момент трогания тепловоза с места. При разгоне ток генератора уменьшается.

Максимальное значение напряжения генератора U_r должно быть достаточным для обеспечения конструкционной скорости движения тепловоза (с учетом характеристик ТЭД). При уменьшении скорости движения напряжение падает.

Три этапа развития электрических передач тепловозов показаны в табл. 1. Принципиальная схема электрической передачи мощности постоянного тока, применявшейся на первом этапе, приведена на рис. 5.

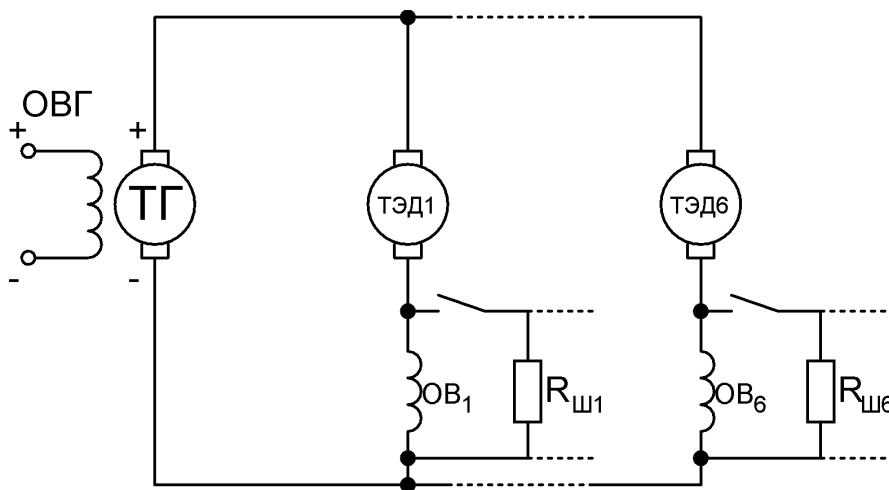


Рис. 5. Принципиальная схема электрической передачи постоянного тока (параллельное соединение ТЭД): ТГ – тяговый генератор; ТЭД – тяговый электродвигатель; ОВГ – обмотка возбуждения генератора; ОВ – обмотки возбуждения ТЭД

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.

Первые тепловозы конструкции Я.М. Гаккеля и Ю.В. Ломоносова были оснащены ЭПМ постоянного тока. Наиболее широкое применение она нашла на тепловозах выпуска 1940-60-х гг., однако маневровые тепловозы с ЭПМ постоянного тока выпускаются и в настоящее время.

В эксплуатации находятся магистральные грузовые тепловозы 2ТЭ10 и М62, пассажирские ТЭП60, а также маневровые ТЭМ2, ЧМЭ3 и ТЭМ18ДМ.

ЭПМ постоянного тока выполняют с постоянным соединением тяговых генераторов и электродвигателей, а управление осуществляется изменением напряжения тягового генератора и магнитного потока электродвигателей.

Тяговый генератор постоянного тока. Главной технической проблемой первых тепловозов с электрической передачей являлось регулирование напряжения тягового генератора с целью формирования гиперболической внешней характеристики (8), соответствующей постоянной мощности, подводимой к генератору от дизеля при заданной позиции контроллера машиниста.

Напряжение U_r на клеммах генератора постоянного тока равно ЭДС за вычетом падения напряжения в цепи якоря

$$U_r = E - I_r \Sigma r, \quad (9)$$

где $E = C_e \Phi n$ – ЭДС генератора, В;

C_e – конструкционная постоянная;

a – число параллельных ветвей обмотки якоря;

N – число проводников обмотки якоря;

p – число пар главных полюсов;

Φ – магнитный поток на одно полюсное деление, Вб;

n – частота вращения вала генератора, об/мин;

I_r – ток генератора;

Σr – полное сопротивление цепи якоря.

Насыщение магнитной цепи учитывается с помощью кривой намагничивания $\Phi = f(i_b)$, где Φ – магнитный поток системы возбуждения, а i_b – намагничивающий ток (ток возбуждения).

Ток генератора I_r определяется условиями ведения поезда, то есть представляет собой нагрузку. Таким образом, из (9) следует, что регулирование напряжения U_r с целью поддержания постоянной мощности генератора на фиксированной позиции контроллера машиниста (при $n = \text{const}$) может осуществляться только за счет изменения магнитного потока $\Phi = f(i_b)$ системы возбуждения генератора.

Регулирование напряжения тягового генератора. На тепловозах выпуска 1920-30-х гг. регулирование тока возбуждения производилось машинистом вручную, при помощи специального штурвала.

На тепловозах Д^А и Д^Б, поступивших на железные дороги нашей страны в 1945-46 гг., регулирование возбуждения тягового генератора осуществлялось автоматически по схеме, предложенной Г. Лемпом, за счет специальной конструкции генераторов-возбудителей. В результате значительно повышалась эффективность работы локомотивов и улучшались условия труда машинистов. Затем аналогичные схемы (их принято называть электромашинными системами автоматического регулирования) нашли применение на тепловозах ТЭ1, ТЭ2, ТЭ3, ТЭМ1, ТЭМ2 и ЧМЭЗ.

Кратко остановимся на принципе действия и устройстве такой схемы, использующей генератор-возбудитель с продольным расщеплением полюсов, применительно к тепловозу ТЭМ2 (рис. 6).

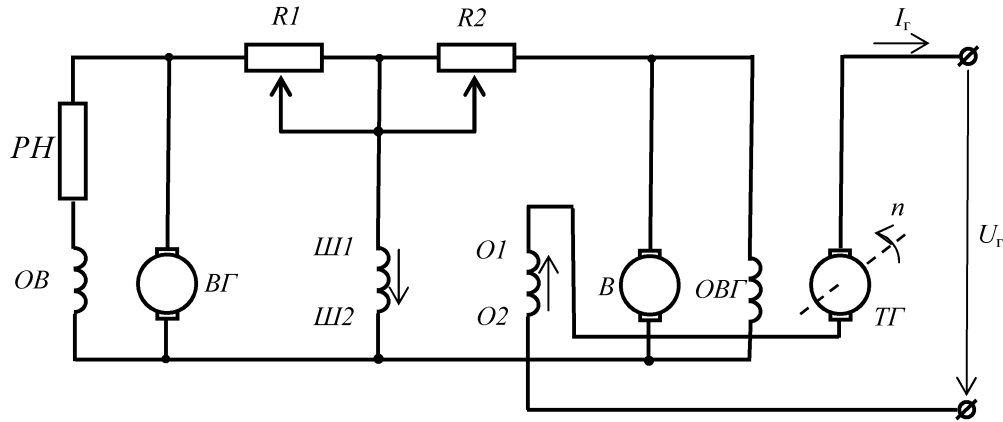


Рис. 6. Принципиальная блок-схема электромашиной системы автоматического регулирования напряжения тягового генератора (схема Лемпа)

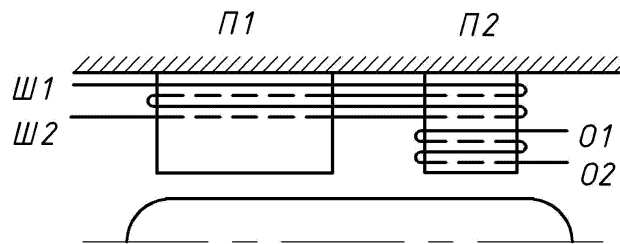


Рис. 7. Размещение обмоток на расщепленном полюсе возбудителя:
Ш1-Ш2 – обмотка параллельного возбуждения; О1-О2 – дифференциальная обмотка

Конструктивно вспомогательный генератор ВГ и возбудитель В объединены в двухмашинный агрегат, приводимый во вращение от шкива на валу тягового генератора. Следовательно, их ЭДС, так же как и ЭДС тягового генератора, пропорциональна частоте n вращения вала дизель-генератора.

Вспомогательный генератор ВГ представляет собой генератор постоянного тока с параллельным возбуждением.

Возбудитель B имеет четыре полюса. Каждый из них в продольном направлении расчленен на две части (рис. 7): ненасыщенную П1 и насыщенную П2. Насыщение второй части полюса достигнуто благодаря меньшему сечению сердечника и вырезам на нем.

На обеих частях полюса смонтирована параллельная обмотка возбуждения $Ш1-Ш2$, она получает питание как от возбудителя B , так и от вспомогательного генератора $BГ$.

На насыщенной части полюса П2 смонтирована дифференциальная обмотка $O1-O2$, включенная последовательно с якорем тягового генератора, причем ее витки намотаны на сердечник противоположно виткам обмотки $Ш1-Ш2$. Поэтому магнитодвижущая сила дифференциальной обмотки $O1-O2$ направлена встречно МДС параллельной обмотки $Ш1-Ш2$.

ЭДС возбудителя, B , равна

$$E_B = c_B \Phi_B n_B,$$

где c_B – постоянная величина для данного возбудителя, определяемая числом пар полюсов и параметрами обмотки якоря, В/(Вб·об/мин);

Φ_B – магнитный поток полюсов возбудителя, Вб;

n_B – частота вращения якоря возбудителя, об/мин.

Магнитный поток полюсов возбудителя Φ_B можно представить как алгебраическую сумму магнитных потоков ненасыщенной $\Phi_{П1}$ и насыщенной $\Phi_{П2}$ частей полюсов:

$$\Phi_B = \Phi_{П1} \pm \Phi_{П2}.$$

Тогда ЭДС возбудителя может быть определена согласно выражению

$$E_B = c_B \Phi_{П1} n_B \pm c_B \Phi_{П2} n_B = E_{П1} \pm E_{П2},$$

где $E_{П1}$, $E_{П2}$ – ЭДС возбудителя от ненасыщенной и насыщенной частей полюсов соответственно.

Магнитный поток ненасыщенной части полюсов $\Phi_{П1}$ определяется МДС параллельной обмотки

$$F_{\Pi 1} = F_{\text{шв}} .$$

Магнитный поток насыщенной части полюсов $\Phi_{\Pi 2}$ определяется как разность МДС параллельной и дифференциальной обмоток:

$$F_{\Pi 2} = F_{\text{шв}} - F_{\text{дв}} .$$

На рис. 8 представлен характер изменения величин $E_{\Pi 1}$, $E_{\Pi 2}$ и E_B в зависимости от тока нагрузки I_r тягового генератора.

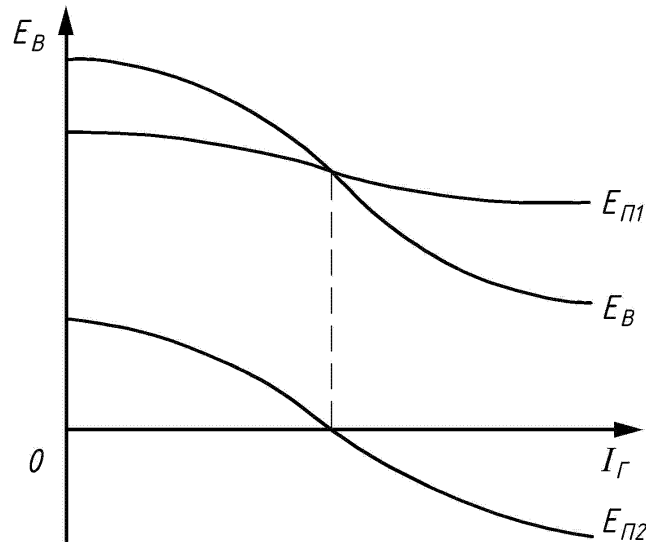


Рис. 8. Характеристики возбудителя с продольным расщеплением полюсов: $E_{\Pi 1}$ — ЭДС возбудителя при возбуждении от ненасыщенной части полюсов; $E_{\Pi 2}$ — ЭДС возбудителя при возбуждении от насыщенной части полюсов; E_B — результирующая ЭДС возбудителя

Как указывалось выше, составляющая ЭДС $E_{\Pi 1}$ определяется МДС параллельной обмотки $F_{\text{шв}}$. Если бы эта обмотка питалась только от цепи вспомогательного генератора $BГ$, то $E_{\Pi 1}$ не зависела бы от I_r и сохраняла постоянное значение. Однако, так как параллельная обмотка получает питание и от возбудителя B (см. рис. 6), а напряжение возбудителя с увеличением тока I_r падает, магнитный поток $\Phi_{\Pi 1}$ и ЭДС $E_{\Pi 1}$ с увеличением тока нагрузки тягового генератора будут снижаться (см. линию $E_{\Pi 1}$ на рис. 8).

Электродвижущая сила $E_{П2}$ определяется взаимодействием МДС параллельной и дифференциальной обмоток. При малых токах нагрузки генератора сердечник части П2 полюсов насыщен магнитным потоком параллельной обмотки. При увеличении тока нагрузки МДС дифференциальной обмотки увеличивается, а результирующая МДС $F_{П2}$ и ЭДС $E_{П2}$ насыщенной части полюсов уменьшаются.

В некоторый момент МДС дифференциальной обмотки превысит МДС параллельной обмотки, сердечник насыщенной части полюсов П2 перемагнитится и ЭДС $E_{П2}$ изменит свой знак. По мере дальнейшего увеличения тока нагрузки генератора, а следовательно, и тока в дифференциальной обмотке, отрицательное значение ЭДС $E_{П2}$ будет возрастать и, наконец, наступит насыщение сердечников насыщенных частей полюсов магнитным потоком дифференциальной обмотки. Криволинейная часть характеристики $E_{П2}$ создается при насыщении сердечников.

Тяговый генератор $ТГ$ имеет независимое возбуждение от обмотки $ОВГ$, которая питается от возбuditеля $В$.

На рис. 9 представлена характеристика возбuditеля с продольно-расщепленными полюсами МВТ-25/9 тепловоза ТЭМ2. Характеристика тягового генератора ГП-300Б подобна характеристике возбuditеля (рис. 10). Обратим внимание на то, что напряжение $U_{в}$, подаваемое на независимую обмотку возбуждения тягового генератора, измеряется десятками вольт, а напряжение $U_{г}$ на его клеммах – сотнями вольт, то есть тяговый генератор работает как усилитель напряжения.

Таким образом, при увеличении тока $I_{г}$ в силовой цепи напряжение генератора $U_{г}$ автоматически понижается, а при уменьшении – повышается, что обеспечивает формирование гиперболической внешней характеристики генератора.

Кроме того, автоматически поддерживается постоянное значение электромагнитного момента на валу генератора (момента полезной нагрузки дизеля) при заданной позиции контроллера машиниста:

$$M = C_M \Phi(I_g) I_r, \quad (10)$$

что обеспечивает устойчивую работу дизель-генераторной установки.

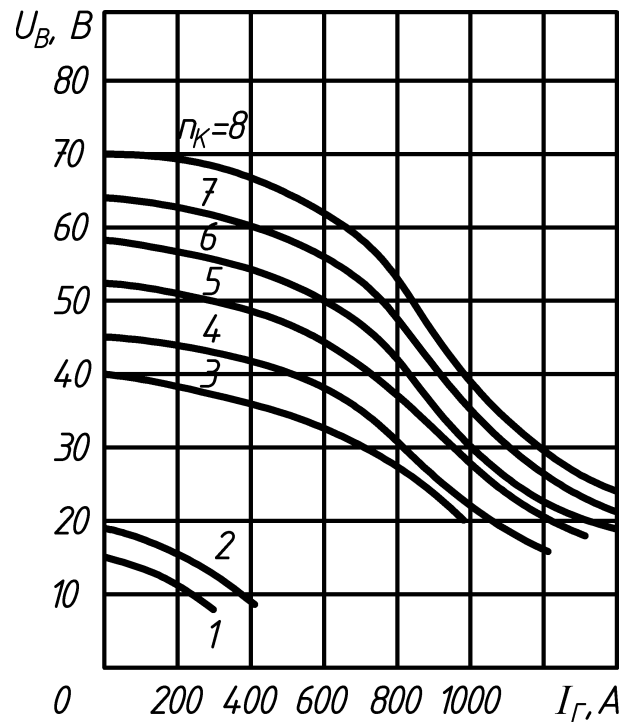


Рис. 9. Характеристика возбудителя МВТ-25/9 для различных позиций КМ:

1, ..., 8 – номера позиций

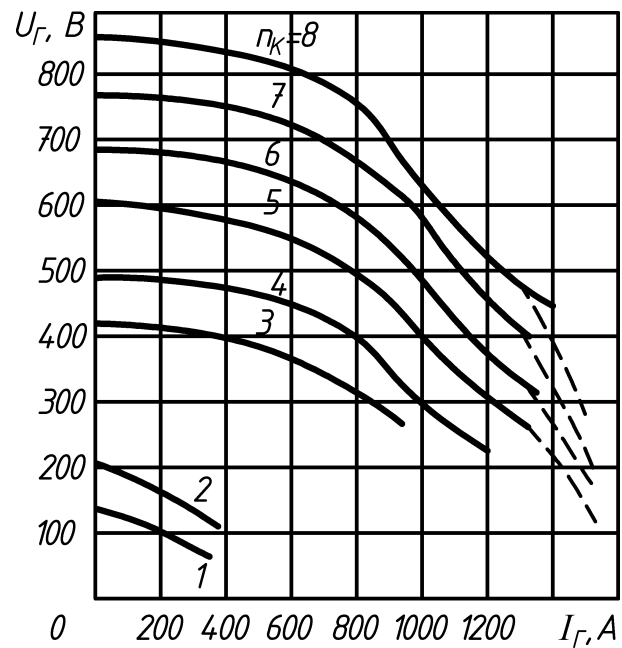


Рис. 10. Внешняя характеристика генератора ГП-300Б для различных

позиций КМ: 1, ..., 8 – номера позиций

С точки зрения теории автоматического управления (ТАУ), описанная выше схема Лемпа представляет собой простейшую систему автоматического регулирования по возмущению (рис. 11).

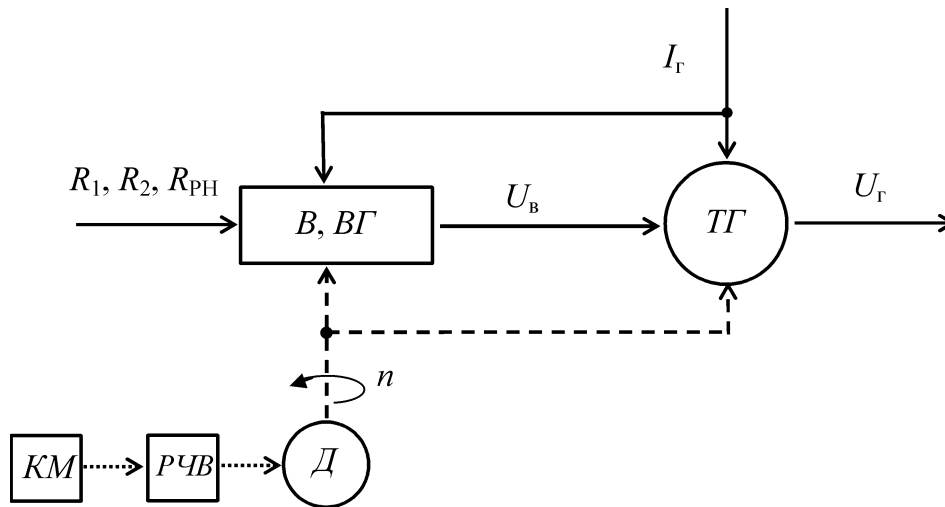


Рис. 11. Функциональная схема системы автоматического регулирования напряжения тягового генератора по возмущению

Объектом управления является тяговый генератор, возмущением для него является ток нагрузки I_r . Управляемой величиной является напряжение тягового генератора U_r .

Сигнал по току нагрузки поступает в автоматический регулятор, который в данном случае состоит из возбудителя B и вспомогательного генератора $BГ$. Заданием для АР являются значения сопротивлений R_1 , R_2 и R_{PH} (см. рис. 6). Частота вращения n вала дизель-генератора определяется набранной позицией контроллера машиниста, при фиксированной позиции $КМ$ она постоянна. Напряжение $U_в$, подаваемое на обмотку возбуждения тягового генератора, является управляющим воздействием.

Такая система управления является разомкнутой, в ней отсутствует обратная связь по управляемой величине. Существенным органическим недостатком такой системы является низкая точность и плохое качество работы.

Для тепловозов 2ТЭ10, ТЭП60, М62 были разработаны аппаратные системы регулирования напряжения, содержащие в качестве возбудителей

электрические машины обычной конструкции, не имеющие расщепленных полюсов и нескольких обмоток возбуждения, а в качестве датчиков, сумматоров и усилителей – бесконтактные электрические аппараты (магнитные и полупроводниковые усилители, выпрямители, преобразователи и др.). Это системы комбинированного регулирования, так как они построены на основе принципов регулирования по отклонению управляемой величины (принцип отрицательной обратной связи) и по возмущениям (току генератора, частоте вращения вала дизеля и положению органа топливоподачи дизеля).

Структурная схема комбинированной автоматической системы регулирования напряжения тягового генератора U_{Γ} показана на рис. 12а, ее функциональная схема – на рис. 12б.

В качестве сигналов по возмущениям тягового генератора $TГ$ используются ток, частота вращения и положение органа топливоподачи дизеля. Для измерения текущих значений и формирования сигналов используются измерительные устройства (ИУ):

- 1) датчик напряжения $ДН$ формирует сигнал i_1 по напряжению генератора;
- 2) датчик тока $ДТ$ формирует сигнал i_2 по току генератора;
- 3) датчик частоты вращения $ДЧВ$ формирует сигнал i_3 по частоте вращения вала дизель-генератора;
- 4) индуктивный датчик перемещения реек топливных насосов $ДП$ формирует сигнал i_4 по подаче топлива.

Полученные сигналы подаются на сумматор C (амплистат возбуждения AB).

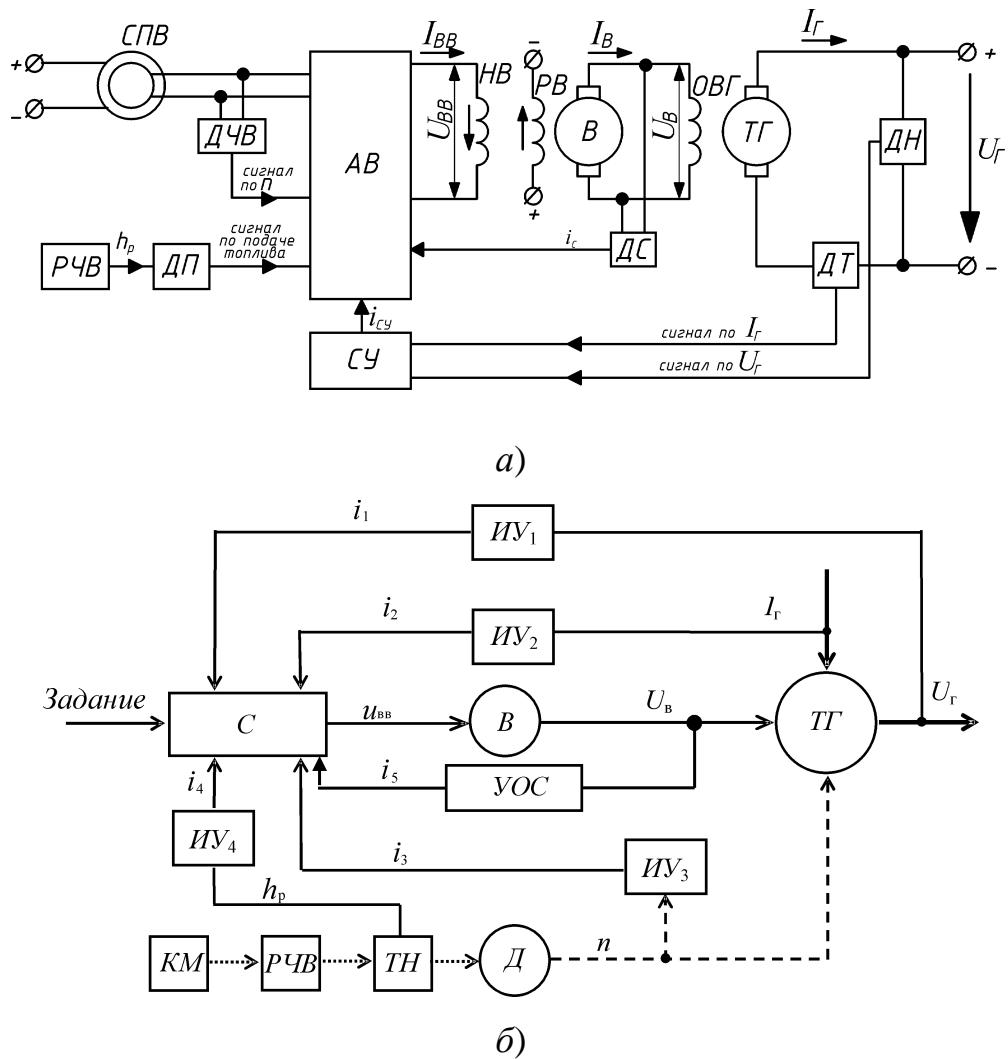


Рис. 12. Структурная (а) и функциональная (б) схемы комбинированной автоматической системы регулирования напряжения тягового генератора: *КМ* – контроллер машиниста; *РЧВ* – регулятор частоты вращения; *ТН* – топливный насос; *Д* – дизель

На выходе сумматора формируется напряжение возбуждения возбудителя $U_{ВВ}$, которое подается на возбудитель *B*, выполняющий функции органа регулирования. Возбудитель имеет две обмотки, причем одна из них (*НВ*) подключена к сумматору, а другая (*РВ*) – к вспомогательному генератору. Магнитодвижущие силы этих обмоток направлены встречно, то есть для формирования гиперболической характеристики здесь применен тот же принцип, что и в схеме Лемпа.

Для повышения устойчивости и улучшения качества работы используется устройство местных обратных связей (УОС). Датчик скорости изменения тока возбуждения генератора $ДС$ выполняет функции устройства обратной отрицательной гибкой связи выхода возбудителя со входом амплитата $АВ$.

Для настройки регуляторов применены переменные сопротивления, играющие роль задающих устройств (на схеме не показаны).

Напряжение $U_{в}$, подаваемое от возбудителя на обмотку возбуждения $ТТ$, является управляющим воздействием.

Описанные выше системы управления первых поколений (электромашинные и аппаратные) в настоящее время морально и физически устарели. Они заменяются микропроцессорными системами управления, например, на тепловозах 2ТЭ10 и М62 при ремонте может быть установлена унифицированная система управления электропередачей (УСТА). С помощью цифровых программируемых автоматических систем можно реализовать значительно более сложные и эффективные алгоритмы работы электропередачи, чем на аналоговых регуляторах. Такие алгоритмы позволяют продлить срок службы локомотивов, уже находящихся в эксплуатации, и обеспечить более высокие качественные показатели их работы.

Регулирование частоты вращения ТЭД. Переключение схемы соединения ТЭД на тепловозах не применяется (за исключением ТЭ1, где ТЭД могли подключаться либо последовательно, либо последовательно-параллельно – двумя группами по три двигателя).

На магистральных грузовых и пассажирских тепловозах ТЭД всегда подключены параллельно (см. рис. 5). На маневровых тепловозах с электропередачей ТЭД соединены группами – либо по два, либо по три двигателя.

Следовательно, напряжение, подаваемое на тяговый двигатель, либо равно напряжению генератора $U_{г}$ (при параллельном соединении ТЭД), либо ему пропорционально (при последовательно-параллельном соедине-

нии). Частота вращения вала двигателя, согласно (6), определяется величиной этого напряжения.

На практике для дополнительного регулирования частоты вращения вала двигателя используется ослабление поля возбуждения. Как правило, тепловозные ТЭД имеют две ступени ослабления поля. Например, у 2ТЭ10 $\alpha_1 = 0,60$, $\alpha_2 = 0,36$; у ТЭП60 $\alpha_1 = 0,60$, $\alpha_2 = 0,40$. В результате, при возрастании скорости движения тепловоза от нуля до максимального значения, гиперболическая часть характеристики проходится три раза.

В настоящее время выпускаются маневровые тепловозы ТЭМ18ДМ с ЭПМ постоянного тока, состоящей из тягового генератора, шести тяговых двигателей, сглаживающего реактора (дресселя), электронного контроллера и контакторной аппаратуры. Схема предусматривает постоянную последовательно-параллельную группировку ТЭД (две параллельные группы по три двигателя в каждой) и две ступени ослабления поля.

Тепловозы с электрической передачей переменно-постоянного тока

Выпуск тепловозов, оснащенных ЭПМ переменно-постоянного тока, был начат в конце 60-х годов XX века практически одновременно с электровозами переменного тока. ЭПМ переменно-постоянного тока имеет в своем составе синхронный тяговый генератор *СТГ*, выпрямительную установку *ВУ* и коллекторные ТЭД постоянного тока последовательного возбуждения (рис. 19). Такой передачей оснащены грузовые тепловозы 2ТЭ116 и 2ТЭ25к «Пересвет», пассажирский ТЭП70, маневровый ТЭМ7 и другие.

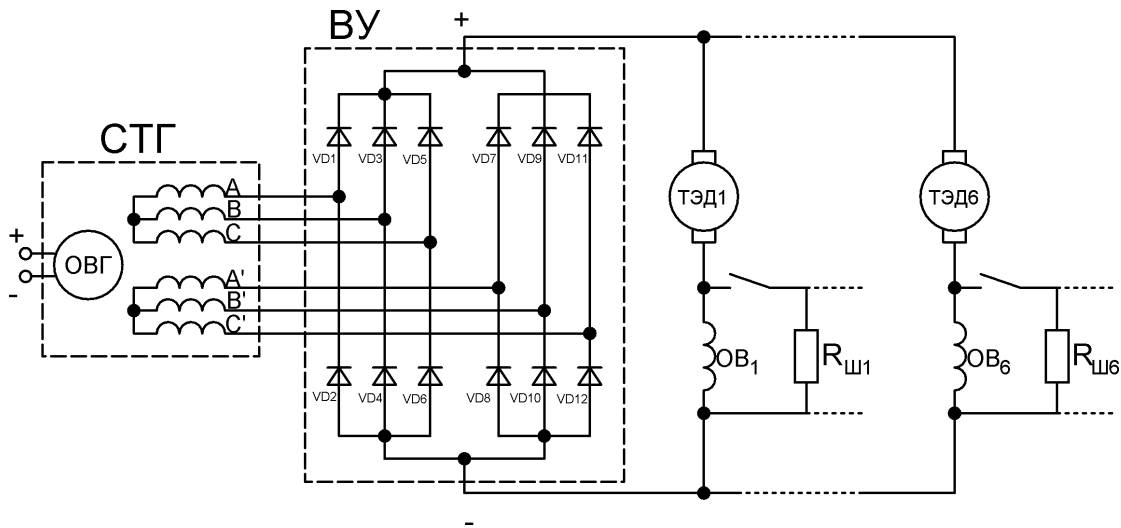


Рис. 19. Принципиальная схема ЭПМ переменного-постоянного тока:
 СТГ – синхронный тяговый генератор; ОВГ – обмотка возбуждения генератора; ВУ – выпрямительная установка; ТЭД – тяговый электродвигатель;
 ОВ – обмотка возбуждения; $R_{ш}$ – резисторы

Тепловозы 2ТЭ25к «Пересвет» и 2ТЭ116У имеют индивидуальное (каждый от своего управляемого выпрямителя) питание ТЭД и систему поосного регулирования силы тяги.

В приемлемых для тепловоза габаритах синхронный тяговый генератор может быть выполнен мощностью более 7000 кВт.

Основные преимущества синхронного генератора перед генератором постоянного тока заключаются в:

- отсутствии коллекторно-щеточного узла, что повышает надежность генератора и тем самым позволяет существенно уменьшить эксплуатационные расходы;
- отсутствии ограничения по частоте вращения ротора;
- снижении массы на единицу мощности в два раза;
- уменьшении расхода меди и электротехнической стали.

Необходимость применения выпрямительной установки несколько снижает преимущества синхронного генератора. Кроме того, в ЭПМ переменного-постоянного тока применяются коллекторные ТЭД постоянного то-

ка, параметры которых, так же как и в ЭПМ постоянного тока, приближаются к предельным по использованию электромагнитных свойств материалов и коммутации.

Синхронный тяговый генератор. В отличие от генератора постоянного тока, магнитное поле которого создается полюсами, размещенными на статоре, и располагается в пространстве неподвижно, магнитное поле синхронного генератора вращается вместе с ротором. Регулируемое напряжение возбуждения подводится к полюсам, находящимся на роторе, через контактные кольца.

Синхронный генератор имеет две статорные трехфазные обмотки, соединенные по схеме «звезда».

Частота тока f , Гц, и частота вращения ротора n , об/мин, находятся в строго постоянном соотношении

$$f = \frac{pn}{60}, \quad (11)$$

где p – число пар полюсов.

Подчеркнем, что частота вырабатываемого тока f меняется в зависимости от числа оборотов вала дизель-генератора. Например, для явнополюсного генератора с 12 полюсами на роторе (то есть $p = 6$) при $n = 500$ об/мин получаем $f = 50$ Гц, при $n = 1000$ об/мин имеем $f = 100$ Гц.

ЭДС одной фазы синхронного генератора может быть представлена как

$$E = C_e \Phi(i_e) n, \quad (12)$$

где $\Phi(i_e)$ – магнитный поток системы возбуждения, Вб;

C_e – конструкционная постоянная, в данном случае $C_e = 4,44 w k_{об} k_c \frac{P}{60}$;

w – число витков фазы (число последовательно соединенных витков каждой параллельной ветви);

$k_{об}$ – обмоточный коэффициент;

k_c – коэффициент скоса пазов обмотки.

Свободной мощности дизеля соответствует активная составляющая мощности синхронного генератора с двумя параллельными трехфазными обмотками:

$$P_r = 2 \cdot 3 \cdot U_\phi \cdot I_\phi \cdot \cos \varphi, \quad (13)$$

где U_ϕ, I_ϕ – действующие значения фазных напряжения и тока;

$\cos \varphi$ – коэффициент мощности: для номинального режима $\cos \varphi = 0,9$; при максимальном напряжении $\cos \varphi = 0,96$; при минимальном напряжении $\cos \varphi = 0,79$.

Напомним, что при соединении в «звезду» действующее значение линейного (междуфазного) напряжения в $\sqrt{3}$ больше действующего значения фазного напряжения, а линейный ток равен фазовому току.

Пренебрегая падением напряжения во внутренних цепях, получим электромагнитный момент синхронного генератора (момент полезной нагрузки дизеля) в виде:

$$M = 2 \cdot 3 \cdot \frac{U_\phi I_\phi}{\omega} \cos \varphi = 2 \cdot 3 \cdot C_M \Phi(i_e) I_\phi \cos \varphi, \quad (14)$$

где $\omega = 2\pi n/60$; $C_M = \frac{60}{2\pi} C_e = 4,44 w k_{ob} k_c \frac{p}{2\pi}$.

Выпрямительная установка. Принципы построения и режимы работы трехфазных выпрямителей аналогичны неуправляемым однофазным выпрямителям, рассмотренным выше в п. 4. Особенностью трехфазных выпрямителей является значительно меньшая переменная составляющая выпрямленного напряжения и допущение о полностью сглаженном токе более близко к реальным режимам работы.

Как видно из рис. 19, каждая статорная обмотка синхронного генератора включена на свой трехфазный выпрямительный мост выпрямительной установки ВУ. Трехфазный выпрямитель, построенный по мостовой схеме, предложен А.Н. Ларионовым (рис. 20).

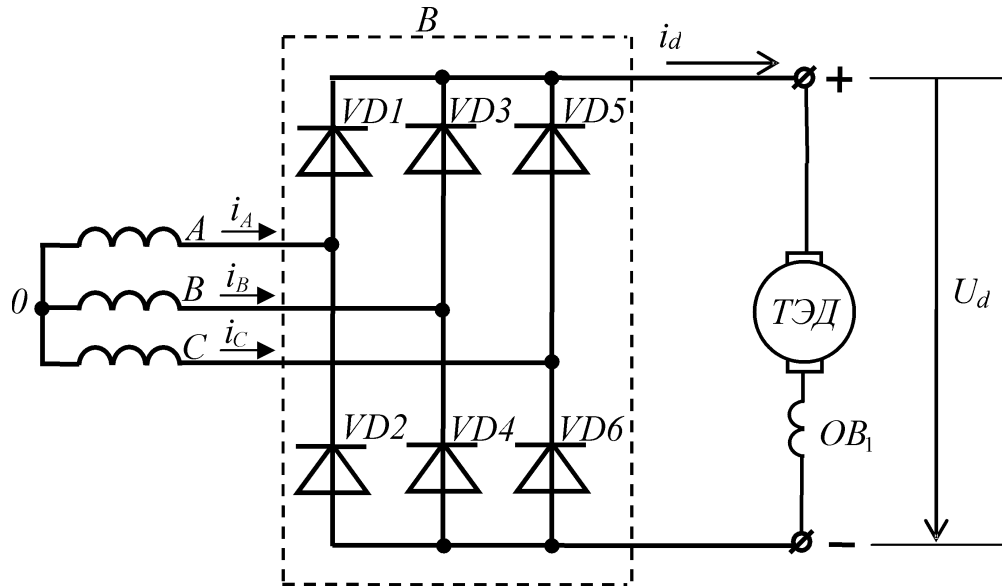


Рис. 20. Схема мостового выпрямителя трехфазного тока

Он питается от трехфазной обмотки, фазы А, В, С которой соединены в звезду, и состоит из двух групп диодов: анодной и катодной, каждая из которых имеет по три диода. Ток одновременно проводят два диода: один в анодной группе, потенциал катода которого минимален, другой в катодной группе, потенциал анода которого максимален относительно нулевой точки обмотки источника напряжения. В результате на выходе формируется выпрямленное напряжение U_d , мгновенные значения которого равны на соответствующих интервалах линейным напряжениям U_{ab} , U_{bc} , U_{ac} , U_{ba} и т.д.

На рис. 21, а показаны напряжения фаз А, В, С, на рис. 21, б – кривая выпрямленного напряжения U_d , она имеет шесть пульсаций за один период питающего напряжения, откуда и происходит термин «шестипульсовая схема».

Среднее значение выпрямленного напряжения

$$U_{d\text{сред}} = \frac{1}{\pi/3} \int_{-\pi/6}^{\pi/6} U_{ML} \cos \varphi d\varphi = \frac{3}{\pi} U_{ML} = \frac{3}{\pi} \sqrt{2} U_L \approx 1,35 U_L, \quad (15)$$

где U_{ML} , U_L – соответственно амплитудное и действующее значения линейного напряжения.

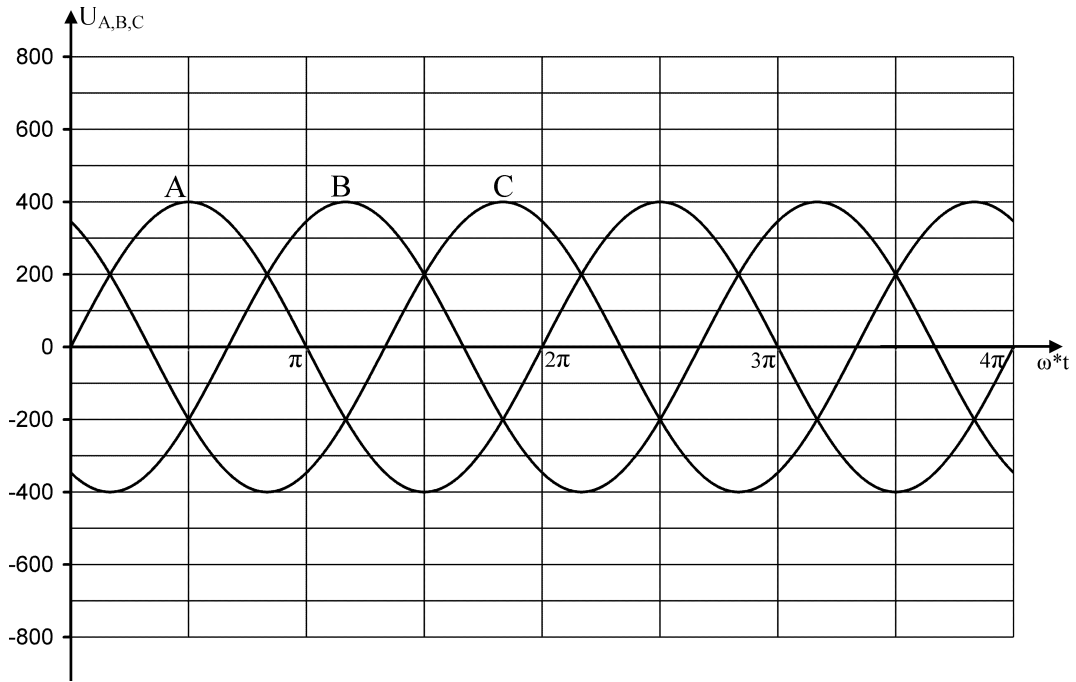
Например, для диаграммы рис. 21 амплитудное значение фазового напряжения $U_A = U_B = U_C = 400$ В, действующее значение фазового напряжения равно $400/\sqrt{2} = 282,8$ В. Действующее значение линейного напряжения $U_L = 282,8\sqrt{3} = 489,9$ В. Тогда среднее значение выпрямленного напряжения, согласно (15), равно $U_{d\text{сред}} = 1,35U_L = 661,4$ В.

Качество выпрямленного напряжения в такой схеме высокое. Коэффициент пульсаций $k_q = 0,057$ (напомним, что для выпрямителя однофазного тока, установленного на электровозах, $k_q = 0,66$).

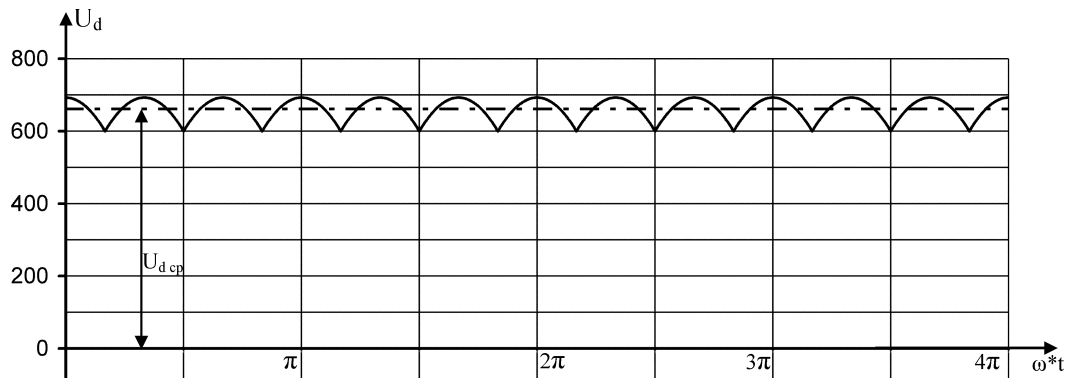
Двенадцатипульсовые схемы выпрямления используются для дальнейшего уменьшения пульсаций выпрямленного напряжения и снижения высших гармонических составляющих, они строятся на основе параллельного соединения двух трехфазных выпрямителей (см. рис. 19) и широко применяются на тепловозах с ЭПМ переменного-постоянного тока. Такая схема используется в выпрямительной установке УВКТ-5 (табл. 8).

Значение коэффициента пульсаций k_q при использовании двенадцатипульсовой схемы уменьшается до 0,03. Как следствие, не требуется применения дополнительных устройств (типа сглаживающих реакторов на электровозах), нет необходимости и в разработке тяговых двигателей специальной конструкции.

Средние значения выпрямленного напряжения одинаковы и равны общему выпрямленному напряжению $U_{d1} = U_{d2} = U_d$. Общий ток нагрузки I_d распределяется поровну между обеими трехфазными обмотками.



a)



б)

Рис. 21. Диаграммы работы трехфазного мостового выпрямителя: напряжения фаз (а) и выпрямленное напряжение (б)

Система управления. Управление ЭПМ переменного-постоянного тока осуществляется изменением частоты вращения вала дизель-генератора по позициям контроллера машиниста и регулированием магнитного потока генератора в пределах каждой позиции, что обеспечивает постоянство мощности $U_d I_d = \text{const}$.

ЭПМ переменного-постоянного тока оборудуется автоматической системой регулирования напряжения U_d , которая построена на принципах регулирования по отклонению напряжения генератора и по возмущениям

(силе тока и положению органов топливоподачи дизеля), структурная схема которой показана на рис. 22. Принцип работы системы аналогичен рассмотренному в п. 2.

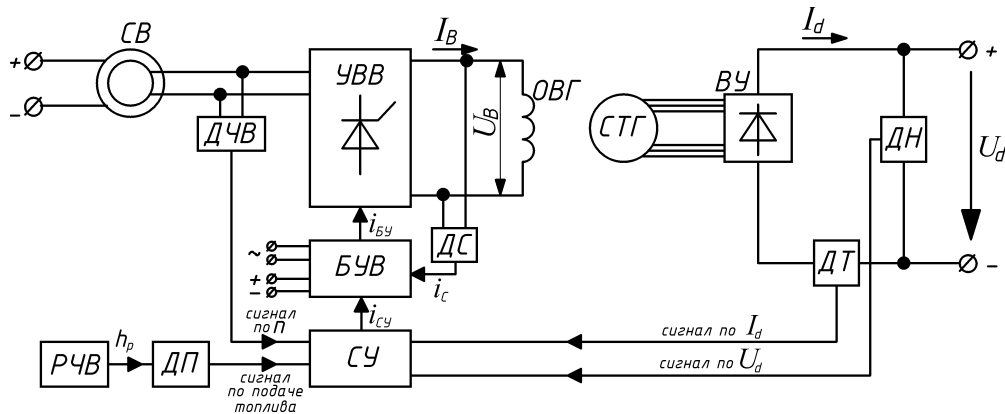


Рис. 22. Структурная схема комбинированной автоматической системы регулирования напряжения: СТГ – синхронный тяговый генератор; ВУ – выпрямительная установка; ДТ – датчик тока; ДН – датчик напряжения; СУ – селективный узел; БУВ – блок управления возбуждением; УВВ – управляемый выпрямитель возбуждения; СВ – синхронный возбудитель; РЧВ – регулятор частоты вращения; ДП – индуктивный датчик положения; ДЧВ – датчик частоты вращения; ДС – датчик скорости изменения тока возбуждения

Регулирование частоты вращения ТЭД. В режиме тяги все ТЭД соединены параллельно и получают питание от выпрямительной установки. Поэтому напряжение на зажимах ТЭД равно U_d , а сила тока в якорной цепи равна I_d , делённому на число двигателей.

Для расширения диапазона скоростей движения применяется, так же как и на тепловозах с ЭПМ постоянного тока, ступенчатое ослабление поля путем шунтирования обмотки возбуждения ТЭД. Как правило, используются две ступени ослабления поля.

Регулирование электрической передачи и согласование с работой дизеля

Структура системы регулирования дизеля и электрической передачи

Как следует из материала пп. 3 и 5, системы регулирования электрической передачи тепловозов можно разделить по двум признакам:

1) по элементной базе: электромашинные, аппаратные и микропроцессорные. В тепловозах типа ТЭМ2 и ЧМЭЗ применена электромашинная система регулирования тяговой электрической передачи, основой которой является возбудитель специальной конструкции.

В тепловозах 2ТЭ10, М62, 2ТЭ116, ТЭП70, ТЭМ7 и других используется аппаратная система регулирования, когда система строится из отдельных узлов и аппаратов как общего назначения, так и специального исполнения.

В последнее время тепловозы оборудуются микропроцессорными системами регулирования, которые нашли применение на перспективных тепловозах серии 2ТЭ25К «Пересвет», 2ТЭ25А «Витязь» (разработка ВНИКТИ, производство Брянского машиностроительного завода). От аппаратных систем автоматического регулирования микропроцессорные системы отличаются тем, что алгоритм регулирования выполняется программой.

2) по принципу действия: разомкнутые системы и системы с обратной связью. Разомкнутые системы регулирования электрической передачи в тепловозах не применяются, однако в аварийном режиме систему регулирования электрической передачи тепловозов в упрощенном виде можно считать разомкнутой.

Тепловозные системы регулирования по своей сути являются системами с обратной связью по возмущающему воздействию, которое определяется током нагрузки тягового генератора. Для полной реализации возможностей дизеля и тягового электрооборудования, упрощения управле-

ния тепловозом, на всех современных тепловозах применяются только замкнутые системы регулирования с обратной связью.

Рассмотрим принципы построения замкнутой системы регулирования тяговой электрической передачи, когда необходимо точное согласование мощности тягового генератора со свободной мощностью дизеля (так называемое объединённое регулирование дизель-генератора). При этом обеспечивается оптимальное нагружение дизеля, тепловоз работает в экономичном режиме, повышается ресурс дизеля.

На рис. 23 показана универсальная характеристика дизеля 16ЧН 26/26 тепловоза 2ТЭ116 и нанесённые на неё изолинии удельного расхода топлива.

Для работы дизеля в наиболее экономичном режиме требуется обеспечить нахождение нагрузки дизеля в соответствии с рабочей зоной *I* или, что то же самое, выдерживать заданное положение реек топливного насоса высокого давления в зависимости от частоты вращения коленвала дизеля.

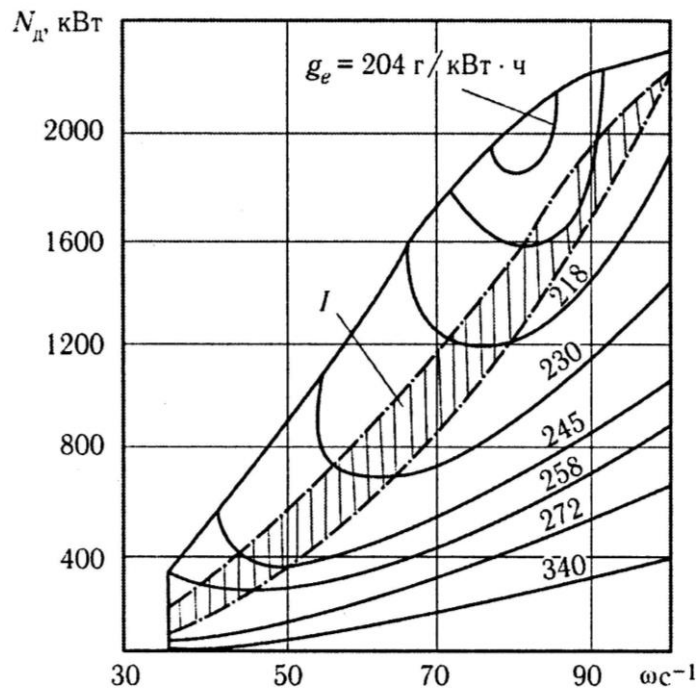


Рис. 23. Универсальная характеристика дизеля 16ЧН 26/26;
I – рабочая зона; N_d – мощность дизеля; ω – угловая скорость вращения коленчатого вала дизеля ($\omega = 2\pi n/60$)

В общем случае принцип объединённого регулирования дизель-генератора можно представить следующим образом.

Контроллером машиниста (КМ) задаётся угловая скорость вращения коленвала дизеля $\omega_{\text{диз}}$ изменением затяжки всережимной пружины (ВП), реализованная аппаратным способом.

В соответствии с рассогласованием заданной величины $\omega_{\text{диз}}$ и фактического измеренного значения частоты вращения $\omega_{\text{ос}}$ (по вращающимся грузам) регулятор частоты вращения (РЧВ) коленвала дизеля увеличивает или уменьшает подачу топлива h_p реечным механизмом, изменяя тем самым вращающий момент дизеля $M_{\text{диз}}$.

В моменте сопротивления дизеля $M_{\text{сопр}}$ (рис. 24) первые две составляющие (M_{const} и M_{var}) обусловлены самой природой дизеля и необходимостью обеспечения его нормальных режимов работы и работы различного вспомогательного оборудования тепловоза. Это расходы на вспомогательные нагрузки, обеспечивающие охлаждение дизеля, расходы на преодоление трения в подшипниковых узлах, расходы на вентиляцию электрических машин, на привод тормозного компрессора и др. Отсюда следует, что единственным способом удержания рабочей точки дизеля на оптимальной нагрузочной характеристике, в рабочей зоне, является изменение мощности (момента сопротивления) генератора $M_{\text{ген}}$.

В штатной схеме объединённого регулирования (см. рис. 24) можно выделить два основных элемента: блок задания селективной мощности (селективный узел СУ, датчики тока и напряжения D_t и D_n , множительное устройство У, тахометрический блок ТБ и другие вспомогательные узлы, не показанные на этом рисунке); блок коррекции, состоящий из узла суммирования, и индуктивный датчик ИД, конструктивно расположенный в регуляторе дизеля.

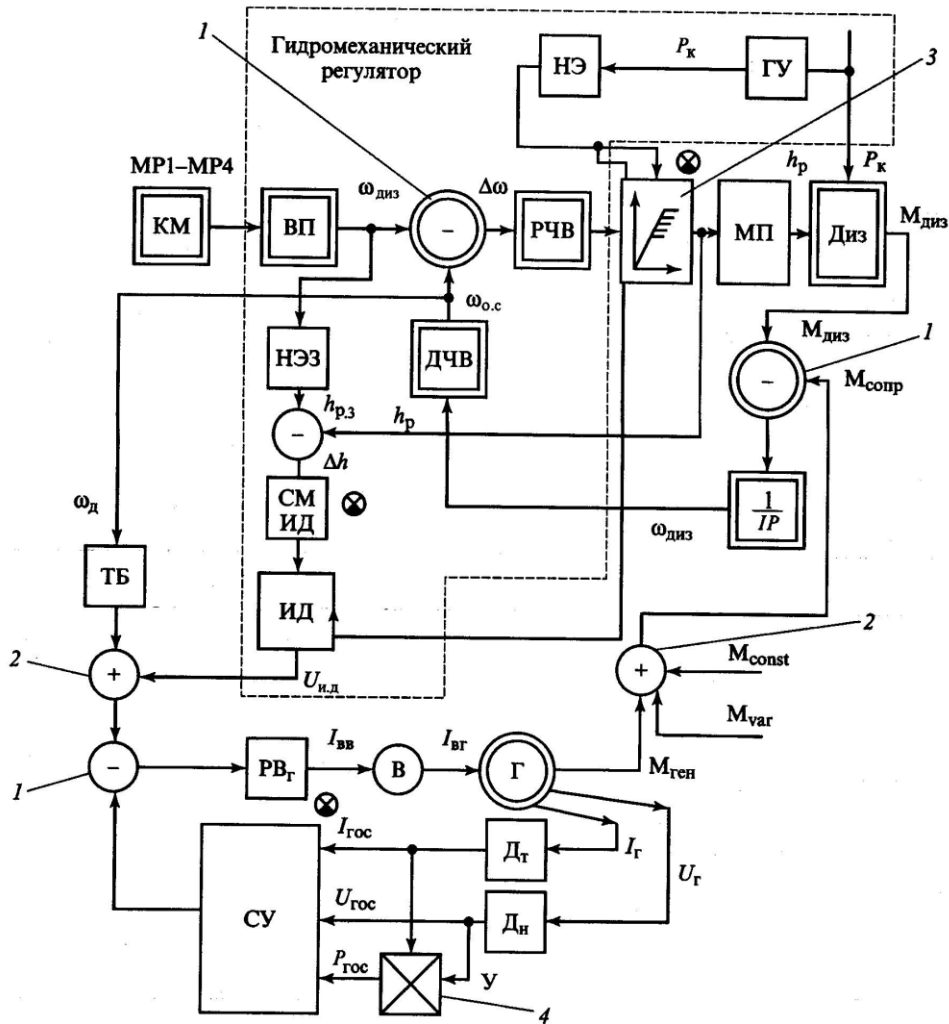


Рис. 24. Упрощённая структурная схема системы объединённого регулирования дизель-генератора:

КМ – контроллер машиниста; МР1-МР4 – электромагниты регулятора дизеля; ВП – всережимная пружина; РЧВ – регулятор частоты вращения; НЭ – нелинейный элемент корректора по наддуву; ГУ – гидроусилитель корректора по наддуву; МП – передаточный механизм; Диз – дизель; НЭЗ – нелинейный элемент Объединенного регулятора мощности; СМ ИД – сервомотор индуктивного датчика; В – возбудитель; Г – генератор; СУ – селективный узел; Дт, Дн – датчики тока и напряжения тягового генератора; $M_{диз}$ – момент дизеля; $M_{сопр}$ – момент сопротивления; M_{const} – постоянные нагрузки; M_{var} – переменные нагрузки; $M_{ген}$ – момент генератора; $I_{гос}$, $U_{гос}$, $P_{гос}$ – сигналы обратной связи по току, напряжению и мощности генератора; У – множительное устройство; \otimes – регулировочный параметр; ТБ – тахометрический блок; P_k – давление воздуха; ДЧВ – датчик частоты вращения коленвала; I_r – ток генератора; U_r – напряжение генератора; $h_{p.з}$ – заданные положения реек; h_p – фактическое положение реек; Δh – отклонение от заданного положения реек; $U_{ид}$ – сигнал индуктивного датчика; ω_d – заданная частота вращения коленвала; $\omega_{диз}$ – частота вращения коленвала; $\Delta\omega_{ос}$ – обратная связь по частоте вращения коленвала; 1 – узел сравнения; 2 – сумматор; 1/ИР – коэффициент учета инерционности вращающихся масс дизеля; 3 – корректор подачи топлива по наддуву; 4 – множитель

Будем считать, что система находится в равновесии, т.е. $M_{\text{диз}} = M_{\text{сопр}}$. При увеличении момента сопротивления дизеля (например, при включении привода тормозного компрессора) частота вращения вала дизеля уменьшается. Появление рассогласования ($\Delta\omega$) на входе регулятора частоты вращения РЧВ побуждает его устранить снижение частоты. Это может быть осуществлено только перемещением рейки топливных насосов высокого давления h_p . Таким образом, подача топлива растёт, увеличивая тем самым вращающий момент дизеля.

Однако увеличение подачи топлива h_p и соответственно момента дизеля вызывает рассогласование заданного положения реек $h_{p,z}$, выбранного из условия оптимальной нагрузочной характеристики. Появление этого рассогласования на входе сервомотора индуктивного датчика (СМ ИД) вызывает передвижение его поршня и соответственно стержня индуктивного датчика (ИД) в сторону уменьшения сигнала $U_{\text{ид}}$. Этот сигнал, входя в состав общего сигнала задания мощности тягового генератора, тем самым снижает мощность тягового генератора.

Момент сопротивления тягового генератора снижается до тех пор, пока в объединённой системе регулирования не установится равновесие по всем каналам, т.е. $\omega_{\text{диз}} = \omega_{\text{о.с}}$ и $h_p = h_{p,z}$.

Так же происходят процессы при уменьшении момента сопротивления. Зона действия индуктивного датчика выбирается таким образом, чтобы соответствующим изменением мощности тягового генератора можно было перекрыть все величины колебаний вспомогательных и других нагрузок.

Итак, в штатной схеме объединённого регулирования дизель-генератора осуществляется поддержание заданного положения рейки топливных насосов в соответствии с оптимальной характеристикой нагружения дизеля (согласно универсальной характеристике).

Недостатки такого регулирования:

1. Большое количество настроек и регулировок (показаны значком ⊗ на рис. 24), откуда необходимость проведения периодических реостатных испытаний;

2. Эксплуатационная неустойчивость настроек из-за изменения геометрических размеров, качества и наличия рабочей жидкости; взаимозависимости регулировок; засорения каналов гидравлической системы;

3. Сложность настройки в эксплуатации, требующая высокой квалификации обслуживающего персонала;

4. Нарушение настройки канала ограничения подачи топлива по наддуву приводит к неработоспособности тепловоза в целом или снижению качества его работы;

5. В основу системы регулирования положен принцип полного использования свободной мощности дизеля в любых режимах, т.е. система очень быстродействующая, так как срабатывает в темпе изменения внешних нагрузок. Иногда, например, при боксовании это свойство наносит прямой вред, и любое боксование переходит в разносное. Поэтому для защиты от этого явления требуется принятие дополнительных мер (жёсткие динамические характеристики, уравниватели, динамический регулятор напряжения и т.д.).

Реостатные испытания

Реостатные испытания – это заключительный этап капитального или текущего ремонта тепловоза. На заводе кроме реостатных испытаний проводят стендовые испытания дизель-генераторных установок (ДГУ). В локомотивных депо реостатные испытания подразделяются на полные и контрольные. Полные реостатные испытания проводят при выпуске из текущих ремонтов ТР-2 и ТР-3, которые состоят из обкаточных (в течение четырех часов) и сдаточных (в пределах одного часа) испытаний.

Цель обкаточных испытаний – окончательная регулировка параметров ДГУ и аппаратов электрооборудования, а также приработка деталей ДГУ, компрессора, электрических машин, вспомогательного оборудова-

ния. В процессе обкаточных испытаний предусматриваются кратковременные остановки работы дизеля, связанные с проверкой ряда узлов, регулировкой и устранением неисправностей, не требующих разборки.

Цель сдаточных испытаний – сдача всего силового оборудования тепловоза и проведение качественной настройки ДГУ. При сдаточном цикле не допускаются:

- дополнительная регулировка узлов ДГУ и электрооборудования;
- остановка и последующий пуск дизель-генератора, за исключением аварийных случаев.

Результаты реостатных испытаний обязательно фиксируют в журнале реостатных испытаний при выпуске из плановых ремонтов и в книге технического состояния при выпуске из неплановых ремонтов.

Перед постановкой тепловоза на реостатные испытания выполняют ряд подготовительных операций, которые включают в себя экипировку тепловоза, проверку герметичности соединений трубопроводов, измерение сопротивления изоляции цепей электрооборудования и подключение тепловоза к нагружающему устройству.

Для подключения тепловоза к реостатной установке предварительно (со стороны цепей ТЭД), отсоединяют кабели от поездных контакторов и шунта амперметра и вместо них подсоединяют плюсовые и минусовые кабели от пластин реостата. Далее переводят реле заземления в отключенное состояние и посредством штепсельной розетки подключают пульт управления реостата с цепями управления тепловозом (секции).

Перед началом испытаний прогревают системы дизеля, контролируют работу цепей управления и полярность подключения измерительных приборов. Все работы, связанные с подготовительными операциями – пуском дизеля, регулировкой и настройкой сборочных узлов тепловоза, а также их функционированием, выполняются в соответствии с правилами ремонта и руководства по эксплуатации и обслуживанию тепловоза соответствующей серии.

Для нагрузки ДГУ в основном используют водяные реостатные установки с баками 20–30 м³. Такие нагружающие устройства позволяют плавно изменять нагрузку тепловозных ДГУ до 4000 кВт. Типовой водяной реостат состоит из металлического бака, в котором смонтирована группа неподвижных пластин (электродов), а между ними расположены подвижные пластины трапецеидальной формы толщиной 6–10 мм. При этом пластины каждой группы изолированы между собой и относительно корпуса бака.

Изменение нагрузки тягового генератора достигается за счет вертикального перемещения подвижных пластин в среде электролита посредством подъемного устройства, состоящего из электродвигателя, редуктора, полиспаста и тросовой связи с траверсой подвижных пластин. В качестве электролита используют проточную воду с добавлением поваренной соли из расчета 0,3 – 0,5 кг на 1 м³. Вместимость бака, размеры и число пластин реостата зависят от мощности ДГУ тепловоза.

Для обеспечения стабильности нагрузки тягового генератора рекомендуется при проведении реостатных испытаний поддерживать температуру воды в пределах 70 – 80 °С. Такое условие объясняется тем, что общее электрическое сопротивление водяного реостата значительно зависит от температуры воды и содержания в ней естественных солей. Практически температуру воды в баке поддерживают за счет изменения циркуляции проточной воды.

Преимущества жидкостных реостатов заключаются в том, что и них отсутствуют коммутирующие аппараты и они обеспечивают плавное изменение нагрузки при любых режимах работы дизеля. Однако наряду с указанными преимуществами, жидкостные реостаты требуют значительных эксплуатационных затрат, связанных с расходом воды, периодической очисткой бака и заменой электродов (стальных пластин), а также с дополнительными расходами в холодное время года и, главное, жидкост-

ные реостаты практически не позволяют утилизировать тепловую энергию.

На рис. 25 показана расчетная схема модели «дизель – синхронный генератор – выпрямительная установка», работающая на активное сопротивление (водяной бак), а на рис. 26 – схема замещения, которая имеет следующие параметры: $E_{A1}, E_{B1}, E_{C1}, E_{A2}, E_{B2}, E_{C2} = 410 \text{ В}$; $L_f = 40 \text{ мкГн}$; $R_f = 0,00115 \text{ Ом}$; $L_{dc} = 1 \text{ мГн}$

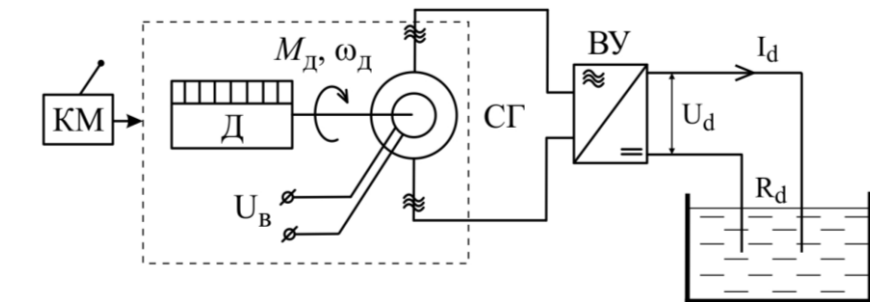


Рис. 25. Расчетная схема модели «дизель – синхронный генератор – выпрямительная установка» применительно к реостатным испытаниям:
 КМ – контроллер машиниста; Д – дизельный двигатель; СГ – синхронный тяговый генератор; ВУ – выпрямительная установка; U_b – напряжение возбуждения генератора; M_d, ω_d – момент и угловая частота дизеля; U_d, I_d, R_d – напряжение, ток, сопротивление в звене постоянного тока

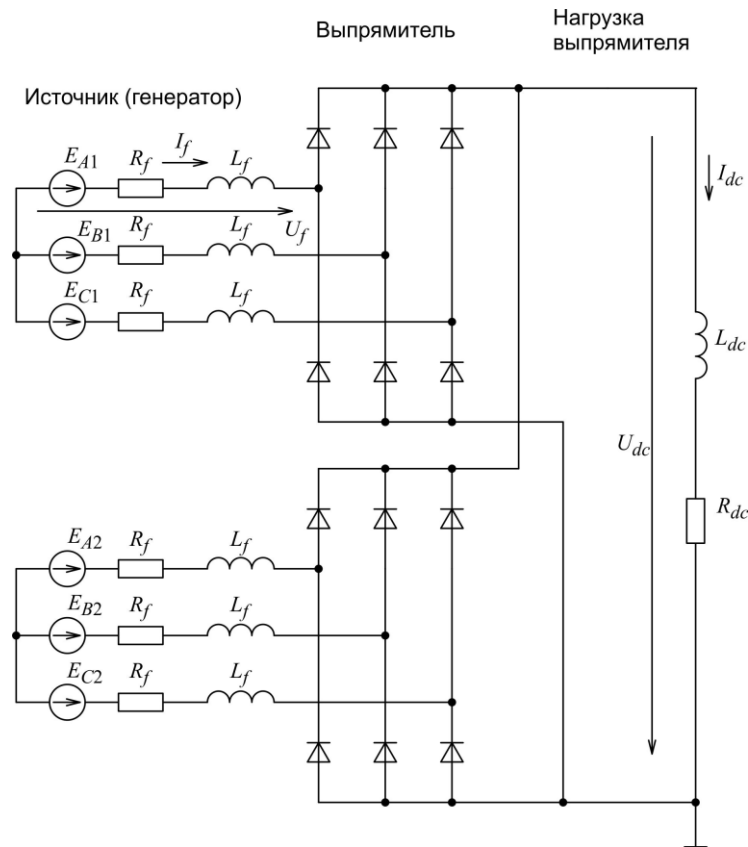


Рис. 26. Схема замещения модели:

E_A, E_B, E_C – ЭДС обмоток статора; R_f – сопротивление фазы обмотки статора; I_f – ток фазы обмотки статора; L_f – индуктивность фазы обмотки статора; U_f – напряжение фазы обмотки статора; U_{dc} – напряжение в звене постоянного тока; $U_{dc}, I_{dc}, L_{dc}, R_{dc}$ – напряжение, ток, индуктивность, сопротивление в звене постоянного тока

Были использованы протоколы реостатных испытаний тепловоза серии 2ТЭ116 №945А от 12.09.2010, проведенных в ТЧР-9 Морозовская СКЖД. В табл. 9 приводятся результаты реостатных испытаний при наборе позиций с первой до пятнадцатой.

Результаты реостатных испытаний

Номер позиции КМ	Число оборотов $n_{\text{диз}}$, об/мин (ω , рад/с)	Тяговый генератор			
		Момент нагрузки M_n , кН*м	Ток по-	Напряжение	Мощность
			сле НВ I_d , А	после НВ U_d , В	
1	353 (36,95)	2,41	955	93	89
2	401 (41,97)	2,86	1124	107	120
3	452 (47,31)	3,95	1418	132	187
4	504 (52,75)	4,53	1607	149	239
5	547 (57,25)	6,27	1985	181	359
6	595 (62,28)	8,13	2376	213	506
7	642 (67,20)	8,90	2580	231	598
8	691 (72,32)	10,48	2926	259	758
9	737 (77,14)	11,65	3189	282	899
10	784 (82,06)	12,53	3404	302	1028
11	826 (86,45)	13,24	3578	320	1145
12	860 (90,01)	14,61	3789	347	1315
13	901 (94,30)	16,04	3961	382	1513
14	945 (98,91)	16,44	4116	395	1626
15	997 (104,35)	17,45	4197	434	1821

На рис. 27 приведено сравнение результатов реостатных испытаний и расчетов по компьютерной модели, где 1 (\square) – зависимость момента нагрузки от позиции контроллера при реостатных испытаниях; 2 – то же при компьютерном моделировании; 3 (Δ) – зависимость мощности от позиции контроллера при реостатных испытаниях; 4 – то же при компьютерном моделировании.

Отметим, что зависимость мощности от позиции контроллера 3 (Δ) на рис. 27 соответствует рабочей зоне дизеля **I** на рис. 23 за вычетом потребления собственных нужд.

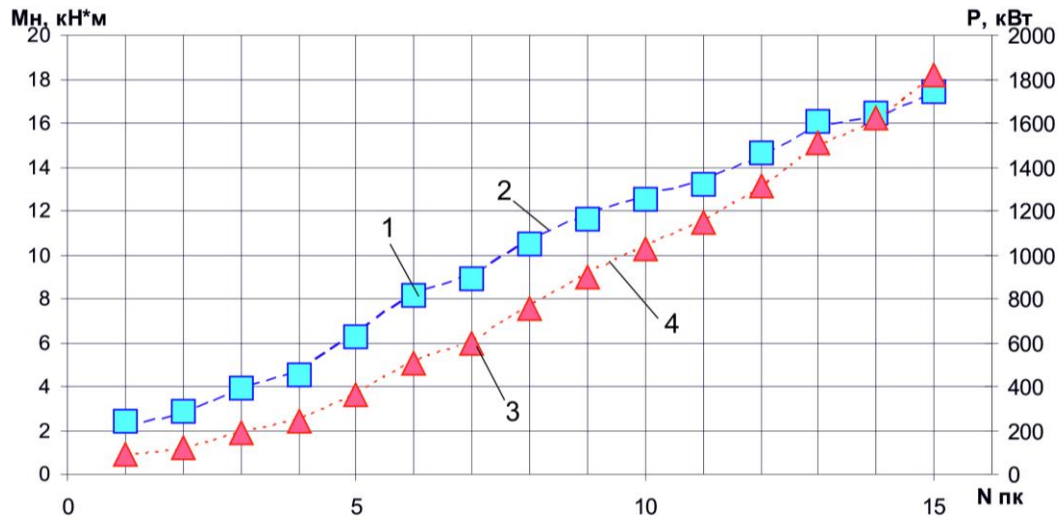


Рис. 27. Сравнение результатов испытаний и расчетов по компьютерной модели: 1, 2 – момент; 3, 4 – мощность

Кроме того, в ходе реостатных испытаний при фиксированной 15-й позиции контроллера (т.е. при постоянной мощности) проводится построение внешней характеристики генератора. Сопротивление R_d изменяется за счет перемещения ножей в баке с водой (см. рис. 25 и 26).

В табл. 10 показаны полученные результаты испытаний, где обозначено U_d , I_d , P – напряжение, ток, мощность в звене постоянного тока.

Таблица 10

Параметры внешней характеристики синхронного генератора на 15-й позиции

Ток после НВ I_d , А	Напряжение после НВ U_d , В	Мощность P , кВт
2000	730	1460
2500	720	1800
3000	610	1830
3500	520	1820
4000	453	1812
4500	400	1800
5000	358	1790
5500	324	1782
6000	295	1770

На рис. 28 показана внешняя характеристика синхронного генератора при работе на 15-й позиции контроллера машиниста, где обозначено: 1 (○) – результаты реостатных испытаний согласно табл. 10; 3 (штрих-пунктирная линия) – результаты моделирования; 2 и 4 – верхняя и нижняя границы зоны допустимых значений.

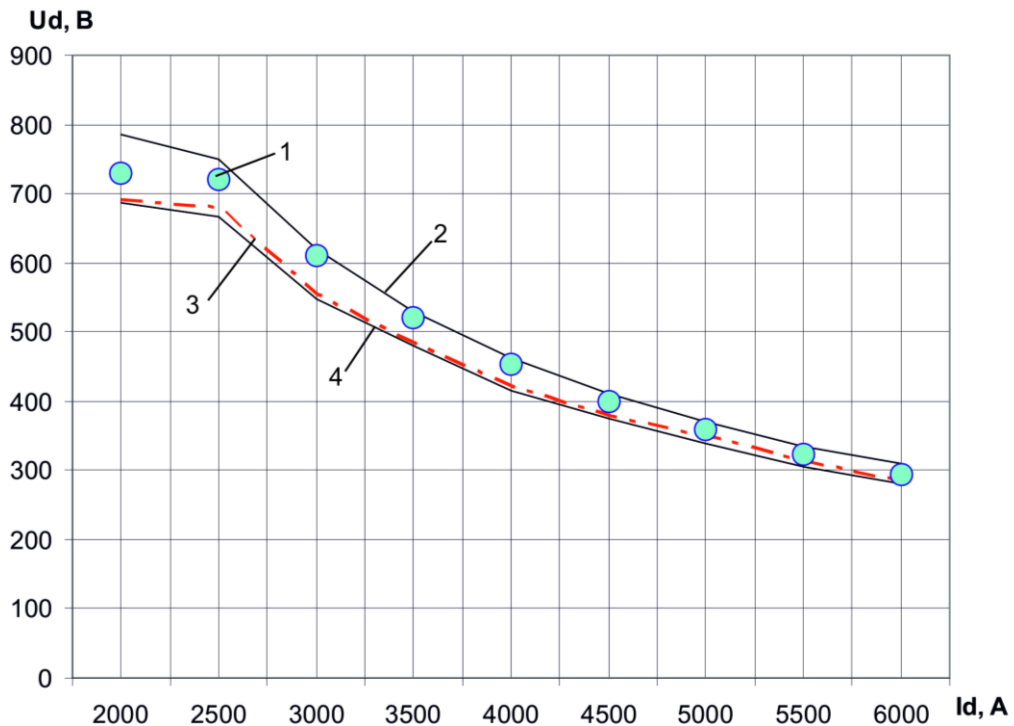


Рис. 28. Внешняя характеристика тягового генератора на 15-й позиции

Различие между результатами реостатных испытаний и компьютерного моделирования не превышает 7,5 %.

Таким образом, можно сделать вывод, что разработанная компьютерная модель адекватно отображает процессы регулирования в подсистеме «дизель – синхронный генератор – выпрямительная установка».

Тяговые электрические машины

Конструкция тяговых генераторов тепловозов. По конструкции тяговые электрические машины тепловозов и электровозов значительно

отличаются от обычных стационарных машин. Это объясняется тем, что в эксплуатации они должны обеспечивать в условиях жестко ограниченного габарита широкий диапазон изменения частоты вращения вала, значительные вращающие моменты, надежно работать в условиях многократных и одиночных ударов, вибрации (неизбежных при движении локомотива) и изменения температуры окружающей среды в широком диапазоне. Внутри тяговых электрических машин через неплотности и выходные отверстия для охлаждающего воздуха может попадать снег (особенно на стоянках), песок и пыль, поэтому конструкция всех узлов должна обеспечивать их герметичность. Все машины тока имеют независимую воздушную систему охлаждения нагнетательного осевого типа.

Тяговые электрические машины должны быть работоспособными на высоте до 1200 м над уровнем моря при температуре окружающего воздуха от минус 50 до плюс 40 °С для умеренного исполнения У, а для особо холодных районов (исполнение УХЛ) – от минус 60 до плюс 40 °С при резких изменениях температуры (на 20–30 °С в течение 2–3 ч), выпадении росы, в запыленном, влажном воздухе и др.

Электрические машины должны развивать большую мощность на единицу массы и объема по сравнению с машинами общего назначения. Конструкция, технология изготовления, используемые материалы должны обеспечивать продолжительную безотказную работу при больших перегрузках, различных загрязнениях и попадании влаги, снега внутрь их в определенных количествах. Они должны быть ремонтпригодными в эксплуатации. Поэтому основные детали тяговых электрических машин при исполнении имеют ряд особенностей. Обмотки выполняют с классами нагревостойкости изоляции Н и F (более раннего изготовления класса В), обеспечивающими высокую нагревостойкость и влагостойкость. С целью повышения электрической и механической прочности, долговечности и монолитности изолированные обмотки машин, расположенные на сердеч-

никах, пропитывают в терморезактивном лаке и запекают. Открытые поверхности обмоток и других деталей машин покрывают электроизоляционной эмалью и сушат при высокой температуре.

Для усиления корпусной изоляции в пазах сердечников якорей и статоров производят выстилку пазов пленочной стеклотканью. Лобовые части обмоток якорей в большинстве случаев закрепляют бандажами, выполненными из высокопрочной и теплостойкой стеклобандажной ленты, пропитанной терморезактивным лаком.

Все тяговые машины имеют воздушное охлаждение, используя в основном независимую нагнетательную вентиляцию.

Сердечники якорей и статоров набирают из листов электротехнической стали, обладающей высокой магнитной проницаемостью. Для предохранения в эксплуатации от “распушения” и излома крайних листов сердечники имеют сварные по зубцам концевые пакеты или нажимные пальцы.

Для обеспечения надежного токосъема коллекторы изготавливают с высокой точностью расположения пластин по окружности и вдоль оси. Пластины изготавливают из меди, легированной кадмием или серебром, они имеют повышенную твердость и точность профиля. Петушки коллектора тяговых генераторов могут быть жесткими и гибкими. Жесткие петушки выполняют из профиля пластины и припаивают к ней твердым (медно-фосфористым) припоем. При большой разности диаметров якоря и коллектора применяют гибкие петушки, которые изготавливают из медной ленты. Петушки коллектора тяговых электродвигателей вырубает заодно с пластиной.

Щеткодержатели размещают точно относительно оси и рабочей поверхности коллекторных пластин и надежно прикрепляют к кронштейнам или бракетам. Постоянное нажатие на щетки обеспечивается использованием рулонных пружин из специальной ленты.

Предупреждение излома выводов катушек и межкатушечных соединений в эксплуатации обеспечивается изготовлением выводов катушек главных полюсов из уголкового медного профиля, а у добавочных полюсов подпором (усилением) выводов стальными пластинами. В синхронных тяговых генераторах используют многослойные гибкие выводы. Межкатушечные соединения выполняют из гибких кабелей или шинной меди в несколько слоев.

Для создания хороших, стабильных контактных соединений токоведущих частей используют тугоплавкие и вибростойкие серебросодержащие и латунные припои, луженые поверхности. В ответственных соединениях применяют болты из легированной стали, пружинные стопорные шайбы и др.

Несущие детали, сборочные литые и сварные единицы изготавливают из высококачественной стали с улучшенной термической и механической обработкой. Соединение деталей путем посадок производят с повышенными натягами.

Подшипники качения выполняют по специальным техническим условиям для железнодорожного подвижного состава и смазывают консистентной смазкой, сохраняющей смазывающие свойства при длительной работе подшипников с изменением температуры от -60 до $+120$ °С.

Тяговые генераторы постоянного тока

На тепловозах тяговый генератор соединен с дизелем одним из двух возможных способов. При первом способе станина генератора жестко соединена с картером дизеля, а корпус якоря – с коленчатым валом. Кроме того, станина имеет лапы, которыми опирается на поддизельную раму. Вследствие того что магнитная система и якорь закреплены независимо и жестко, для получения минимальных биений цилиндрической поверхности коллектора по отношению к щеткодержателям вал центрируется в щите сферическим подшипником. Нагрузка на этот роликоподшипник опре-

деляется несоосностью якоря и магнитной системы с щеткодержателями. Так соединены тяговые генераторы с дизелями типов Д50, ПД1М на тепловозах серий ТЭ1, ТЭ2, ТЭМ1, ТЭМ2.

Второй способ предусматривает соединение вала якоря тягового генератора через полужесткую муфту с коленчатым валом дизеля. Станина тягового генератора опирается лапами на поддизельную раму. На тепловозах ТЭ3, ТЭ7, ТЭ10 (всех модификаций), с дизелями типа Д100, 2М62 (с дизелем 14Д40), ТЭ40 (с дизелем Д70), ТЭП60 (с дизелем 11Д45), ТЭ109, V300, 2ТЭ116, 2ТЭ121 (с дизелем Д49) используется этот способ соединения.

Синхронные тяговые генераторы

В приемлемых для локомотива габаритах тяговый синхронный генератор может быть выполнен для тепловозов секционной мощностью до 7500 кВт.

Синхронный генератор более надежен из-за отсутствия коллекторно-щеточного аппарата и сложной, легкоуязвимой изоляции на вращающейся части машины. Мощность, передаваемая на ротор, составляет не более 1,5% мощности генератора; резко уменьшается трудоемкость при ремонтах.

Увеличиваются электромагнитные нагрузки вследствие исключения проблемы коммутации. Снижается масса генератора в основном за счет уменьшения расходов особо дорогостоящих материалов: электротехнической стали и меди.

Стоимость тягового генератора снижается потому, что уменьшается расход цветного металла и электротехнической стали, снижается трудоемкость вследствие упрощения конструкции. Частота вращения вала синхронного генератора может быть более высокой, чем у генератора постоянного тока, что позволяет снизить массу дизель-генератора.

Тяговый синхронный генератор ГС501А (рис. 29) представляет собой явнополусную машину с двумя трехфазными обмотками 7 на статоре, сдвинутыми на 30° эл. В генераторе применена независимая осевая система охлаждения с поступлением воздуха извне и очисткой его специальными фильтрами. Подача воздуха осуществляется сверху со стороны привода, а выброс – через боковые патрубки щита. Расход охлаждающего воздуха 4,45 м³/с при напоре не более 1,5 кПа.

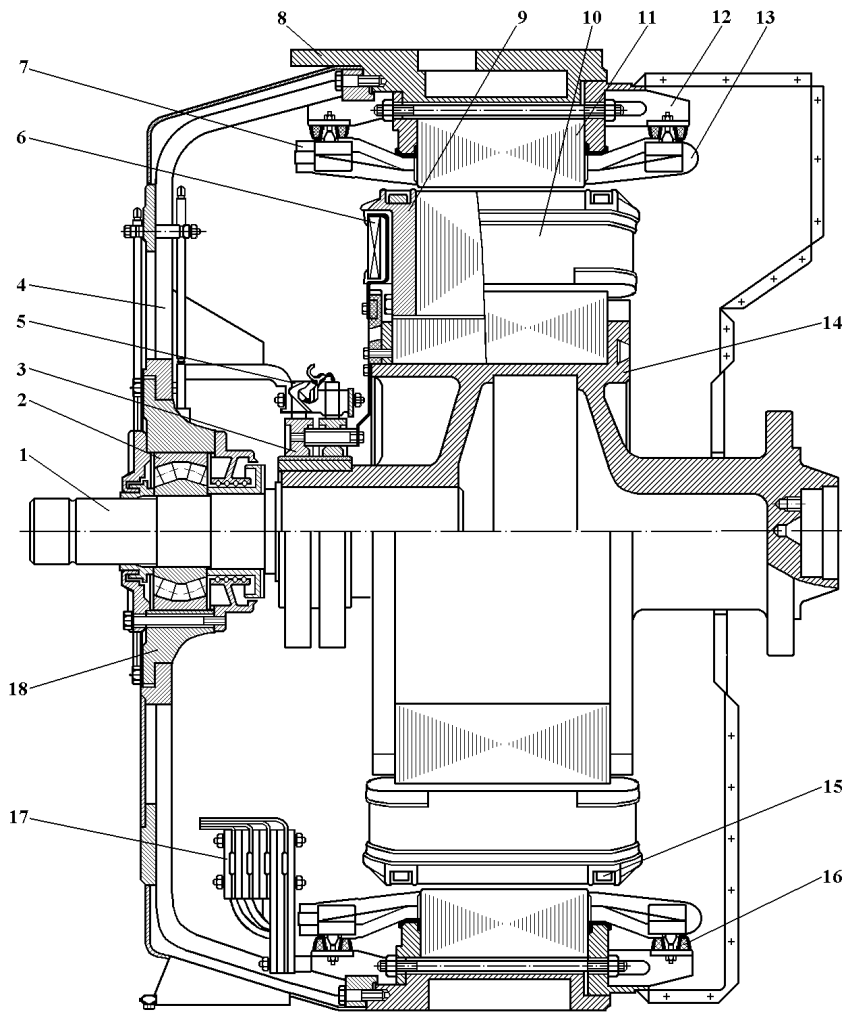


Рис. 29. Тяговый синхронный генератор ГС501А

Корпус ротора 14 синхронного генератора сварной, выполнен по типу корпуса якоря тягового генератора ГП311Б, т. е. имеет безвальную конструкцию. С одного конца в цилиндрическую часть корпуса (бочку) вварена литая стальная втулка, на которой монтируют токосъемные кольца 3 и подшипник 2, с другого вварен фланец для соединений с коленчатым ва-

лом дизеля призонными болтами. На корпусе ротора расположен индуктор (магнитопроводное ярмо) из листовой стали со штампованными пазами для крепления полюсов. Листы обода стянуты нажимными шайбами. Сердечники полюсов 10 набраны из отдельных листов электротехнической стали толщиной 1,4 мм марки 0,8кп, стянутых между собой при помощи нажимных шайб, шпилек и гаек.

Тяговый генератор имеет 12 полюсов, прикрепляемых к индуктору ротора при помощи клиновидных шпонок в трапецеидальных пазах (крепление типа ласточкина хвоста”). Катушки полюсов 6 выполнены из шинной меди 1,35X25 мм, намотанной на узкое ребро, и закреплены на полюсе при помощи заливки эпоксидным компаундом, который служит также изоляцией катушки от корпуса. Класс изоляции F, типа “Монолит-2”, число витков на полюс 66. Сопротивление обмотки при температуре 20°C 0,458 Ом. Все катушки соединены последовательно. Начало и конец обмотки возбуждения выведены на стальные контактные кольца и присоединены к ним шпильками с гайками. Полюсы имеют успокоительную (демпферную) обмотку 15, выполненную из восьми медных или стальных стержней диаметром 12 мм, соединенных по концам дугами с помощью пайки латуной. Стержни вложены в специальные пазы, расположенные в полюсном башмаке. Успокоительная обмотка предназначена для уменьшения потерь и перенапряжений, возникающих при аварийных режимах.

Щетки марки ЭГ-4 (размер 25×32×64 мм), помещенные в латунные щеткодержатели 5, подводят ток от возбuditеля (или специальной обмотки) к обмотке возбуждения.

Генератор имеет один сферический радиальный роликовый подшипник 2, расположенный в торцовом щите сварной конструкции. В подшипниковом щите имеется выемная ступица (капсула) 18, обеспечивающая замену подшипника без снятия генератора. Станина 8 сварная, выполнена так, чтобы при заданном внешнем диаметре статора получить максимальный момент инерции и минимальную массу.

В станине собирается сердечник статора 11 из сегментов электротехнической стали, которые стягиваются при помощи шпилек и нажимных шайб. Нажимные шайбы и обмоткодержатели изготовлены из стального проката. Сердечник статора набран из листов электротехнической стали 1513 толщиной 0,5 мм; имеет 144 паза и 120 вентиляционных отверстий диаметром 27 мм. От “распушения” зубцы сердечника статора предохраняются нажимными пальцами. Обмотка статора двухслойная, волновая, стержневая. Шаг по пазам $1 - 13 - 25$. Сопротивление одной фазы при 20°C составляет 0,0011 Ом. Обмотка выполнена из медного изолированного провода размером 2,1×9,3 мм и уложена в пазы. Изоляция обмотки класса Н. Пайка катушек между собой и к выводным шинам производится серебряным припоем. Концы катушек обмотки соединены медными гильзами (хомутами) и закрыты от попадания грязи, пыли прессованными изоляционными коробочками.

Обмотки в пазах закреплены пластмассовыми клиньями, лобовые части – специальными колодками, притянутыми к изолированным кольцам, укрепленным на ребрах нажимных шайб. Генератор имеет шесть выводов фаз 17, два вывода от нулевых точек обмоток статора и два вывода от обмотки полюсов ротора

Синхронный генератор допускает превышение частоты вращения в аварийных режимах до 19 с^{-1} . Срок службы изоляции до полной замены устанавливается для статора 1,2 млн км, для ротора – 1,5 млн км, в перспективе для статора и ротора – до 2,5 млн км. Срок службы синхронного тягового генератора 25 лет.

13 «МОДЕЛИРОВАНИЕ И ДИНАМИКА СИСТЕМ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА» («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.

Математическое моделирование динамики подвижного состава

Современные методы компьютерного моделирования задач динамики подвижного состава

Формальный метод Ньютона – Эйлера

Механическая часть локомотивов, электропоездов, вагонов 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 пассажир-

ских 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 единственным 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 $\vec{e}^{(0)}$) 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 $\underline{\vec{F}}_i^{\text{act}}$ и $\underline{\vec{M}}_i^{\text{act}}$. 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 электрического 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:

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

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:

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

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

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 следующим ориентированным графом (рис. 1):

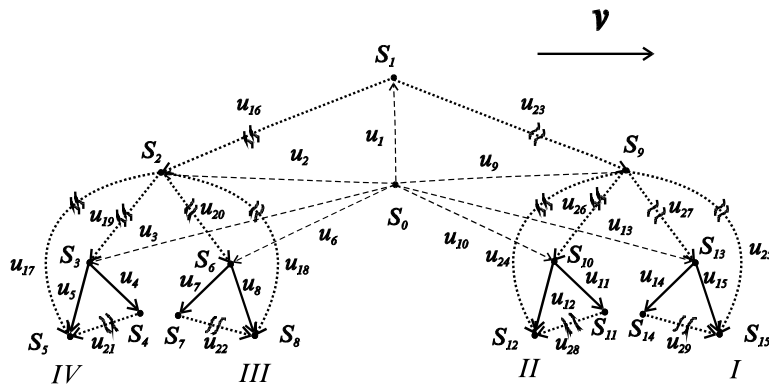


Рис. 1. Ориентированный граф

Работа с пакетом «Универсальный механизм»

Тележка состоит из рамы и двух колесномоторных 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. 2).

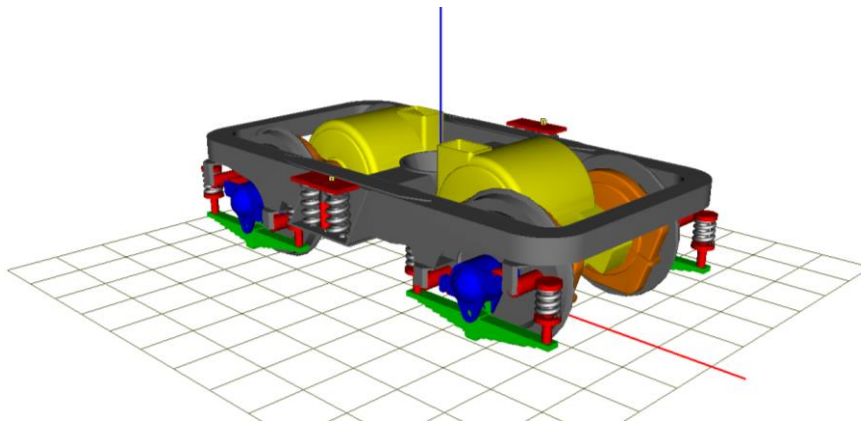


Рис. 2. Модель тележки

Затем создается модель секции электровоза (рис. 3).

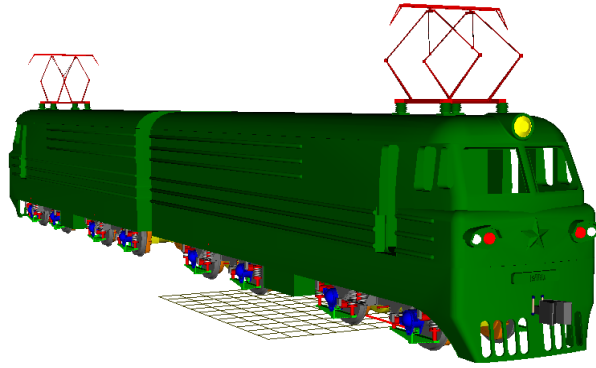


Рис. 3. Модель секции элетровоза

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».

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 (4).

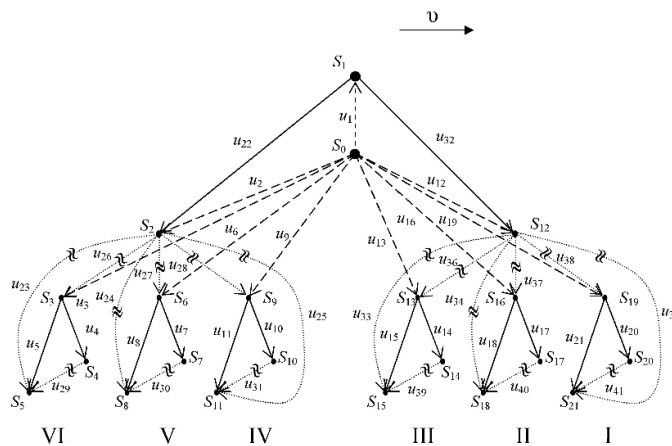


Рис. 4. Ориентированный граф

Работа с пакетом «Универсальный механизм»

Тележка состоит из рамы и трех колесномоторных 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. 5).

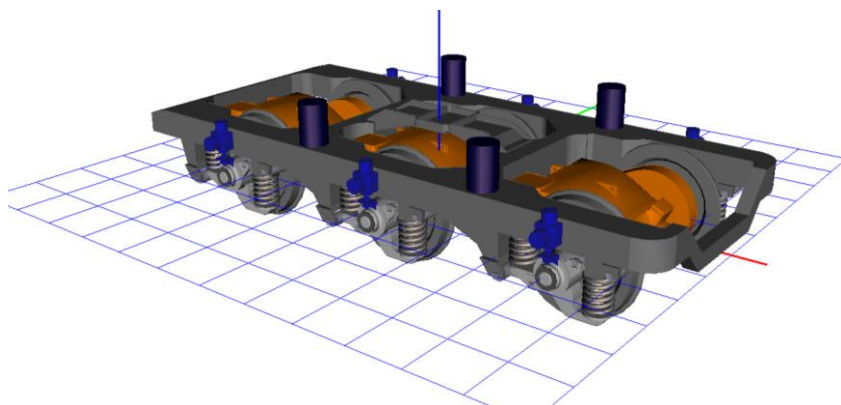


Рис. 5. Модель тележки

Затем создается модель секции тепловоза (рис. 6).

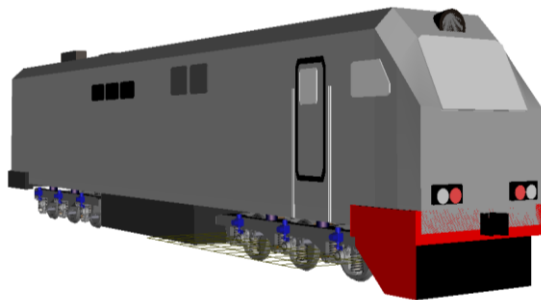


Рис. 6. Модель секции тепловоза

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».

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. 7).

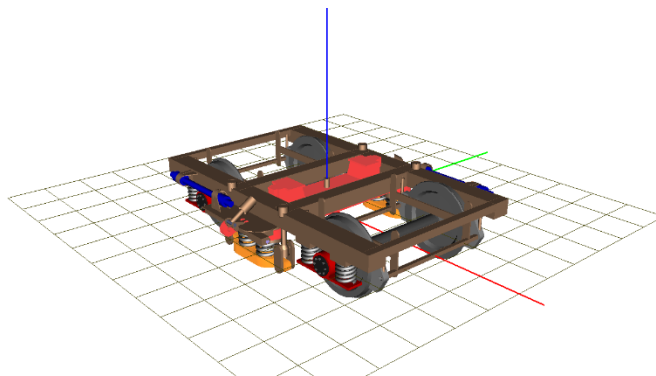


Рис. 7. Модель тележки

Затем создается модель вагона (рис. 8).

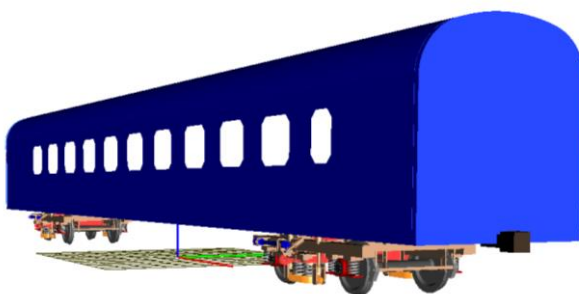


Рис. 8.
Модель вагона

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».

Математическое моделирование электрической части подвижного состава

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 си-

стемы твердых тел, соединенных упругими и диссипативными элементами (о чем говорилось в первых четырех лекциях настоящего курса).

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.

Дифференциальные уравнения переходных процессов в электрических цепях

Основные соотношения, необходимые для построения математических моделей электрической части подвижного состава, изложены в курсе «Теоретические основы электротехники». На лекции дается только сводка основных формул с кратким комментарием.

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 т.п. 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 неограниченные 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.

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. 9).

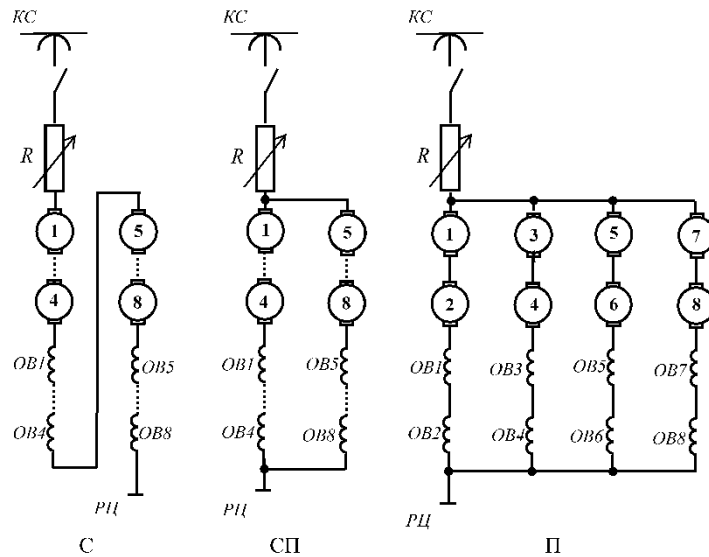


Рис. 9. Последовательное (С), последовательно-параллельное (СП) и параллельное (П) соединение ТЭД:

$ОВ$ – 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 $U = U_{кc} / 8 = 375$ В, и через каждый двигатель протекает полный ток, потребляемый электровозом из контактной сети: $I_a = I_{кc}$. В результате на малой скорости движения создается большой тяговый момент, см. (1).

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

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

Работа с пакетом «Матлаб-Симулинк»

Модель электрической машины постоянного тока (рис. 10).

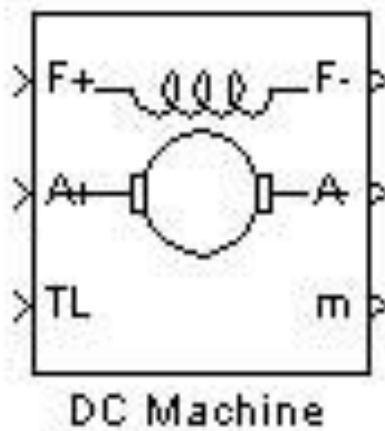


Рис. 10. Пиктограмма

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. 11.

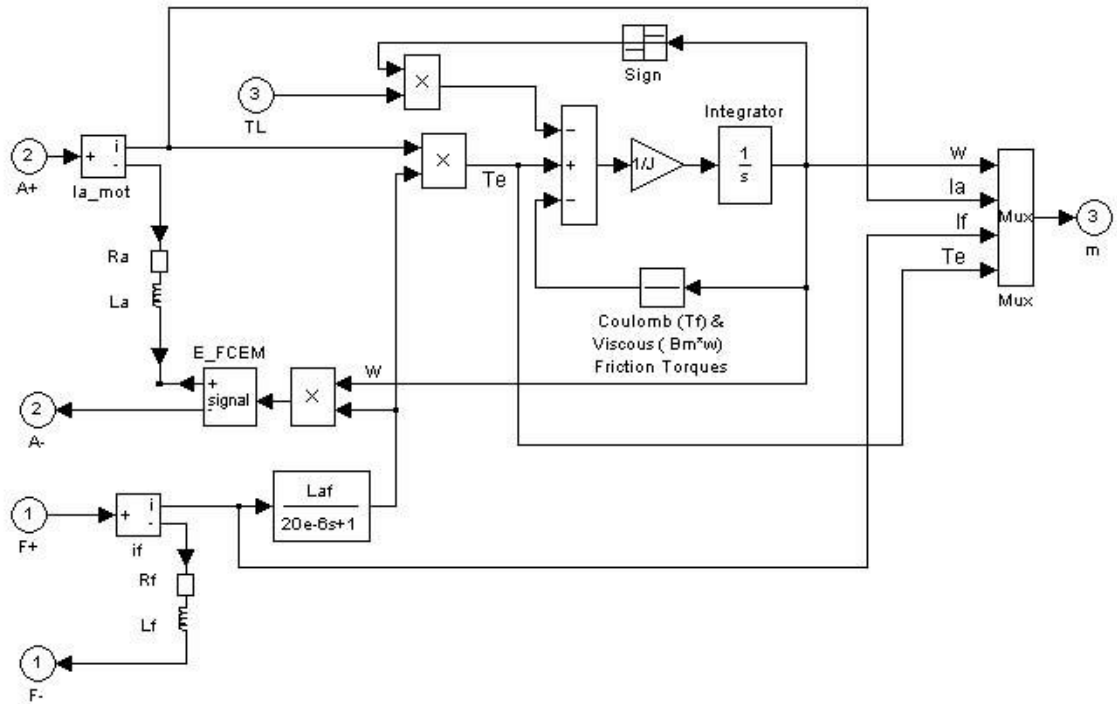


Рис. 11. Схема модели машины постоянного тока

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

**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. 12.

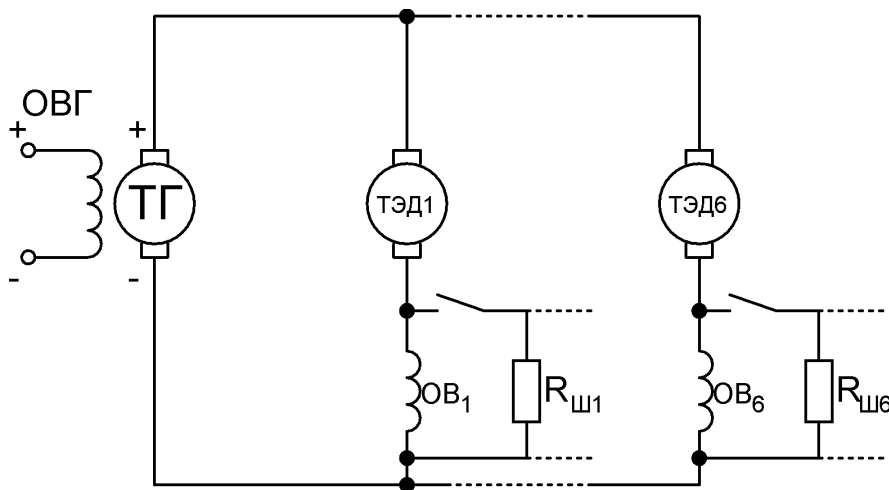


Рис. 12 Принципиальная схема электрической передачи постоянного тока
(параллельное соединение ТЭД):

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.

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).

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. 13). Расчетные параметры генератора: мощность – 16 кВт; диапазон частоты вращения 380...2400 об/мин; вырабатываемое напряжение – 537 ± 20 В; род тока – постоянный; КПД – не менее 90 %.



Рис. 13. ВИГ разработки
РГУПС

Рассмотрены способы его установки на подвижном составе, дана принципиальная схема его подключения (рис. 14).

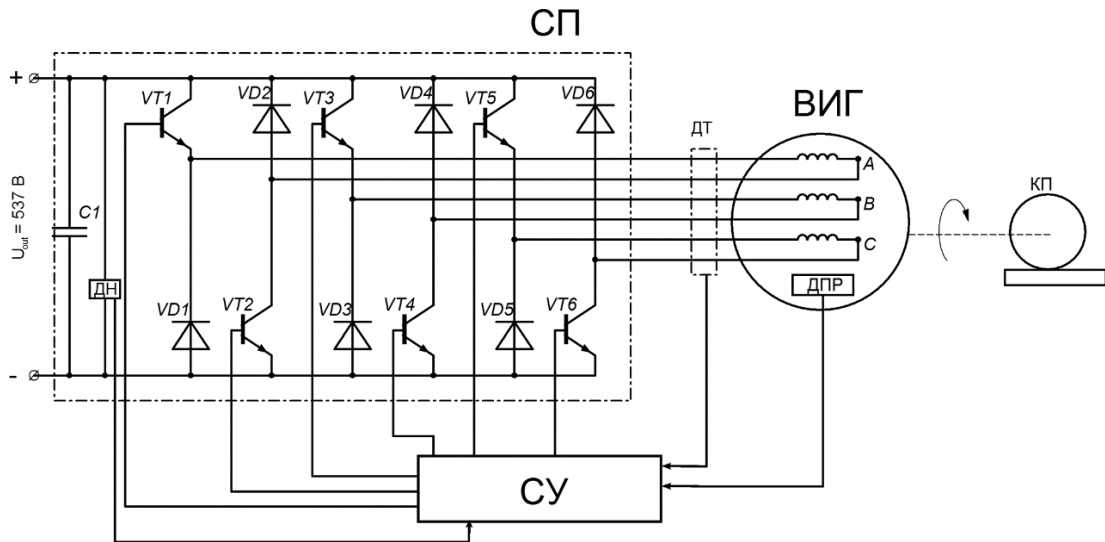


Рис. 14. Принципиальная схема трехфазного ВИГ

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. 15).

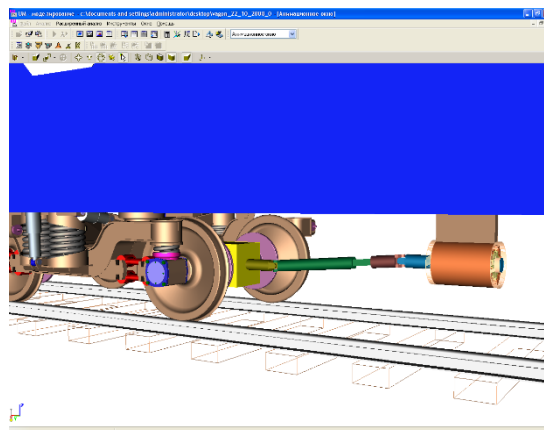


Рис. 15. Компьютерная модель «вагон – подвагонный ВИГ»

Учебное издание

Шапшал Александр Сергеевич
Талахадзе Темур Зурабович
Жулькин Михаил Николаевич
Коротков Вячеслав Михайлович
Шапшал Сергей Александрович
Больших Иван Валерьевич
Донченко Андрей Владимирович
Зарифьян Александр Александрович
Богославский Александр Евгеньевич
Гребенников Николай Вячеславович
Зарифьян Александр Александрович (мл.)
Илларионов Алексей Викторович

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

Печатается в авторской редакции
Технический редактор Т.И. Исаева

Подписано в печать 29.12.17. Формат 60×84/16.
Бумага газетная. Ризография. Усл. печ. л. 14,64.
Тираж экз. Изд. № 90859. Заказ .

Редакционно-издательский центр ФГБОУ ВО РГУПС.

Адрес университета: 344038, г. Ростов н/Д, пл. Ростовского Стрелкового
Полка Народного Ополчения, д. 2