

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

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС СПЕЦИАЛИЗАЦИИ № 1
«ЛОКОМОТИВЫ»

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



Ростов-на-Дону
2017

УДК 629.41(07) + 06

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

Учебно-методический комплекс специализации «Локомотивы»: сборник учебно-методического материала для самостоятельной работы и практических занятий студентов по дисциплинам кафедры «Локомотивы и локомотивное хозяйство» / под ред. А.С. Шапшала; ФГБОУ ВО РГУПС. – Ростов н/Д, 2017. – 356 с.: ил.

Сборник содержит учебно-методический материал для самостоятельной работы и практических занятий студентов по дисциплинам, читаемым кафедрой «Локомотивы и локомотивное хозяйство».

Предназначен для студентов железнодорожных вузов, обучающихся по специальностям: 23.05.03 «Подвижной состав железных дорог», для всех специализаций: «Локомотивы», «Электрический транспорт», «Вагоны», «Высокоскоростной наземный транспорт», «Технология производства и ремонта подвижного состава», всех форм обучения, а также специальности 23.05.04 «Эксплуатация железных дорог», всех специализаций: «Грузовая и коммерческая работа», «Магистральный транспорт», «Пассажирский комплекс железнодорожного транспорта», «Транспортный бизнес и логистика», всех форм обучения. Учебно-методические разработки, включенные в данный сборник, написаны в соответствии с учебными планами.

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

© Колл. авт., 2017

© ФГБОУ ВО РГУПС, 2017

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|---|-----|
| 1 «Автоматика и автоматизация локомотивов» («Автоматизация управления локомотивами», «Спецкурс № 1») | 4 |
| 1.1 Методические указания для практических занятий | 4 |
| 2 «Двигатели внутреннего сгорания локомотивов», Энергетические установки и оборудование подвижного состава («Локомотивные энергетические установки») | 29 |
| 2.1 Методические указания для практических занятий и выполнения индивидуального задания (курсовой проект, курсовая работа, расчетно-графическая работа) | 29 |
| 3 «Общий курс подвижного состава и железных дорог (Часть 3)» («Подвижной состав железных дорог (Часть 3)») | 43 |
| 3.1 Методические указания к практическим занятиям и выполнению курсовой работы | 43 |
| 4 Теория и конструкция локомотивов | 54 |
| 4.1 Методические указания к практическим занятиям и к выполнению курсового проекта (курсовой работы) | 54 |
| 5 «Теория тяги поездов», «Подвижной состав и тяга поездов» | 82 |
| 5.1 Методические указания к практическим занятиям и курсовому проекту (курсовой работе) | 82 |
| 6 «Организация производства на железнодорожном транспорте» («Организация производства») | 123 |
| 6.1 Методические указания к практическим занятиям | 123 |
| 6.2 Методические указания к выполнению расчетно-графической работы | 147 |
| 7 «Локомотивное хозяйство» | 172 |
| 7.1 Методические указания к практическим занятиям и выполнению курсового проекта (курсовой работы) | 172 |
| 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») | 185 |
| 8.1 Методические указания к практическим занятиям | 185 |
| 9 «Эксплуатация и техническое обслуживание подвижного состава (Часть 2)» | 200 |
| 9.1 Методические указания к практическим занятиям и выполнению индивидуального задания (курсовая работа, расчетно-графическая работа) .. | 200 |
| 10 «Системы менеджмента качества в локомотивном хозяйстве», «Системы менеджмента качества при производстве и ремонте подвижного состава» | 214 |
| 10.1 Методические указания к практическим занятиям и выполнению индивидуального задания (расчетно-графическая работа) | 214 |
| 11 «Правила технической эксплуатации» | 249 |
| 11.1 Методические указания к практическим занятиям | 249 |
| 12 «Электрическое оборудование локомотивов» («Спецкурс № 2», «Электрические аппараты и схемы локомотивов») | 261 |
| 12.1 Методические указания к практическим занятиям и выполнению индивидуального задания (расчетно-графическая работа) | 261 |
| 13 «Электрические передачи локомотивов» | 274 |
| 13.1 Методические указания к практическим занятиям и выполнению индивидуального задания (курсовая работа) | 274 |
| 14 «Моделирование и динамика систем подвижного состава» («Математическое моделирование систем подвижного состава») | 344 |
| 14.1 Методические указания к практическим занятиям | 344 |

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

1.1 Методические указания для практических занятий

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.

Построены и проходят эксплуатационные испытания отечественные тепловозы, оборудованные комплексными устройствами автоматики регулирования мощности дизель-генераторов и режимов реостатного торможения (ТЭП70, ТЭП75, 2ТЭ116, 2ТЭ130, 2ТЭ121 и др.). Поступили в эксплуатацию маневровые тепловозы ЧМЭЗМ, устройства которых обеспечивают автоматическое поддержание заданной скорости ведения поезда как при маневровой, так и при вывозной работе. Проводится также модернизация ранее выпущенных тепловозов с целью повышения надежности работы различных защитных устройств (от боксования, замыканий на корпус силовых цепей, круговых огней тяговых электродвигателей и др.).

Основной задачей курса «Автоматика и автоматизация тепловоза» является изучение принципов построения схем автоматизации регулирования и управления тепловозом, различных систем защиты от аварийных режимов, методики их настройки для работы тепловоза в оптимальных режимах.

Кроме рекомендованных учебных пособий, целесообразно при изучении курса и выполнении настоящей контрольной работы ознакомление с такими периодическими изданиями, как журналы «Электрическая и тепловозная тяга», «Железнодорожный транспорт», реферативные сборники «Электротехническая промышленность» (серия «Тяговое и подъемно-транспортное оборудование») и др.

Цель настоящей работы – помочь студенту в изучении теоретических разделов и методики разработки конструктивных схем различных устройств автоматики, применяемых на современных тепловозах.

ЗАДАНИЕ НА РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКУЮ РАБОТУ

Варианты заданий

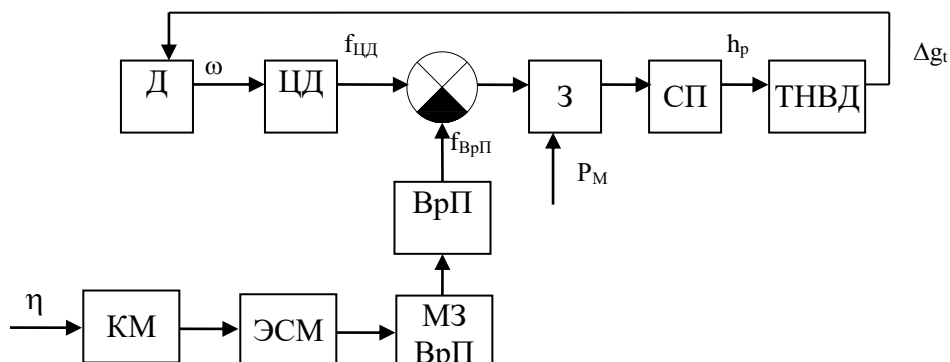
| № | Задание | Узел автоматики |
|---|---|--|
| 1 | 2 | 3 |
| 1 | САР РЧО дизель-генераторной установки тепловоза 2ТЭ116 | Индуктивный датчик |
| 2 | САЗ от боксования тепловоза 2ТЭ10М | Реле боксования |
| 3 | САР напряжения вспомогательного генератора тепловоза 2ТЭ10М | Вспомогательный генератор тепловоза 2ТЭ10М |
| 4 | САР напряжения вспомогательного генератора тепловоза ТЭП70 | Вспомогательный генератор тепловоза ТЭП70 |
| 5 | САР напряжения вспомогательного генератора тепловоза 2ТЭ116 | Вспомогательный генератор тепловоза 2ТЭ116 |
| 6 | САР полем ТЭД тепловоза 2ТЭ10М | Реле перехода тепловоза 2ТЭ10М |

| 1 | 2 | 3 |
|----|--|---|
| 7 | САР полем ТЭД тепловоза ЧМЭЗ | Реле перехода тепловоза ЧМЭЗ |
| 8 | САР температуры теплоносителей тепловоза 2ТЭ116 | Термодатчик тепловоза 2ТЭ116 |
| 9 | САР напряжения тягового генератора тепловоза 2ТЭ116 | Тяговый генератор тепловоза 2ТЭ116 |
| 10 | САЗ от боксования тепловоза 2ТЭ116 | Реле боксования тепловоза 2ТЭ116 |
| 11 | САР напряжения тягового генератора тепловоза ТЭП70 | Тяговый генератор тепловоза ТЭП70 |
| 12 | САЗ от боксования тепловоза ТЭП70 | Реле боксования тепловоза ТЭП70 |
| 13 | САР напряжения тягового генератора тепловоза ЧМЭЗ | Тяговый генератор тепловоза ЧМЭЗ |
| 14 | САР температуры теплоносителей тепловоза ЧМЭЗ | Термодатчик тепловоза ЧМЭЗ |
| 15 | САР РЧО дизель-генераторной установки тепловоза 2ТЭ10М | Индуктивный датчик тепловоза 2ТЭ10М |
| 16 | САР РЧО дизель-генераторной установки тепловоза ТЭП70 | Индуктивный датчик тепловоза ТЭП70 |
| 17 | САР РЧО дизель-генераторной установки тепловоза ЧМЭЗ | Сервомотор РЧО тепловоза ЧМЭЗ |
| 18 | САР температуры теплоносителей тепловоза 2ТЭ10М | Термодатчик тепловоза 2ТЭ10М |
| 19 | САР температуры теплоносителей тепловоза ТЭП70 | Термодатчик тепловоза ТЭП70 |
| 20 | САР РЧО дизель-генераторной установки тепловоза ТЭМ2 | Механизм привода рейки РЧО тепловоза ТЭМ2 |
| 21 | САР температуры теплоносителей тепловоза ТЭМ2 | Термодатчик тепловоза ТЭМ2 |
| 22 | САР напряжения тягового генератора тепловоза 2ТЭ10 | Тяговый генератор тепловоза 2ТЭ10 |
| 23 | САР полем ТЭД тепловоза 2ТЭ116 | Реле перехода тепловоза 2ТЭ116 |
| 24 | САЗ от боксования тепловоза ЧМЭЗ | Реле боксования тепловоза ЧМЭЗ |

Необходимо в соответствии с заданием привести схему автоматического управления (регулирования, защиты) заданного узла и сопоставить ей функциональную схему.

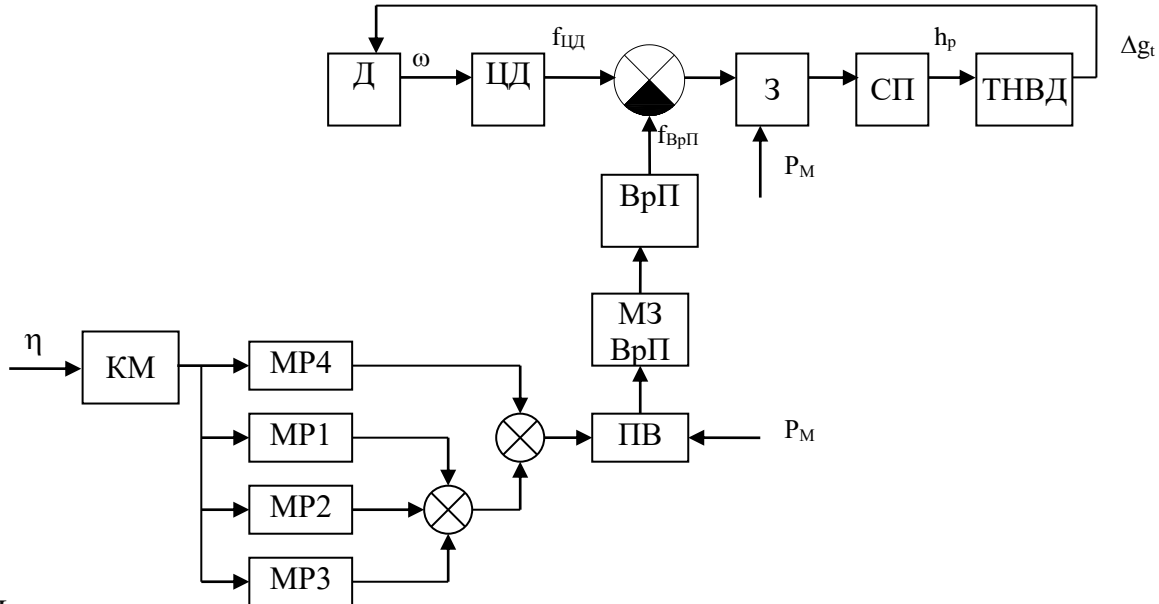
Варианты функциональных схем тепловозных систем автоматики

САР регулирования частоты вращения коленвала дизеля тепловоза ЧМЭЗ



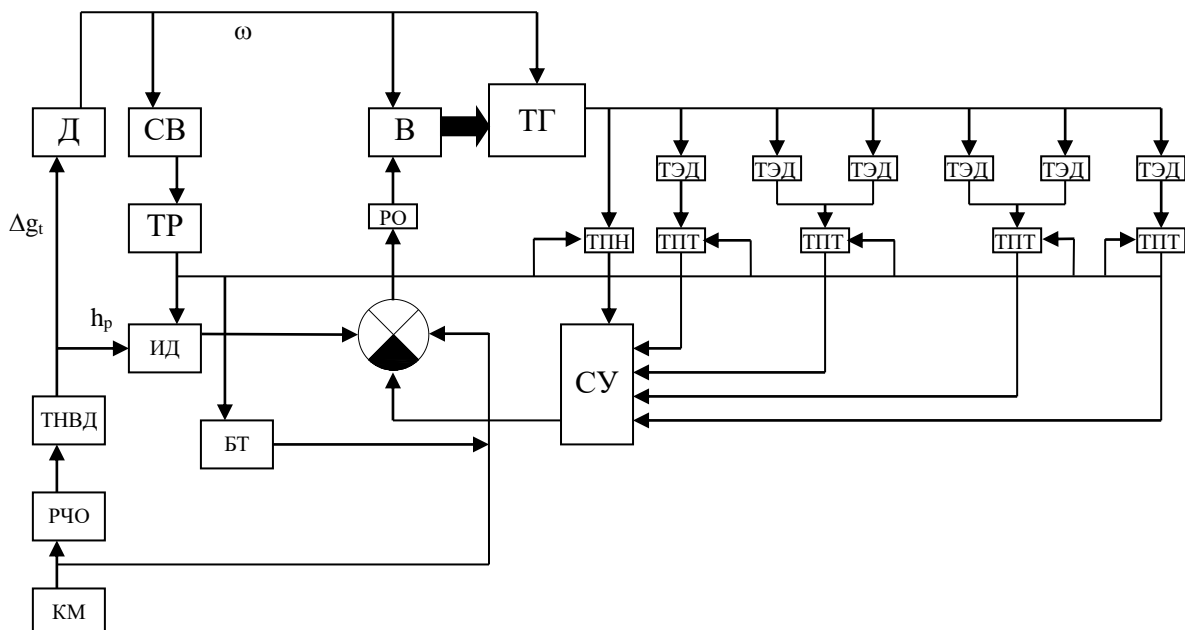
Д – дизель; ЦД – центробежный датчик; ВрП – всережимная пружина; З – золотник; СП – сервопривод; ТНВД – топливный насос высокого давления; МЗ ВрП – механизм затяжки всережимной пружины; ЭСМ – электросервомотор; КМ – контроллер машиниста

САР регулирования частоты вращения коленвала дизеля тепловоза 2ТЭ116



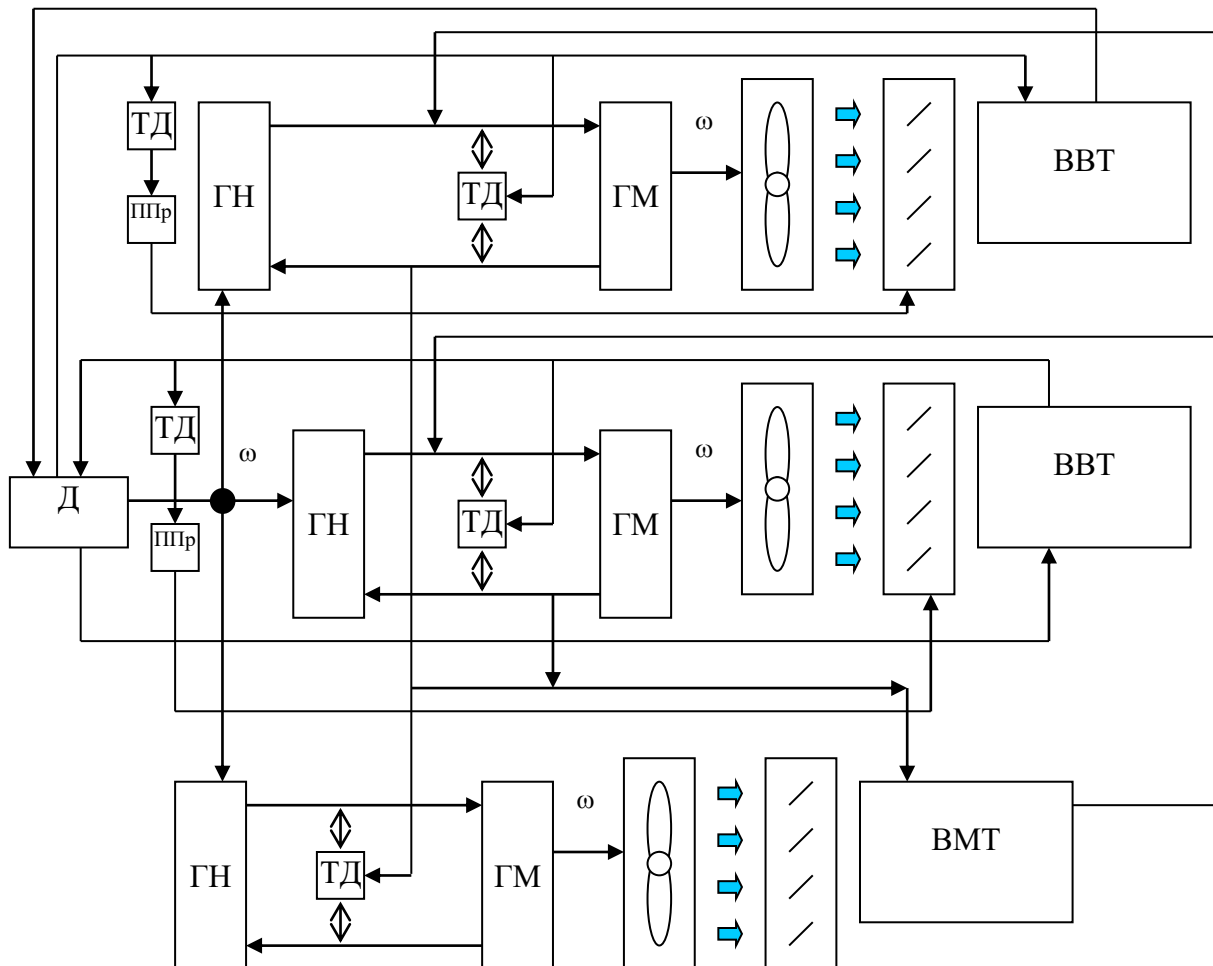
Д – дизель
 ЦД – центробежный датчик
 ВрП – всережимная пружина
 З – золотник
 СП – сервопривод
 ТНВД – топливный насос высокого давления
 МЗ ВрП – механизм затяжки всережимной пружины
 MP1 ... MP4 – тяговые магниты РЧО
 КМ – контроллер машиниста
 ПВ – подвижная втулка

САР напряжения тягового генератора тепловоза 2ТЭ10М



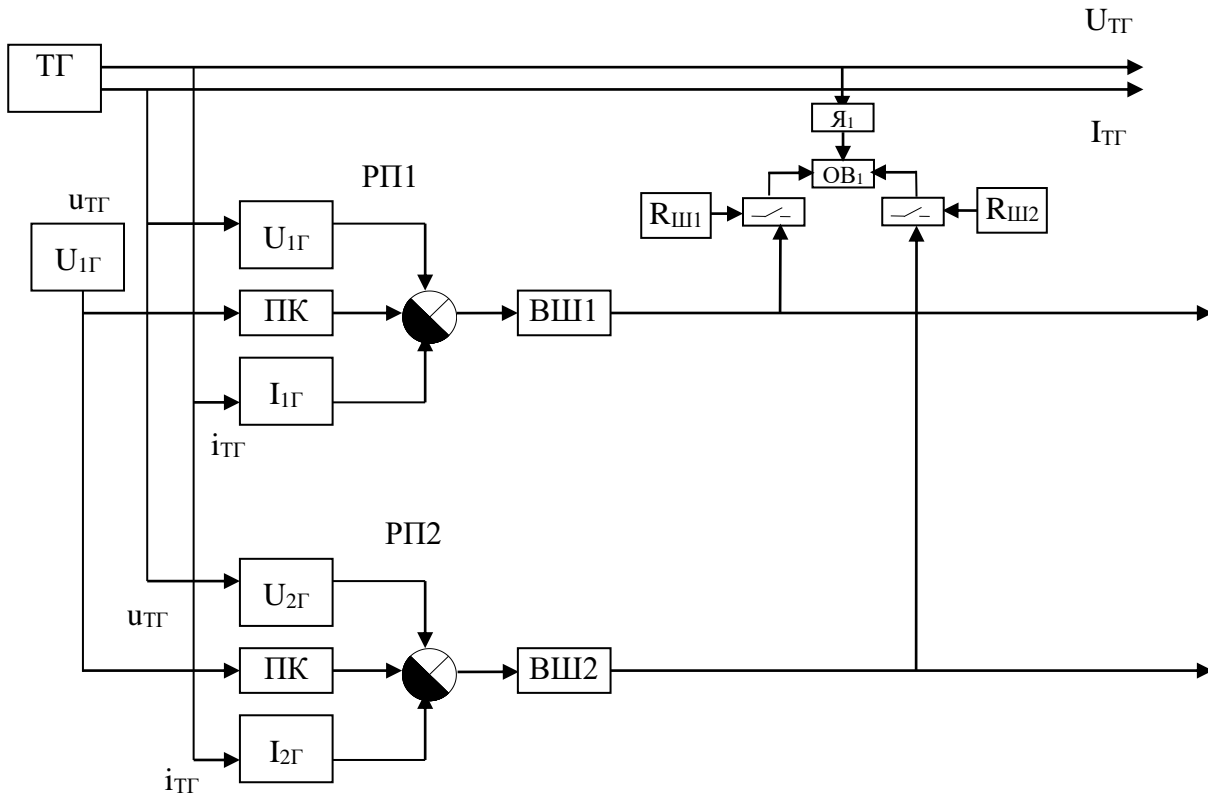
Д – дизель
 В – возбудитель
 РО – регулирующий орган
 ИД – индуктивный датчик
 ТНВД – топливный насос высокого давления
 РЧО – регулятор частоты оборотов коленвала дизеля
 БТ – бесконтактный тахометр
 КМ – контроллер машиниста
 ТР – распределительный трансформатор
 СУ – селективный узел
 ТПТ – трансформатор постоянного тока
 ТПН – трансформатор постоянного напряжения
 ТЭД – тяговый электродвигатель
 ТГ – тяговый генератор
 СВ – синхронный возбудитель

САР температуры теплоносителей тепловоза ТЭП70



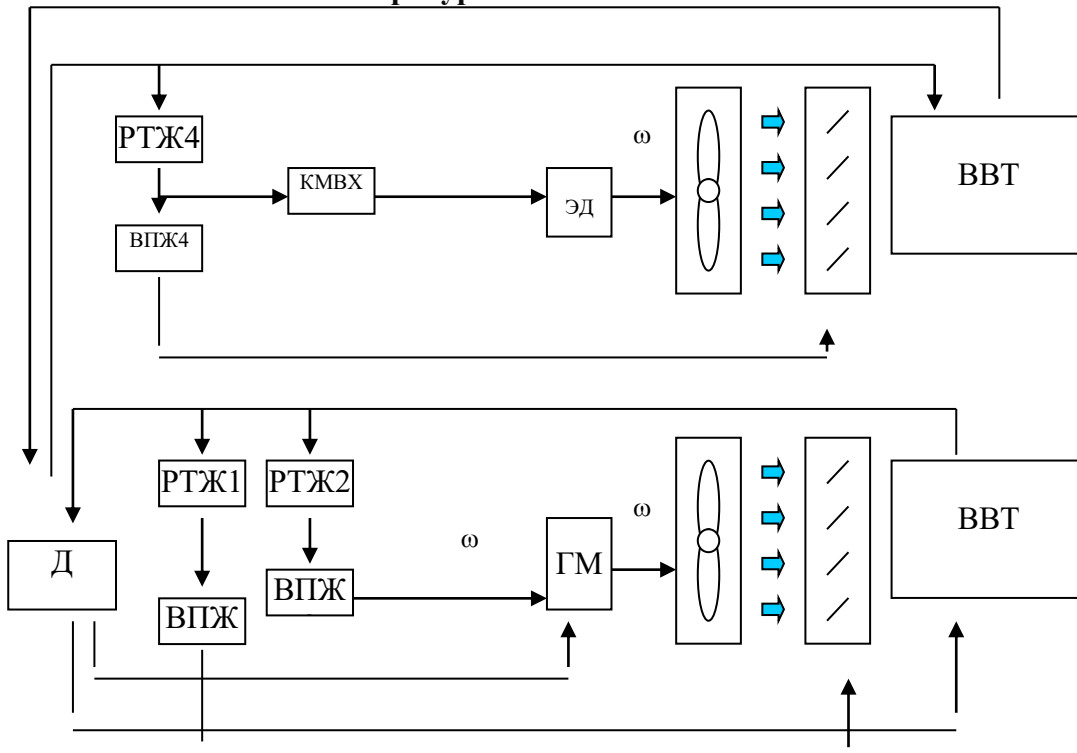
Д – дизель; ГН – гидронасос; ГМ – гидромотор; ТД – термодатчик; ППр – пневмопривод жалюзи; ВВТ – водовоздушный теплообменник; ВМО – водомасляный теплообменник

САУ полем ТЭД тепловоза ЧМЭЗ



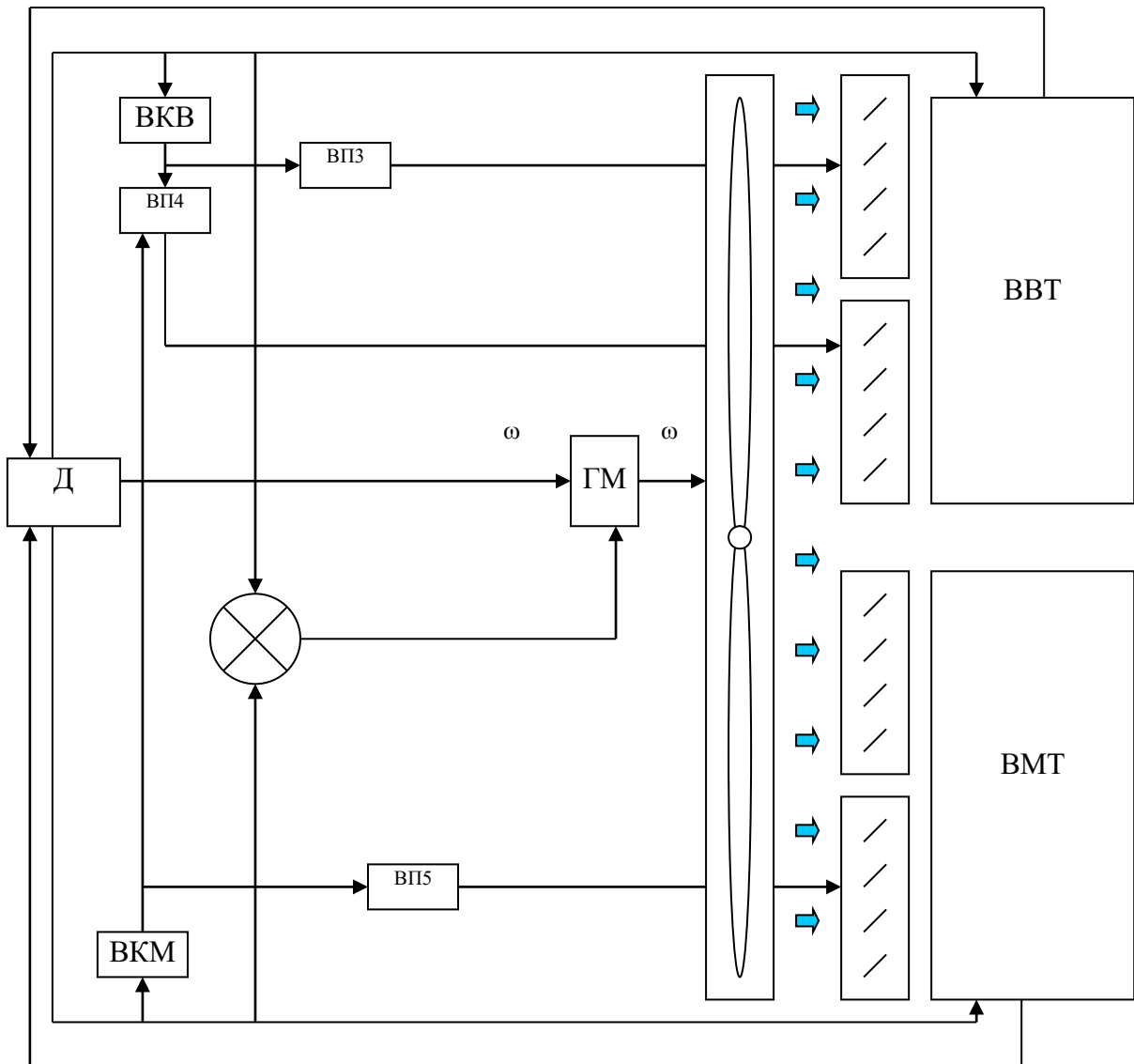
ТГ – тяговый генератор; РП1, РП2 – реле перехода первой и второй ступеней соответственно; ВШ1, ВШ2 – контакторы реостатов ослабления поля; ПрР – регулировочная пружина реле перехода; $U_{1Г}$, $U_{2Г}$ – катушки напряжения реле перехода; $I_{1Г}$, $I_{2Г}$ – токовые катушки реле перехода; $R_{ш1}$, $R_{ш2}$ – сопротивления ослабления поля; ТЭД – тяговый электродвигатель; ПК – поляризованная катушка

САУ температуры теплоносителей тепловоза ЧМЭЗ



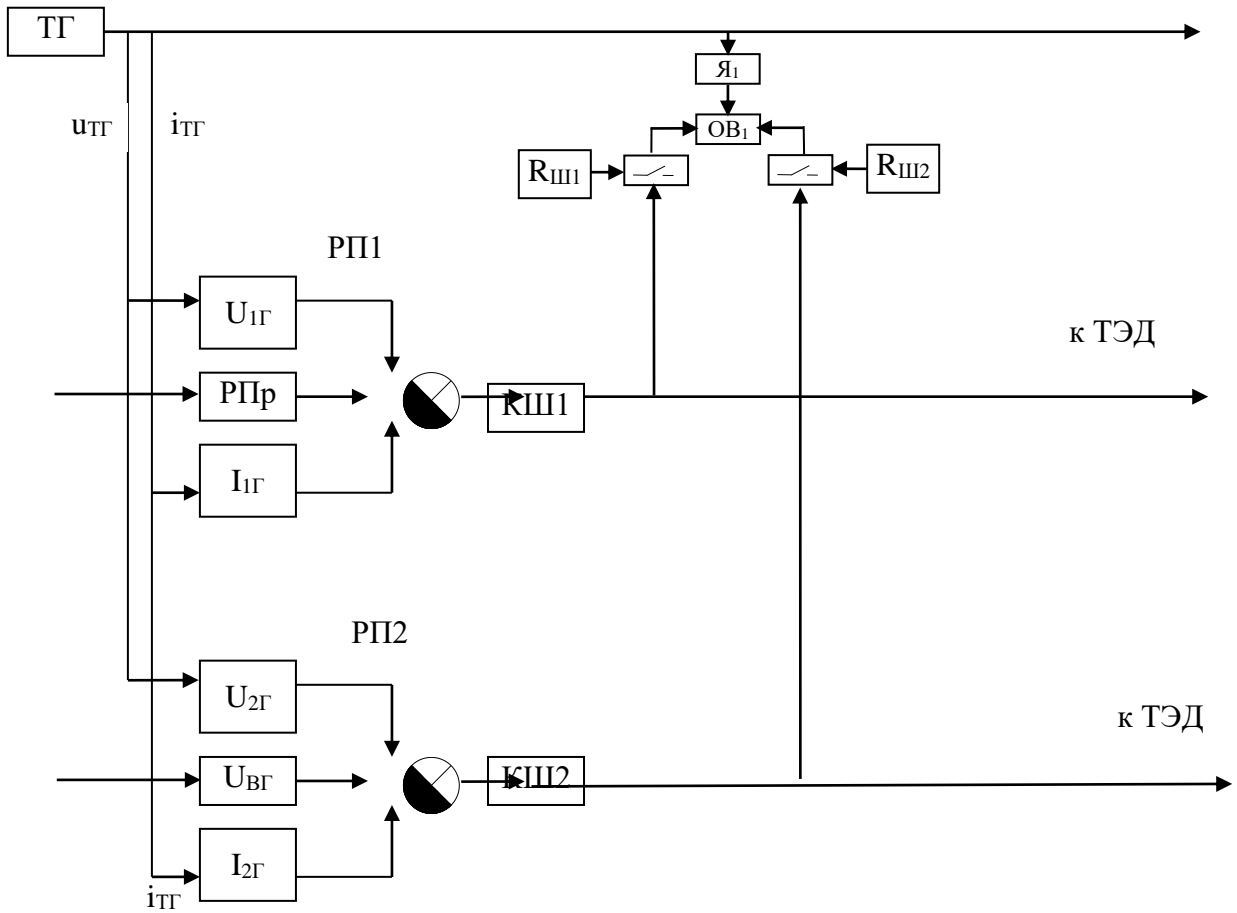
Д – дизель
 РТЖ1 ... РТЖ4 – термореле
 ВВТ – водовоздушный теплообменник
 ЭД – электродвигатель
 ГМ – гидромуфта
 КМВХ – контактор мотор-вентилятора холодильника

САР температуры теплоносителей тепловоза 2ТЭ10М



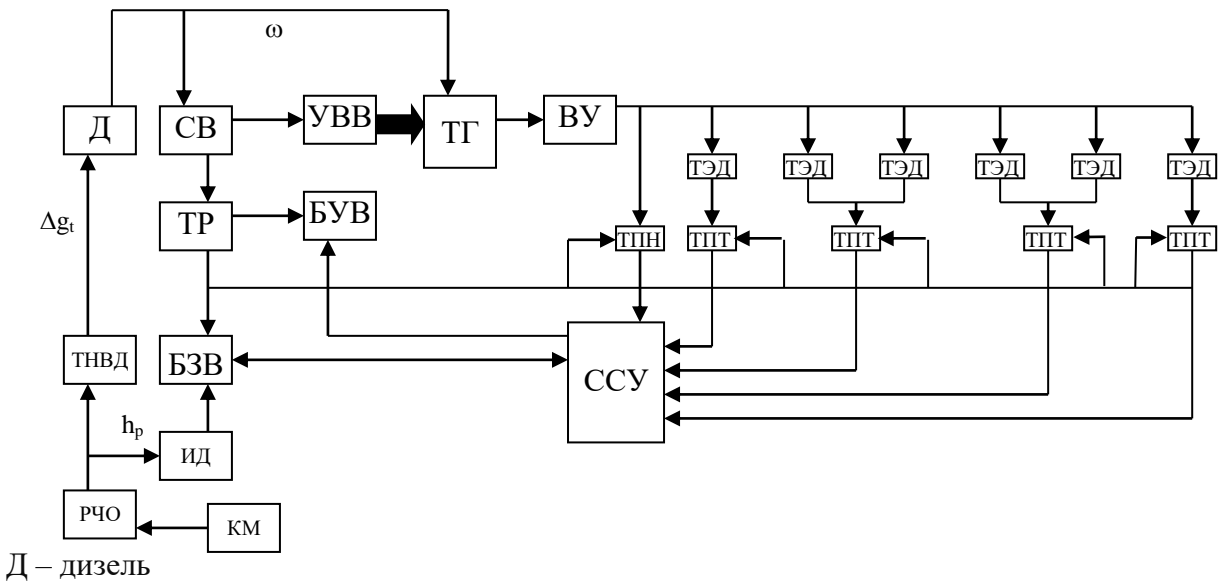
Д – дизель
 ВКВ – термореле воды
 ВКМ – термореле масла
 ГМ – гидромуфта
 ВВТ – водовоздушный теплообменник
 ВМТ – водомасляный теплообменник
 ВП – вентиль привода жалюзи

САУ полев ТЭД тепловоза 2ТЭ10М



- ТГ – тяговый генератор
- РП1, РП2 – реле перехода первой и второй ступеней соответственно
- КШ1 ... КШ6 – контакторы реостатов ослабления поля
- U_{ВГ} – катушка реле перехода
- U_{1Г}, U_{2Г} – катушки напряжения реле перехода
- I_{1Г}, I_{2Г} – токовые катушки реле перехода
- R_{Ш1}, R_{Ш6} – сопротивления ослабления поля
- ТЭД – тяговый электродвигатель

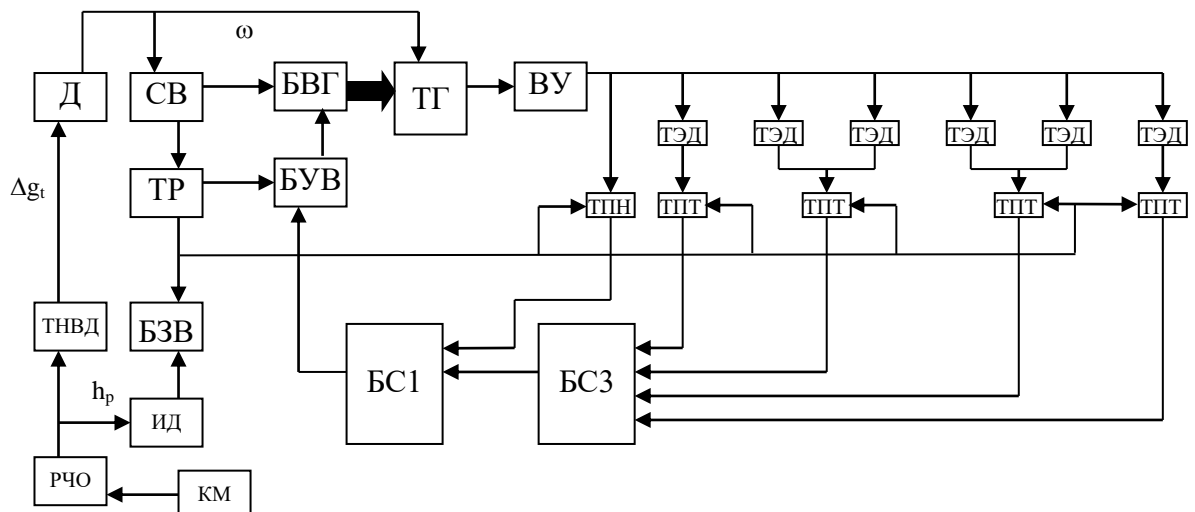
САР напряжения тягового генератора тепловоза 2ТЭ116



Д – дизель

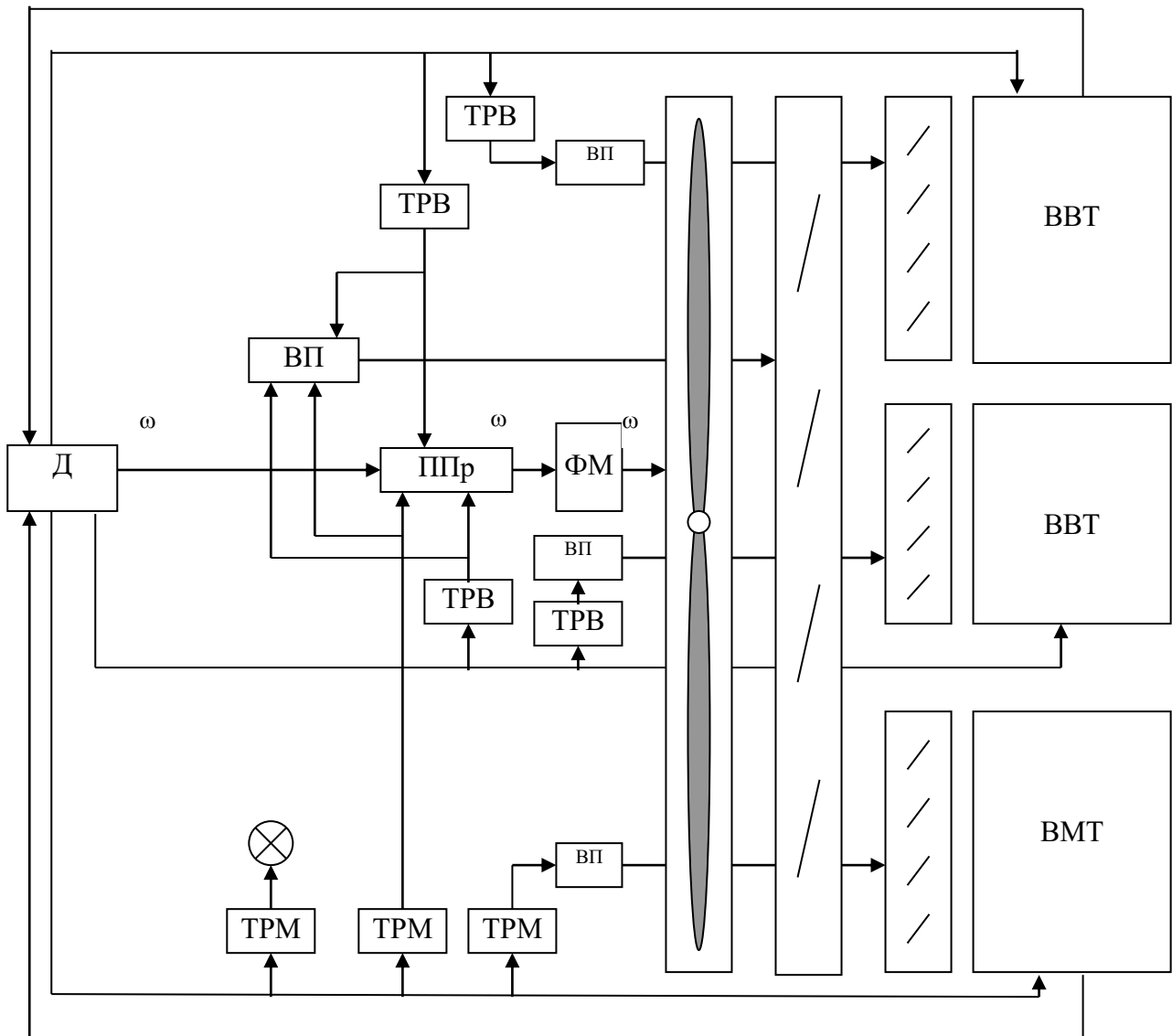
БУВ – блок управления возбуждением
 ИД – индуктивный датчик
 БЗВ – блок задания возбуждения
 ВУ – выпрямительная установка
 УВВ – управляемый выпрямитель
 ТНВД – топливный насос высокого давления
 РЧО – регулятор частоты оборотов коленвала дизеля
 КМ – контроллер машиниста
 ТР – распределительный трансформатор
 ССУ – селективный узел
 ТПТ – трансформатор постоянного тока
 ТПН – трансформатор постоянного напряжения
 ТЭД – тяговый электродвигатель
 ТГ – тяговый генератор
 СВ – синхронный возбудитель

САР напряжения тягового генератора тепловоза ТЭП70

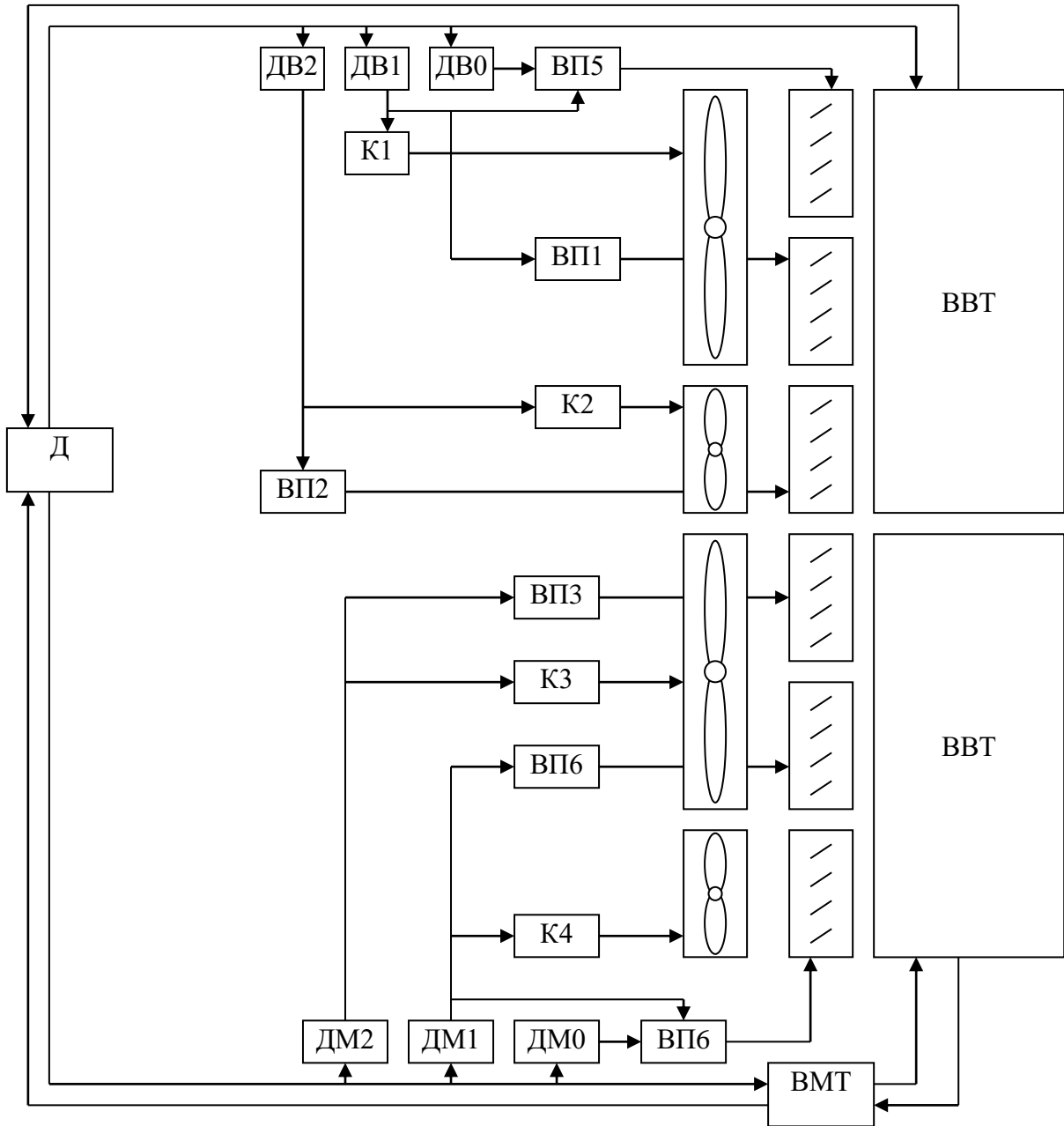


Д – дизель
 БУВ – блок управления возбуждением
 БВГ – блок возбуждения генератора
 ИД – индуктивный датчик
 БЗВ – блок задания возбуждения
 ВУ – выпрямительная установка
 ТНВД – топливный насос высокого давления
 РЧО – регулятор частоты оборотов коленвала дизеля
 КМ – контроллер машиниста
 ТР – распределительный трансформатор
 БС1, БС3 – селективные узлы
 ТПТ – трансформатор постоянного тока
 ТПН – трансформатор постоянного напряжения
 ТЭД – тяговый электродвигатель
 ТГ – тяговый генератор
 СВ – синхронный возбудитель

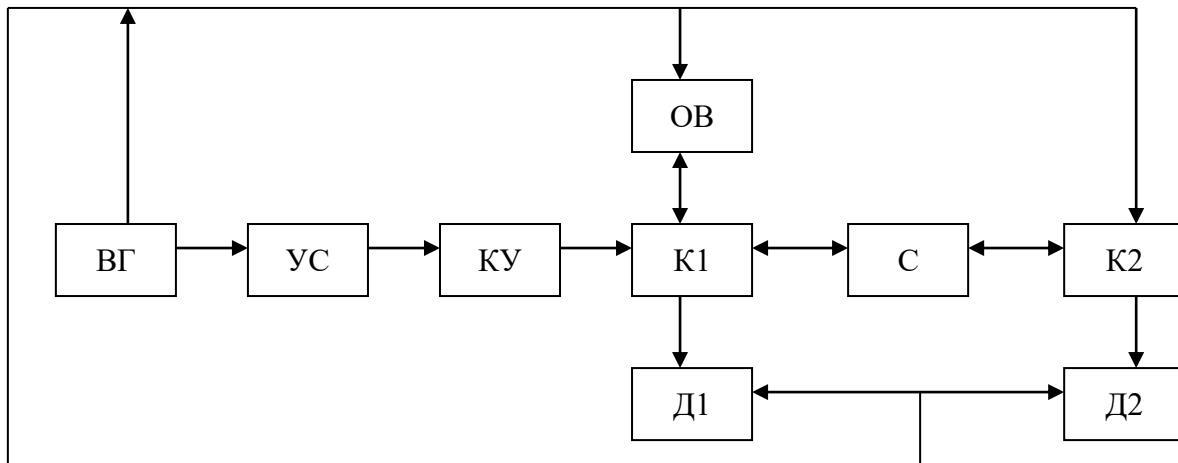
САР температуры теплоносителей тепловоза ТЭМ2



- Д – дизель
 ТРВ – термореле воды
 ТРМ – термореле масла
 ВП – вентиль пневмопривода жалюзи
 ФМ – фрикционная муфта
 ППр – пневмопривод фрикционной муфты
 ВВТ – водовоздушный теплообменник
 ВМТ – водомасляный теплообменник



Д – дизель
 ДВ0 ... ДВ2 – термореле воды
 ДМ0 ... ДМ2 – термореле масла
 ВП1 ... ВП6 – вентиль пневмопривода жалюзи
 ВВТ – водовоздушный теплообменник
 ВМТ – водомасляный теплообменник



ВГ – вспомогательный генератор

УС – узел сравнения

КУ – каскад усиления

К1 – ключ 1

К2 – ключ 2

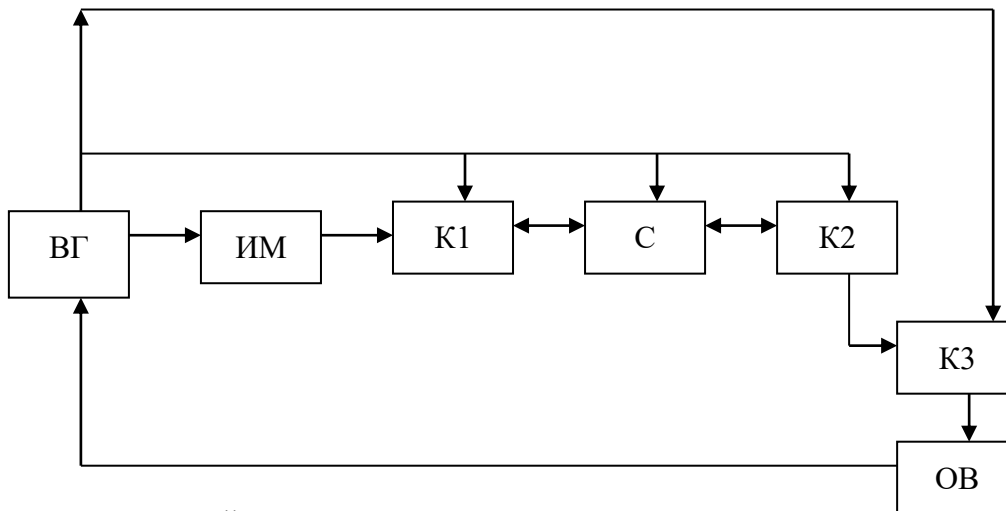
Д1 – дроссель 1

Д2 – дроссель 2

С – конденсатор

ОВ – обмотка возбуждения вспомогательного генератора

САР напряжения вспомогательного генератора тепловоза 2ТЭ116



ВГ – вспомогательный генератор

ИМ – измерительный мост

ВГ – вспомогательный генератор

К1 – ключ 1

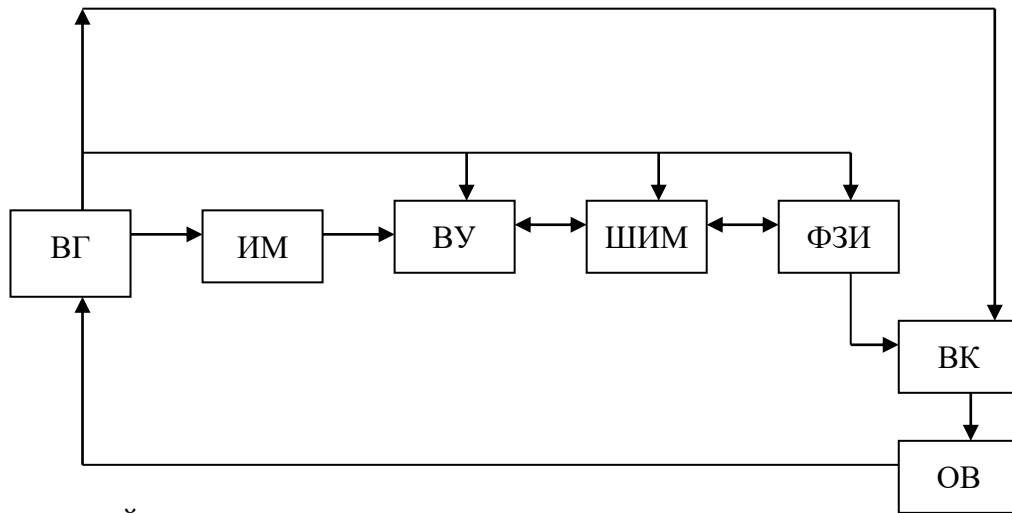
К2 – ключ 2

К2 – ключ 2 (питание ОВ)

С – конденсатор

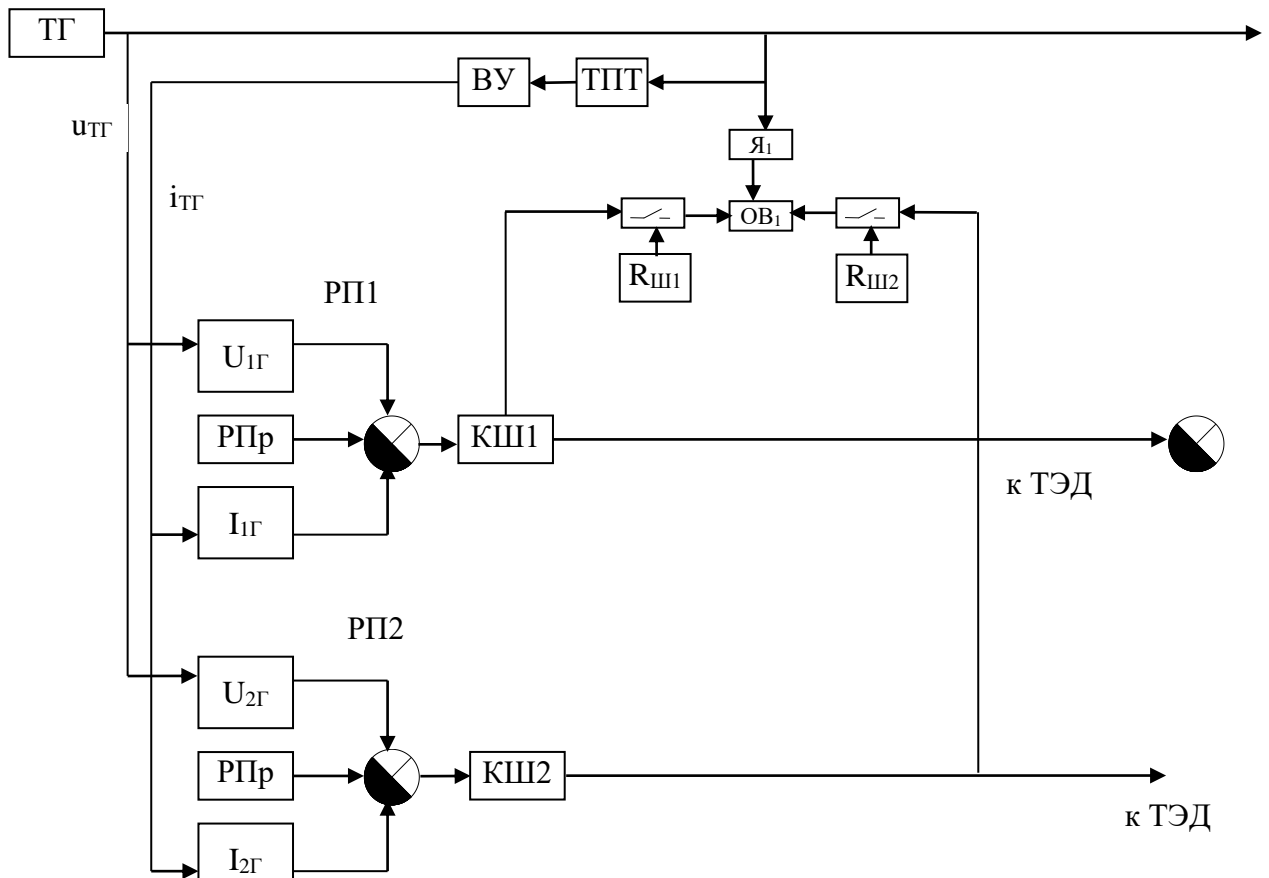
ОВ – обмотка возбуждения вспомогательного генератора

САР напряжения вспомогательного генератора тепловоза ТЭП70



- ВК – выходной каскад
 ВУ – входной усилитель
 ИМ – измерительный мост
 ВГ – вспомогательный генератор
 ВГ – вспомогательный генератор
 ШИМ – широтно-импульсный модулятор
 ФЗИ – формирователь запускающих импульсов
 ОБ – обмотка возбуждения вспомогательного генератора

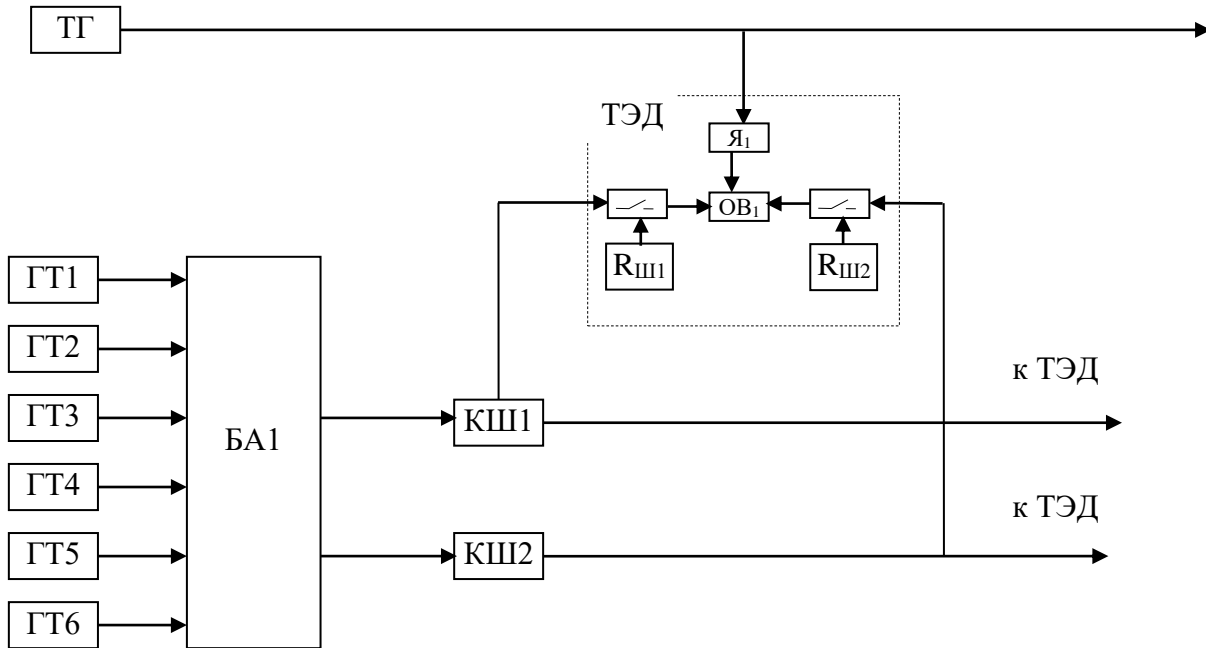
САУ полем ТЭД тепловоза ТЭП70



- ТГ – тяговый генератор
 РП1, РП2 – реле перехода первой и второй ступеней соответственно

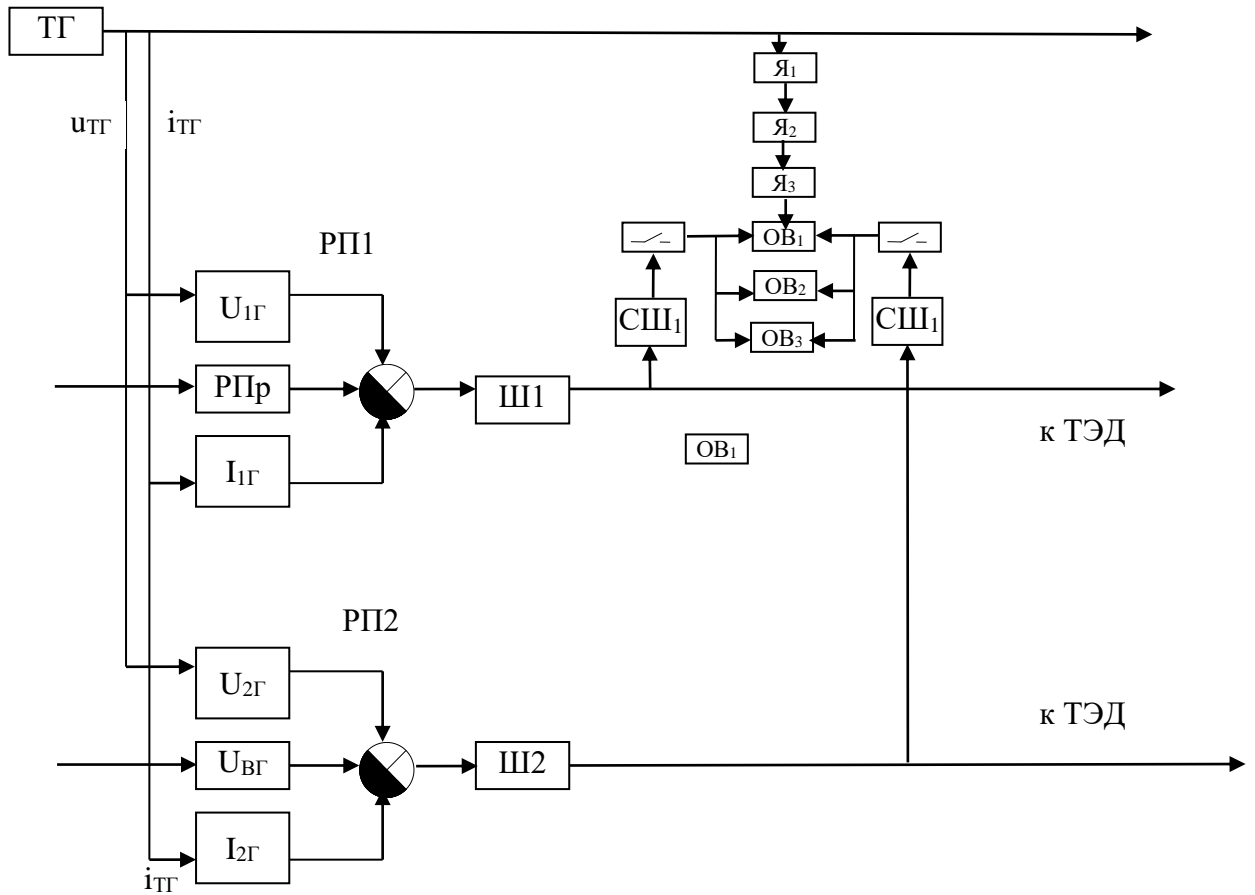
КШ1, КШ2 – контакторы реостатов ослабления поля
 $U_{1Г}, U_{2Г}$ – катушки напряжения реле перехода
 $I_{1Г}, I_{2Г}$ – токовые катушки реле перехода
 $R_{Ш1}, R_{Ш2}$ – сопротивления ослабления поля
 ТЭД – тяговый электродвигатель
 ТПТ – трансформатор постоянного тока
 ВУ – выпрямительная установка
 РПр – регулировочная пружина

САУ полев ТЭД тепловоза 2ТЭ116



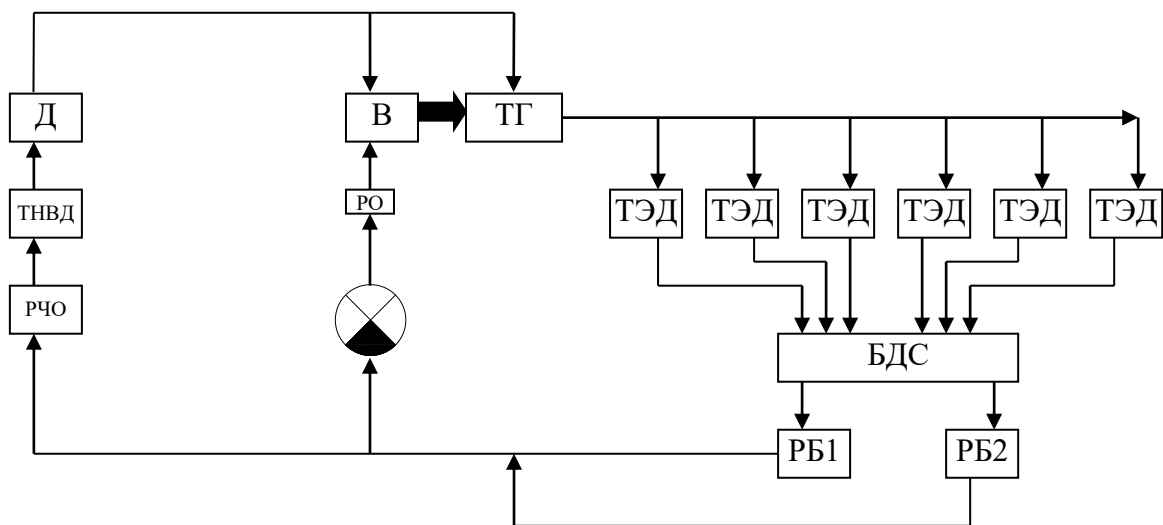
ТГ – тяговый генератор
 БА1 – блок автоматики
 КШ1, КШ2 – контакторы реостатов ослабления поля
 $R_{Ш1}, R_{Ш2}$ – сопротивления ослабления поля
 ТЭД – тяговый электродвигатель
 ГТ1 ... ГТ6 – тахогенераторы

САУ полев ТЭД тепловоза ТЭМ2



- ТГ – тяговый генератор
- РП1, РП2 – реле перехода первой и второй ступеней соответственно
- Ш1 ... Ш4 – контакторы реостатов ослабления поля
- U_{1Г}, U_{2Г} – катушки напряжения реле перехода
- I_{1Г}, I_{2Г} – токовые катушки реле перехода
- R_{ш1}, R_{ш6} – сопротивления ослабления поля
- ТЭД – тяговый электродвигатель
- СШ – сопротивление шунтирования обмотки возбуждения ТЭД

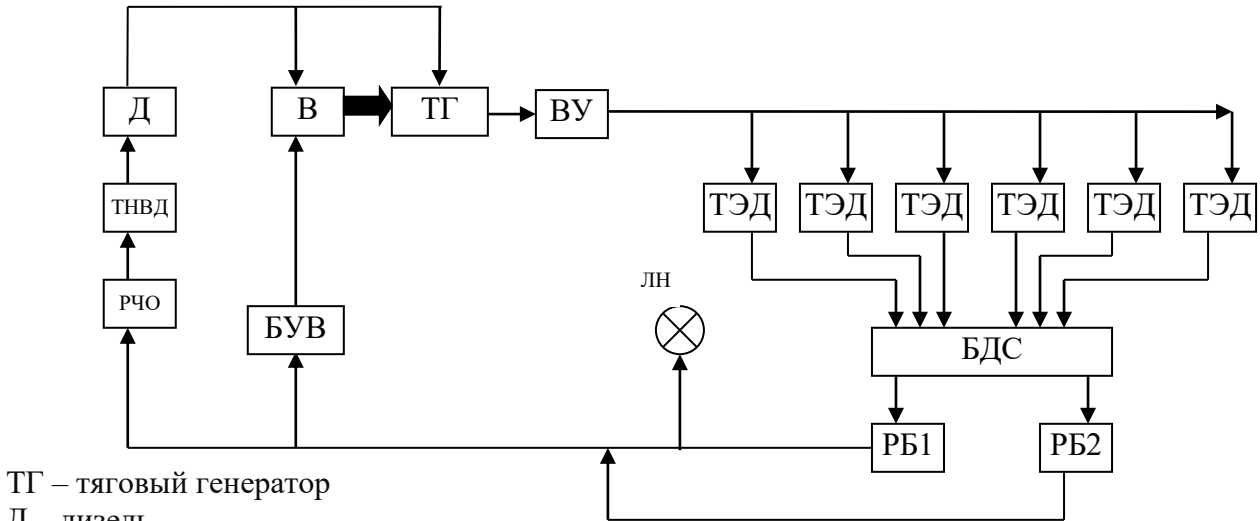
САЗ от боксования 2ТЭ10М



- ТГ – тяговый генератор
- Д – дизель

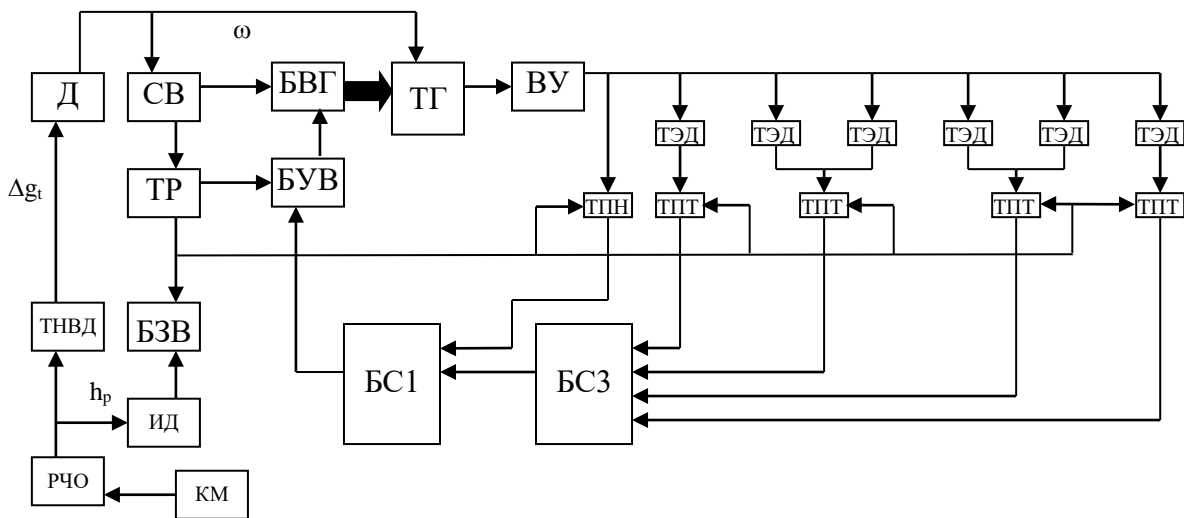
ТНВД – топливный насос высокого давления
 БДС – блок диодов сравнения
 В – возбудитель
 РЧО – регулятор частоты оборотов коленвала дизеля
 РБ – реле боесования

САЗ от боксования 2ТЭ116



ТГ – тяговый генератор
 Д – дизель
 ТНВД – топливный насос высокого давления
 БДС – блок диодов сравнения
 В – возбудитель
 РЧО – регулятор частоты оборотов коленвала дизеля
 РБ – реле боесования
 БУВ – блок управления возбуждением
 ВУ – выпрямительная установка

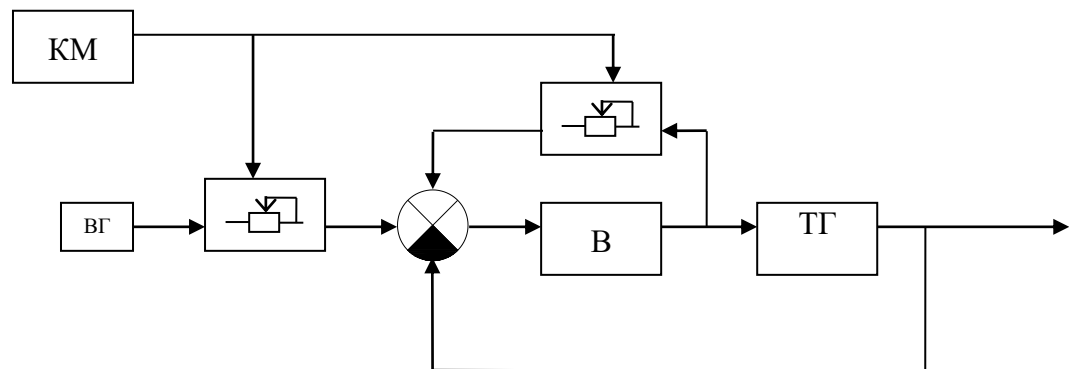
САЗ от боксования тепловоза ТЭП70



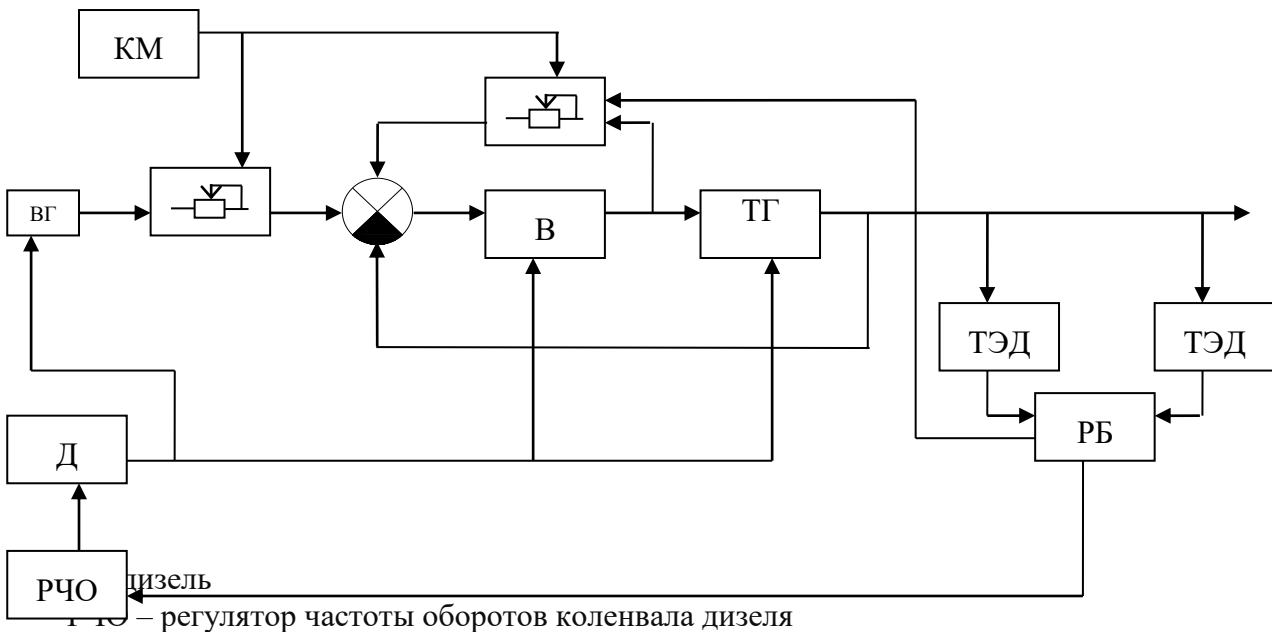
Д – дизель
 БУВ – блок управления возбуждением
 БВГ – блок возбуждения генератора
 ИД – индуктивный датчик

БЗВ – блок задания возбуждения
 ВУ – выпрямительная установка
 ТНВД – топливный насос высокого давления
 РЧО – регулятор частоты оборотов коленвала дизеля
 КМ – контроллер машиниста
 ТР – распределительный трансформатор
 БС1, БС3 – селективные узлы
 ТПТ – трансформатор постоянного тока
 ТПН – трансформатор постоянного напряжения
 ТЭД – тяговый электродвигатель
 ТГ – тяговый генератор
 СВ – синхронный возбудитель

САУ напряжения тягового генератора тепловоза ЧМЭЗ



Д – дизель
 РЧО – регулятор частоты оборотов коленвала дизеля
 КМ – контроллер машиниста
 ТЭД – тяговый электродвигатель
 ТГ – тяговый генератор
 В – возбудитель
 ВГ – вспомогательный генератор



КМ – контроллер машиниста
 ТЭД – тяговый электродвигатель
 ТГ – тяговый генератор
 РБ – реле боксования
 В – возбудитель
 ВГ – вспомогательный генератор

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Работа должна содержать:

1. Введение.
2. Назначение, условия и принцип действия заданной системы автоматического регулирования (САР) или управления (САУ).
3. Выбор основных параметров одного из элементов автоматики (по своему варианту). При выборе требуемых расчетных величин, использования таблиц, формул, справочных материалов необходимо ссылаться на источники. Графическая часть работы выполняется на миллиметровой бумаге. Страницы работы, таблицы и графики должны быть пронумерованы, работу следует подписать и указать дату ее выполнения.

После получения прорецензированной работы необходимо, независимо от того зачтена она или нет, исправить все замечания и сделать требуемые дополнения. Если работа не зачтена, следует в кратчайший срок выполнить требование рецензента и выслать исправленную работу вместе с рецензией для повторной проверки. Стирать или зачеркивать замечания рецензента запрещается.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

1. Во введении необходимо кратко показать актуальность темы, роль и значение автоматики и автоматизации управления и регулировании силовых установок тепловозов и т. д. необходимо также остановиться на цели работы.

2. В разделе «Назначение, условия и принцип действия заданной системы автоматического регулирования или управления» следует рассмотреть структурную, функциональную схему САР (САУ), провести описание ее работы, основные характеристики, проанализировать взаимосвязь отдельных элементов автоматики, дать краткую оценку устойчивости САР (САУ).

Системы автоматического регулирования дизель-генераторов тепловозов по характеру связей между регуляторами дизеля и генератора можно разделить на две группы:

- системы несвязанного регулирования, в которых регуляторы дизеля и генератора непосредственно не связаны друг с другом (тепловозы ТЭ1, ТЭ2, ТЭ3 без узла АРМ);
- системы связанного регулирования, в которых регуляторы дизеля и генератора имеют непосредственные связи, осуществляющие взаимодействие между ними вне объекта регулирования (тепловозы 2ТЭ10Л, 2ТЭ10В, 2ТЭ116, ТЭП70, ТЭП60 и др.).

В тепловозной автоматике применяются связанные системы регулирования, которые соответствуют одному из основных условий, предъявляемых к системам регулирования дизель-генераторов, – поддержанию заданного режима работы дизеля! В этой системе регулятор скорости и регулятор момента обычно объединяются в общую конструкцию, называемую объединенным регулятором мощности. В режиме пониженной мощности такие системы также поддерживают заданный режим работы дизелей с наибольшей экономичностью.

ния. Максимальный пусковой ток выбирается по условиям предельного использования силы тяги по сцеплению в момент трогания.

Регулирующим параметром системы автоматического регулирования напряжения генератора является его магнитный поток. Для расчета системы возбуждения используют нагрузочные характеристики генератора. Для расчета обмоток возбуждения генератора и источников их питания важнейшими режимами являются режимы максимального напряжения, максимального тока и минимального напряжения.

На тепловозах применяются различные системы регулирования генератора. Все они должны обеспечивать заданный закон изменения тока генератора. Подробно эти системы описаны в [2, 4, 10], а необходимые для их расчета исходные данные (по прототипам тепловозов) можно найти в [2, 4, 10].

Как пример, рассмотрим работу системы связанного регулирования электропередачи тепловоза 2ТЭ121 (рис. 1).

САР электропередачи в тяговом режиме имеет три канала регулирования параметров внешней характеристики тягового генератора: напряжения U_G , тока I_G и мощности P_G . Датчиком сигнала обратной связи (ОС) по напряжению служит трехфазный трансформатор ТР, включенный на одну из звезд генератора Г1. Вторичное напряжение трансформатора выпрямляется с помощью трехфазного моста в -комплектном устройстве автоматики БА2. Поскольку силовая и измерительная схемы выпрямления напряжения идентичны, то получаемое напряжение для системы регулирования представляет сигнал по выпрямленному напряжению генератора, действующему в силовой цепи.

Датчиками выпрямленного тока генератора являются трансформаторы постоянного тока ТПТ1–ТПТ4. Эти трансформаторы цепи тяговых электродвигателей включаются с учетом перераспределения сцепного веса тепловоза, обусловленного режимом тяги или торможения.

С помощью схемы выделения максимума в систему регулирования поступает наибольший из токов ТПТ, что обеспечивает стабилизацию напряжения Г1 режиме боксования неполного числа тяговых двигателей (динамические жесткие внешние характеристики генератора). Выходы измерительных схем напряжения и тока генератора подключаются к функциональному преобразователю ФПО, с выхода которого снимаются в виде падения напряжения сигналы по напряжению U_G , I_G . Сигнал по P_G представляет собой сумму сигналов по U_G и I_G , причем соотношение коэффициентов передачи по величинам напряжения и тока генератора может дискретно изменяться. В результате регулирование мощности при неизменном сигнале уставки ведется по ломаной линии из трех отрезков, что дает достаточное приближение к гиперболической характеристике постоянной мощности. В качестве датчиков уставки используется датчик частоты вращения вала дизеля Г2 и индуктивный датчик ИД. регулятора мощности дизеля.

Функциональное преобразование сигналов по частоте вращения вала дизеля по каналам регулирования P_G и I_G осуществляется с помощью узлов ФПМ и ФПГ, что необходимо для получения оптимальных зависимостей мощностей и пускового тока. В канал регулирования мощности вводится корректируемый сигнал уставки от ИД. Благодаря этому изданной фиксируемой частоте вращения вала дизеля обеспечивается точное соответствие мощности генератора и свободной мощности дизеля.

В канал мощности вводится отрицательный сигнал защиты от боксования тяговых двигателей, величина которого изменяется в зависимости от степени боксования. Схемой предусмотрено, что каждый канал вступает в работу в случае превышения сигналом ОС сигнала уставки. Благодаря этому обеспечивается необходимая последовательность работы каналов по мере изменения U_G и I_G . Сигнал рассогласования по каждому каналу через усилитель УС и блок управления БУ управляет тиристорным преобразователем возбуждения тягового генератора БА1, уменьшая ток возбуждения при увеличении сигнала обратной связи и наоборот. Для устойчивости системы регулиро-

вания предусмотрена гибкая обратная связь (ГОС), охватывающая БА1 и УС. Напряжение на входе ГОС подается с потенциометра, включенного на выходе БА1.

Рассмотренная САР обеспечивает начальное значение пускового тока 2500 А, необходимое для плавного трогания тепловоза; ускоренное нарастание пускового тока по позициям контроллера машиниста с выходом на ток, равный примерно 85 % от максимального при частоте вращения вала дизеля, соответствующей 7-й позиции контроллера. Кривая свободной мощности дизеля расположена внутри области, ограниченной расчетными кривыми минимальной P_c и максимальной $P_{m \max}$ мощности, соответствующим нулевому и максимальному корректирующему сигналу ИД во всем диапазоне работы регулятора мощности дизеля (с 4 по 15 позиции). Тем самым обеспечивается возможность полного использования свободной мощности дизеля при беспросадочной его работе. При аварийном отключении тягового двигателя шунтируется выход ИД в устройстве БА2, благодаря чему снижается мощность тягового генераторами его внешняя характеристика в этом случае повторяет селективную в связи с отключением одного двигателя и смещена относительно последней на 1/6 тока генератора. В схеме предусмотрено получение статических жестких характеристик тягового генератора посредством снижения уставки канала регулирования U_r .

По аналогичному принципу (с незначительными различиями) построены все САР электропередачи тепловозов переменного-постоянного тока.

К системам автоматического регулирования температурного режима дизеля (САРТ) предъявляются следующие основные требования:

- поддержание температуры воды и масла на выходе из дизеля в пределах 85...90 °С;

- неравномерность регулирования не должна превышать 5...8 °С при изменении нагрузки на дизель и внешних условий (температуры наружного воздуха);

- переходный процесс САРТ должен быть аperiodическим, либо с затухающими колебаниями. Величина заброса, или амплитуда начального периода, не должна быть выше 5 °С;

- минимальное время переходного процесса: в зависимости от типа, мощности и режима работы дизеля длительность переходного процесса САРТ может изменяться в пределах 2...20 мин;

- простота устройства и возможность перехода на ручное управление.

В тепловозных САРТ наибольшее распространение получил способ регулирования температуры охлаждающей воды путем изменения интенсивности теплообмена в секциях холодильника, которое достигается за счет изменения расхода воздуха, подаваемого вентилятором через секции. Такое регулирование достигается изменением степени открытия жалюзи, изменением частоты вращения вентилятора, поворотом лопастей вентиляторного колеса, комбинацией предыдущих способов.

В основу выбора и построения структурной и функциональной схем могут быть положены принцип действия системы в целом и техническое исполнение отдельных элементов. Составление функциональной, структурной схемы САРТ начинается с установления функциональной зависимости между элементами. Во всех тепловозных САРТ объект регулирования и чувствительный элемент принципиально обладают одинаковыми динамическими свойствами. Разделение САРТ по принципу действия на релейные и непрерывные определяется принципом действия и динамическими свойствами распорядительного и исполнительного элементов.

Объектом регулирования температуры воды является, как правило, одноконтурная система охлаждения с водовоздушными секциями холодильника и с теплообменниками для охлаждения наддувочного воздуха и масла дизеля. Чувствительным элементом САРТ тепловозов являются термодатчики манометрического типа как парожидкостные, обладающие большой инерционностью и нелинейной зависимостью давления

пара от температуры, так и с твердым наполнителем (церезином), инерционность которых значительно меньше.

Функцию распорядительного элемента в различных тепловозных САРТ выполняют различные элементы, своей работой определяющие характер регулирующего воздействия на систему охлаждения дизеля.

В релейных САРТ распорядительным элементом являются контакты термореле. Условно к распорядительному элементу могут быть причислены электропневматические вентили и пневмогидравлические золотники. Поведение релейной САРТ обычно оценивается при постоянном задающем воздействии, которое приложено к релейному элементу. Изменение задающего воздействия достигается посредством механизма настройки реле.

В непрерывных САРТ распорядительным элементом является электрический или гидравлический серводвигатель.

Электрический серводвигатель целесообразно применять при электроприводе вентилятора. В этом случае серводвигатель обычно выполняется в виде приводного электродвигателя и электромагнита, управляющих возбуждением электропривода вентилятора.

3. В разделе с «Выбор основных параметров одного из элементов автоматики» необходимо произвести разработку одного из узлов САР (САУ) по заданному варианту.

Широкое применение в различных системах автоматики и защиты находят магнитные усилители (МУ).

При разработке МУ решаются три взаимосвязанные задачи:

обеспечение заданных максимальных значений напряжения, тока и мощности на выходе усилителя;

обеспечение заданной характеристики вход-выход и, в частности, заданных значений коэффициентов усиления и кратности;

обеспечение заданных динамических характеристик усилителя.

Для расчета МУ исходными данными являются: величина и характер нагрузки Z_H , максимальная мощность (или ток) выхода $P_{вых}$, коэффициент усиления при заданном режиме k_P (k_1 , k_4), кратность тока в нагрузке K , сопротивление входа R_y , частота питающего напряжения f и род тока на выходе.

Общий порядок расчета МУ: выбор схемы усилителя, материала и конструкции сердечника; определение размеров сердечника; расчет обмоток усилителя; определение величины питающего напряжения рабочей цепи; проверка на нагрев; определение эксплуатационных параметров и построение статической характеристики усилителя; расчет согласующего трансформатора питания.

Детальный расчет МУ изложен в [1. 3].

На всех тепловозах с системой связанного регулирования связь между регуляторами дизеля и генератора осуществляется с помощью индуктивного датчика (ИД). Как пример, рассмотрим методику расчета ИД тепловоза ТЭП60.

Расчет производится для величины и частоты питающего напряжения U_H и f_H соответствующих 15-й позиции контроллера. На более низких позициях питающее напряжение и частота снижаются пропорционально частоте вращения ротора синхронного возбудителя, а соотношение $\frac{U}{f}$ на всех позициях остается приблизительно постоянным.

Поэтому расхождение характеристик ИД для различных позиций будет незначительным и при расчетах не учитывается, расчет ИД сводится к определению параметров катушки и магнитопровода и расчету индуктивности для двух крайних положений сердечника.

Исходные данные для расчета катушки ИД:

– ход штока сервомотора регулятора $L_{шт}$ = 55–60 мм;

– диапазон изменения тока в регулировочной обмотке амплистата $i_{\text{рег}} = 0,1 \dots 1,5 \text{ А}$;
 – размеры подвижного сердечника выбираются с учетом хода штока сервомотора. Сердечник изготавливается из электротехнической стали Э 32–0.35, толщина $d_{\text{ж}} = 10 \text{ мм}$;

– питание цепи ИД от распределительного трансформатора 4Н-4К ($U_{\text{H}} = 55 \text{ В}$; $f_{\text{H}} = 400 \text{ Гц}$; $\omega_{\text{H}} = 2\pi f_{\text{H}} = 2510$);

– суммарное активное сопротивление цепи ИД (регулирующей обмотки, катушки датчика, выпрямительного мостика и регулирующего резистора) должно составлять $R = 25 \text{ Ом}$. При этом обеспечивается возможность регулирования максимального тока $i_{\text{рег}}$ добавочным резистором и в то же время достаточная крутизна характеристики датчика.

Для получения максимального тока $f_{\text{рег}} = 1,5 \text{ А}$ максимальный ток катушки ИД при полностью выдвинутом сердечнике определяется по формуле:

$$i_{\text{Д max}} = \frac{i_{\text{рег max}} \pi}{2\sqrt{2}} = 1.67 \text{ А}.$$

Полное сопротивление датчика при полностью выдвинутом сердечнике

$$z_{\text{Д min}} = \frac{U_{\text{H}}}{i_{\text{Д max}}} = 32,3 \text{ Ом}.$$

Индуктивное сопротивление катушки при этом

$$x_{\text{Д}} = \sqrt{z_{\text{Д min}}^2 - R^2} = 20.4 \text{ Ом},$$

а индуктивность

$$L_{\text{Д}} = \frac{x_{\text{Д}}}{\omega_{\text{H}}} = 0,0081 \text{ Г}.$$

Допуская, что при полностью выдвинутом сердечнике железо магнитопровода не оказывает влияния на индуктивность катушки, можно определить количество витков катушки ИД. Индуктивность многослойной катушки без железного сердечника

$$L_{\text{Д}} = \frac{0,32 R_{\text{К ср}}^2 W_{\text{К}}^2 \cdot 10^6}{6 R_{\text{К ср}} + 9 l_{\text{К}} + 10 d_{\text{К}}},$$

где $R_{\text{К ср}} = 1.8 \text{ см}$ – расстояние от оси катушки до середины обмотки;

$l_{\text{К}}$ – длина намотки катушки ($l_{\text{К}} = 5 \text{ см} \leq L_{\text{шт}}$)

$d_{\text{К}} = 1.5 \text{ см}$ – толщина обмотки.

Отсюда необходимое число витков

$$W_{\text{К}} = \sqrt{\frac{L_{\text{Д}} (6 R_{\text{К ср}} + 9 l_{\text{К}} + 10 d_{\text{К}})}{0,32 R_{\text{К ср}}^2 \cdot 10^6}} = 725.$$

Исходя из условий нагревания, провод выбран диаметром 0,7 мм.

При полностью вдвинутом сердечнике, когда магнитопровод замкнут, индуктивность датчика

$$L_{\text{Д max}} = \frac{W_{\text{К}}^2}{R_{\text{М}}},$$

где $R_{\text{М}}$ – магнитное сопротивление магнитопровода с учетом небольшого воздушного зазора, вызываемого точностью обработки стыкующихся поверхностей и сборки;

$$R_{\text{М}} = \left(\frac{l_{\text{ст}}}{\mu_{\text{ст}} \cdot S_{\text{ст}}} + \frac{l_0}{\mu_0 \cdot S_0} \right) \cdot \frac{1}{4\pi \cdot 10^{-9}} \cdot \frac{1}{\Gamma},$$

$l_{\text{ср}} = 19,6$ см – средняя длина магнитной силовой линии по стали магнитопровода;

$l_0 = 0,05$ см – суммарный воздушный зазор;

$S_{\text{СТ}} = S_0 = 2$ см² – поперечное сечение магнитопровода;

$\mu_{\text{СТ}} = \mu_0$ – магнитные проницаемости, Г/м.

Для определения $\mu_{\text{СТ}}$ необходимо выяснить значение магнитной индукции в сердечнике. Учитывая, что индуктивное сопротивление $x_{\text{д}}$ при замкнутом магнитопроводе намного больше активного $R_{\text{д}}$, напряжение, приложенное к катушке, «-» составляет $U_{\text{Н}} = 55$ В при $f_{\text{Н}}' = 400$ Гц, магнитный поток катушки

$$\Phi = \frac{U_{\text{Н}} \cdot 10^8}{4,44 f_{\text{Н}} W_{\text{К}}} = 4,26 \cdot 10^3 \text{ Мкс}.$$

Индукция

$$\dot{B} = \frac{\dot{\Phi}}{S_{\text{СТ}}} = 2,13 \cdot 10^3 \text{ Гс},$$

а напряженность согласно кривым намагничивания для стали марки Э32 $H_{\text{СТ}} = 0,375$ АВ/см.

Отсюда

$$\mu_{\text{СТ}} = \frac{B}{0,4\pi H_{\text{СТ}}} = 4530 \frac{\text{Г}}{\text{м}}.$$

Подставив найденную величину $\mu_{\text{СТ}}$ и $\mu_0 = 1$ в формулу (8), получим магнитное сопротивление $R_{\text{М}}' = 2,17 \cdot 10^6$ 1/Г. Зная его, по формуле (7) находим индуктивность датчика при полностью вдвинутом сердечнике $L_{\text{Д max}} = 0,242$ Г.

Полное сопротивление цепи катушки ИД

$$Z_{\text{Д max}} = \sqrt{(\omega_{\text{Н}} L_{\text{Д max}})^2 + R^2} = 607 \text{ Ом}.$$

Минимальный расчетный ток катушки ИД при полностью вдвинутом сердечнике

$$i_{\text{Д max}} = \frac{U_{\text{Н}}}{Z_{\text{Д max}}} = 0,09 \text{ А}.$$

Минимальный ток регулировочной обмотки $i_{\text{рег min}} = 0,09 \cdot 0,9 = 0,081$ А.

Активное сопротивление катушки ИД

$$R_{\text{К}} = \frac{l_{\text{В ср}} \cdot W_{\text{К}} \cdot \rho}{q} = 4,3 \text{ Ом}$$

где $l_{\text{В ср}} = 0,13$ м – средняя длина витка катушки;

$q = 0,384$ мм² – сечение меди обмотки;

$\rho = 0,0175 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$ – удельное сопротивление меди при температуре +20 °С.

САУ магнитным полем ТЭД как на электромагнитных реле, так и на магнитных усилителях достаточно подробно освещены в литературе [1, 2, 6, 7]. Поэтому методику выбора и расчета более подробно рассмотрим только для реле перехода на полупроводниках.

Схема узла реле перехода состоит из трех каскадов: каскад формирования сигнала; собственное реле (триггер); приемник выхода реле – катушка привода контактора ослабления поля.

Каскад формирования сигнала должен выдавать сигнал $U_{\text{У}}$, зависящий от тока генератора $I_{\text{Г}}$ и его напряжения $U_{\text{Г}}$:

$$U_{\text{У}} = kuUr - ki \cdot I_{\text{Г}}.$$

Такой закон формирования сигнала обеспечивает наиболее целесообразную форму характеристик срабатывания и отпадения реле перехода (РП).

Формировать сигнал в силовой цепи тепловоза нежелательно, так как при этом силовая цепь будет соединена с цепью управления. Целесообразно для этого использовать селективный узел (СУ) с незначительными изменениями. На рис. 2 показана измененная схема селективного узла тепловоза ТЭП60, дающая возможность получить сигнал, формируемый по заданному закону (15). Сопротивления резисторов CH и CT должны быть выбраны с учетом того, чтобы общее сопротивление цепей рабочих обмоток $T1H$ и $T1T$ не превышало допустимых значений. Характеристика СУ остается неизменной. Принципиальная схема РП (см. рис. 2): два триггера $T1.1-T1.2$ (РП1) и $T2.1-T2.2$ (РП2) включены параллельно; цепь выхода РП2 замыкается только после срабатывания $BIII$ через его блок-контакт. В цепи смещения и выхода триггеров включены кнопка «Управление переходами» и контакты контактора KB , чем обеспечивается возможность выключения узла переходов и гарантируется выключение контакторов ослабления поля на 0-й позиций контроллера.

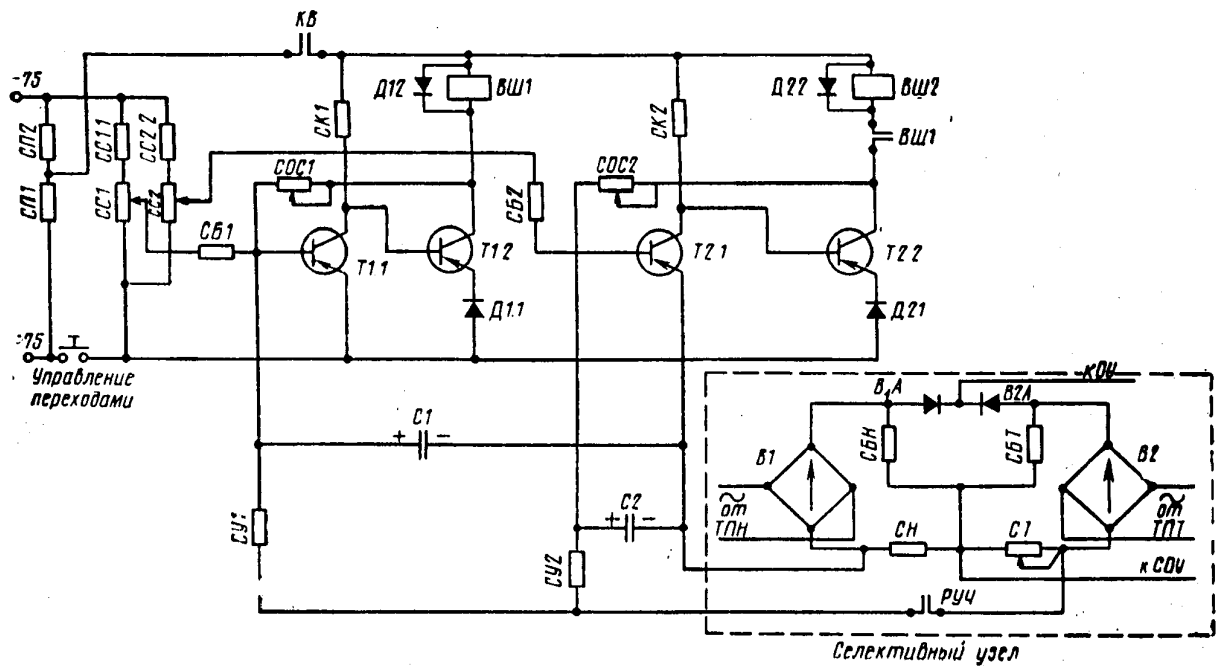


Рис. 2. Схема бесконтактного реле перехода для тепловоза ТЭП60

В цепь сигнала включены контакты $PV4$, замкнутые на позициях контроллера 2–15. Это сделано для того, чтобы сигнал на РП подавался не одновременно, а после включения цепей выхода и смещения. Без этого переходный процесс включения цепей РП проходит так, что возможно включение контакторов ослабления поля сразу после замыкания KB при величине сигнала меньшей, чем сигнал срабатывания, т. е. при трогании тепловоза с места.

Тогда для режима отпадания РП1 на 15 и позиции должно выполняться условие $i'_y=0$, для чего необходимо, чтобы

$$i_{CH} \cdot R_{CH} - i_{CT} \cdot R_{CT} = 0$$

Отсюда определяется величина R_{CT} . Затем по известным значениям i_{TH} и i_{TT} для режимов срабатывания РП1 и РП2 и отпадания РП2 определяются значения $U_{y\text{ ср}}$ и $U_{y\text{ от}}$.

Если ток i_y составляет заметную часть токов i_{TH} и i_{TT} , то это должно быть учтено в расчете напряжений $U_{y\text{ ср}}$ и $U_{y\text{ от}}$. Что же касается расчета R_{OT} , то на нем учет влияния i_y не сказывается. Для определения R_{CT} удобно решить систему уравнений, составленных для режимов отпадания РП1 на 15-й и 0-й позиций контроллера, но второму закону Кирхгофа для контура, включающего резисторы CH , CT , $CV1$ и эмиттерный переход триода $T1.1$ (см. рис. 2).

Для 15-й позиции

$$U_{\text{ЭБ}} + (i_{\text{тн от}} - 2i_{\text{y от}})R_{\text{CH}} - (i_{\text{тн от}} + 2i_{\text{y от}})R_{\text{CT}} - i_{\text{y от}} \cdot R_{\text{y}} = 0;$$

для 0-й позиции ($U_{\Gamma} = 0$, $i_2 = 0$)

$$U_{\text{ЭБ}} - 2i_{\text{y от}}(R_{\text{CH}} + R_{\text{CT}}) - i_{\text{y от}}R_{\text{y}} = 0.$$

Решая эту систему, получаем

$$R_{\text{CT}} = \frac{i_{\text{тн от}}R_{\text{CH}}}{i_{\text{тн от}}}.$$

Подстановка в это уравнение данных из таблицы дает результат $R_{\text{CT}} = 2,3 \text{ Ом}$.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

- 1 Гаккель Е.Я. Проектирование систем автоматического управления и защиты тепловозов. – М.: Транспорт, 1970.
- 2 Филонов С.П. Тепловоз 2ТЭ10В. – М.: Транспорт, 1975.
- 3 Филонов С.П. Тепловоз 2ТЭ116. – М.: Транспорт, 1977.
- 4 Луков Н.М. Автоматизация систем охлаждения тепловозов. – М.: ВЗШ1Т. 1974.
- 5 Вилькевич Б.И. Автоматическое управление электрическим передаточным устройством тепловозов. – М.: Транспорт, 1978.
- 6 Колесник И.К. Электропередачи тепловозов на переменном-постоянном токе. – М.: Транспорт, 1978.
- 7 Кошевой В.А. Реостатный тормоз тепловоза. // Электрическая и тепловозная тяга. – 1980 – № 12.
- 8 Кошевой В.А. Реостатный тормоз для грузовых тепловозов. // Железнодорожный транспорт. – 1980. – № 8.
- 9 Хлебников Ю.В. Тепловоз ТЭП70. – М.: Транспорт, 1978.
- 10 Луков Н.М. Автоматическое регулирование температуры двигателей. – М.: Транспорт, 1977.
- 11 Луков Н.М. Основы автоматики и автоматизации тепловозов. – М.: Транспорт, 1989.

2 «ДВИГАТЕЛИ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ ЛОКОМОТИВОВ», ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ОБОРУДОВАНИЕ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА («ЛОКОМОТИВНЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ»)

2.1 Методические указания для практических занятий и выполнения индивидуального задания (курсовой проект, курсовая работа, расчетно- графическая работа)

Приведена методика упрощенного расчета рабочего процесса тепловозного двигателя по Гриневецкому. Даются рекомендации по выбору исходных параметров для расчета рабочего процесса двигателя.

Методические указания предназначены студентам электромеханического факультета РГУПС специализации «Локомотивы».

1. Расчет рабочего процесса двигателя

В основу упрощенного расчета рабочего процесса двигателя положен метод профессора В.И. Гриневецкого, в дальнейшем развитый и дополненный Н.Р. Брилингом, Е.К. Мазингом и др. Для его выполнения обычно задаются: эффективная мощность двигателя N_e , кВт; частота вращения коленчатого вала, n , мин⁻¹; число цилиндров i ; тактность двигателя τ , способ наддува или продувки; состав топлива.

Чтобы решить поставленную задачу, необходимо задаться значениями параметров рабочего процесса, которые выбираются на основе опытных данных существующих двигателей, принятых за образец.

Давление и температуру окружающей среды p_0 и T_0 при отсутствии особых указаний принимают соответственно 0,10033 МПа и 288 К.

Как известно, минимальная величина степени сжатия ε выбирается из условия обеспечения надежного самовоспламенения топлива, однако принимаемое нами значение ε должно быть выше, так увеличение степени сжатия снижает период задержки самовоспламенения топлива и обеспечивает надежный пуск холодного двигателя. Поэтому двигатели, работающие при низких температурах окружающей среды, или с двухкамерным способом смесеобразования и с малыми размерами цилиндров должны иметь более высокие степени сжатия.

Напомним, что различают геометрическую ε и действительную ε_d степени сжатия, связанные между собой зависимостью:

$$\varepsilon_d = \varepsilon - \psi \cdot (\varepsilon - 1),$$

где ψ – коэффициент потери хода поршня.

В 4-тактных двигателях расчет ведут для геометрической степени сжатия, пренебрегая влиянием запаздывания закрытия впускных клапанов. В 2-тактных он обычно выполняется для действительной степени сжатия с дальнейшим пересчетом индикаторных показателей цикла на полный ход поршня.

Для 4-тактных тепловозных двигателей степень сжатия изменяется в пределах $\varepsilon = 11 \dots 16$; для двухтактных двигателей – в пределах 15...19. Для уменьшения максимального давления цикла степень сжатия необходимо снижать, однако чрезмерное ее уменьшение может привести к возникновению проблем с запуском двигателя, особенно в зимних условиях, а также в случае, если аккумуляторная батарея тепловоза сильно разряжена.

Коэффициент избытка воздуха для двигателей со струйным смесеобразованием, к которым относятся тепловозные дизели, находится в пределах $\alpha = 1,8 \dots 2,2$.

Для предварительной оценки требуемого давления наддувочного воздуха проектируемого двигателя можно воспользоваться следующей ориентировочной зависимостью:

$$P_s = P'_s \cdot \frac{N_e \cdot n' \cdot i'}{N'_e \cdot n \cdot i}, \text{ МПа}, \quad (1)$$

где P_s, N_e, n, i – параметры проектируемого двигателя;
 P'_s, N'_e, n', i' – параметры двигателя-прототипа.

Показатель политропы сжатия воздуха в наддувочном компрессоре n_k принимается в зависимости от типа компрессора и условий его охлаждения. Для ротационных компрессоров $n_k = 1,55 \dots 1,75$; для центробежных с неохлаждаемыми и охлаждаемыми корпусами соответственно $1,8 \dots 2,0$ и $1,4 \dots 1,8$.

Давление в конце выхлопа для двигателей с наддувом p_r выбирается из соотношений [1]: $p_r = (0,95 \dots 1,15) \cdot p_p$.

Величина отношения p_k/p_p зависит от системы наддува и изменяется в пределах: $1,15 \dots 1,3$ (4-тактные двигатели) и $1,15 \dots 1,4$ (2-тактные).

Температура остаточных газов T_r зависит в основном от коэффициента избытка воздуха и скоростного режима двигателя. Для номинального режима приближенно можно принять: $T_r = 800 \dots 1000$ К (4-тактные двигатели); $700 \dots 800$ К (2-тактные двигатели).

Подогрев свежего заряда воздуха от стенок цилиндра в процессе наполнения: $\Delta T = 0 \dots 10^\circ$ (4-тактные двигатели) и $5 \dots 15^\circ$ (2-тактные двигатели).

1.1 Расчет параметров рабочего процесса

1.1.1 Теоретически необходимое количество воздуха для сгорания 1 кг топлива, определяется по формуле:

$$L_o = \frac{1}{0,21} \cdot \left(\frac{C}{12} + \frac{H}{4} + \frac{S - O_T}{32} \right), \text{ кмоль/кг}; \quad (2)$$

$$L'_o = L_o \cdot \mu_{\text{воз}}, \text{ кг/кг}. \quad (3)$$

Здесь C, H, S, O_T – относительное весовое содержание в топливе водорода, серы и кислорода; $\mu_{\text{воз}} = 28,95$ – молекулярная масса воздуха.

1.1.2 Действительное количество свежего заряда воздуха:

$$L_o = \alpha \cdot L'_o; \quad L'_o = \alpha \cdot L'_o. \quad (4)$$

1.1.3 Количество молей продуктов сгорания в точке «z»¹ и «чистых» продуктов сгорания (при $\alpha = 1$):

$$M_z = M_o + (\alpha - 1) \cdot L_o; \quad M_o = \frac{C}{12} + \frac{H}{2} + 0,79 \cdot L_o. \quad (5)$$

1.1.4 Объемные доли «чистых» продуктов сгорания и избыточного воздуха:

$$r_o = \frac{M_o}{M_z}; \quad r_e = \frac{(\alpha - 1) \cdot L_o}{M_z}. \quad (6)$$

Очевидно, должно соблюдаться равенство: $r_o + r_e = 1,0$.

Процесс наполнения.

1.1.5 Давление в цилиндре двигателя в конце наполнения p_a принимают по опытным данным. При этом справедливы зависимости: $p_a = (0,9 \dots 0,95) \cdot p_k$ (4-тактные двигатели); $p_a = (0,85 \dots 1,05) \cdot p_k$ (2-тактные двигатели с прямоточными продувками).

1.1.6 Температура воздуха во впускном коллекторе:

¹ Здесь и далее ссылка делается на рисунок 1 (см. раздел 4).

$$T_k = T_o \cdot \left(\frac{p_k}{p_o} \right)^{\frac{n_k-1}{n_k}} - \Delta T_{охл}, \quad (7)$$

где $\Delta T_{охл} = 25 \dots 95^\circ$ – снижение температуры наддувочного воздуха в охладителе. Принимается в зависимости от давления наддувочного воздуха p_k и типа охладителя (воздуховоздушный или водовоздушный).

1.1.7 Коэффициент остаточных газов:

$$\gamma_r = \frac{\left(\frac{T_k + \Delta T}{T_r} \right) \cdot P_r}{\varepsilon \cdot p_a - p_r}, \quad (8)$$

Полученное значение γ_r необходимо сравнить с опытными данными двигателя-прототипа и окончательный выбор γ_r согласовать с консультантом проекта.

1.1.8 Температура свежего заряда воздуха в процессе наполнения:

$$T_a = \frac{T_k + \Delta T + \gamma_r \cdot T_r}{1 + \gamma_r}. \quad (9)$$

1.1.9 Коэффициент наполнения:

$$\eta_v = \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \right) \cdot \left(\frac{P_a}{P_k} \right) \cdot \left(\frac{T_k}{T_a \cdot (1 + \gamma_r)} \right). \quad (10)$$

Процесс сжатия.

1.1.10 Как известно, процесс сжатия в реальном двигателе происходит по политропическому закону с переменным показателем политропы. В практике расчетов по упрощенной методике переменный показатель политропы заменяют некоторым средним показателем $n_1 = 1,32 \dots 1,39$. Значения n_1 показывают, что за весь период сжатия происходит отдача в стенки небольшого количества тепла, т.е. процесс сжатия в реальном двигателе очень близок к адиабатическому.

Более точно средний показатель политропы сжатия n_1 можно определить по методу Е.К. Мазинга – из условия равенства теплового баланса в процессе сжатия [1]. Расчет параметров конца процесса сжатия производится в предположении, что сжатие начинается в НМТ и заканчивается в ВМТ. Тогда:

$$P_c = P_a \cdot \varepsilon^{n_1}, \text{ МПа}, \quad (11)$$

$$T_c = T_a \cdot \varepsilon^{n_1-1}, \text{ К}. \quad (12)$$

Процесс сгорания.

1.1.11 Коэффициент молекулярного изменения μ характеризует увеличение числа молей рабочего тела в процессе сгорания. Химический, или «чистый» коэффициент μ_o определяется из условия отсутствия в цилиндре двигателя остаточных газов (т.е. при $\gamma_o = 0$):

$$\mu_o = 1 + \frac{\Delta M}{\alpha \cdot L_o}. \quad (13)$$

Увеличение числа молей рабочего тела в процессе сгорания:

$$\Delta M = \frac{H}{4} + \frac{O_t}{32}. \quad (14)$$

Коэффициент молекулярного изменения (при $\gamma \neq 0$) в точке «z» определяется выражением [2]:

$$\mu_z = \frac{\mu_o + \gamma_r}{1 + \gamma_r}. \quad (15)$$

1.1.12 Давление в конце сгорания:

$$P_z = \lambda \cdot P_c, \text{ МПа}, \quad (16)$$

где λ – степень повышения давления.

Обычно значением λ задаются в пределах $\lambda = 1,3 \dots 2,2$. При этом необходимо проверить, чтобы при заданном λ давление сгорания P_z не превышало опытных значений двигателя-прототипа. Более точно с учетом периода задержки самовоспламенения топлива можно определить λ по существующим зависимостям [3, 4].

1.1.13 Температура в конце сгорания. Температура в точке «z» определяется по уравнению процесса сгорания:

$$\frac{\xi_z \cdot Q_n}{\alpha \cdot L_o \cdot (1 + \gamma_r)} + (\mu c'_v + 8,314 \cdot \lambda) \cdot T_c = \mu_z \cdot \mu c''_{p_z} \cdot T_z, \quad (17)$$

где ξ_z – коэффициент эффективного выделения тепла до точки «z». Выбирается по опытным данным. Обычно $\xi_z = 0,7 \dots 0,85$;

Q_n – низшая теплота сгорания, для топлив нефтяного происхождения $Q_n = 41\,900 \dots 42\,500$ кДж/кг;

$\mu c'_v$ – средняя мольная теплоемкость при постоянном объеме для смеси воздуха и продуктов сгорания;

$\mu c''_{p_z}$ – средняя мольная теплоемкость при постоянном давлении для продуктов сгорания.

При определении мольной теплоемкости $\mu c'_v$ обычно пренебрегают влиянием остаточных газов, считая свежий заряд состоящим только из воздуха. Так эта теплоемкость определяется для температуры T_c , то:

$$\mu c'_v = 19,8 + 20,95 \cdot 10^{-4} \cdot T_c, \text{ кДж}/(\text{кмоль} \cdot \text{К}). \quad (18)$$

Средняя мольная теплоемкость продуктов сгорания $\mu c''_{p_z}$ зависит от T_z , которая нам пока не известна, что затрудняет решение уравнения сгорания. Рекомендуется следующий метод решения. Считая рабочие газы состоящими из «чистых» продуктов сгорания (при $\alpha = 1$) и избыточного воздуха, можно записать:

$$k_1 = \frac{1 + L_o}{1 + \alpha \cdot L_o}; \quad k_2 = \frac{(\alpha - 1) \cdot L_o}{1 + \alpha \cdot L_o}; \quad \mu c_{p_e} = \mu c'_v + 8,314. \quad (19)$$

где
$$\mu c''_{p_z} = k_1 \cdot \mu c_{p_o} + k_2 \cdot \mu c_{p_e}, \text{ кДж}/(\text{кмоль} \cdot \text{К}), \quad (20)$$

Мольная теплоемкость «чистых» продуктов сгорания μc_{p_o} незначительно изменяется в зависимости от сорта топлива, сжигаемого в двигателе. Поэтому для любого состава топлива можно принять:

$$\mu c_{p_o} = 29,79 + 30,6 \cdot 10^{-4} \cdot T_z, \text{ кДж}/(\text{кмоль} \cdot \text{К}). \quad (21)$$

Подставляя μc_{p_o} и μc_{p_e} из выражений (21) и (20) в выражение (19), а последнее – в уравнение сгорания (17), получим квадратное уравнение относительно T_z .

Решая это уравнение определяем температуру сгорания T_z .

1.1.14 После определения температуры T_z находим степень предварительного расширения ρ по формуле:

$$\rho = \left(\frac{\mu_z}{\lambda} \right) \cdot \left(\frac{T_z}{T_c} \right). \quad (22)$$

Степень предварительного расширения должна быть в пределах $\rho = 1,2 \dots 1,7$.

Полученные значения P_z и T_z можно также проконтролировать с помощью следующих данных: для двигателей средней быстроходности $P_z = 6,0 \dots 12,0$ МПа, $T_z = 1700 \dots 1900$ К; для быстроходных двигателей $P_z = 6,0 \dots 13,0$ МПа, $T_z = 1800 \dots 2000$ К.

Соответствие значений P_z и T_z можно также проконтролировать по опытным данным двигателя-прототипа. Необходимо помнить, что стремление к форсировке двигателя по степени наддува неизбежно приводит к увеличению P_z . Однако, $P_z > 13$ МПа нежелательны, так как вызывают перенапряжение деталей кривошипно-шатунного механизма и утяжеление двигателя.

Нежелательно и увеличение температуры сгорания T_z свыше 2000 К, так как это способствует более интенсивной диссоциации газов, сопровождающейся отъемом тепла от рабочего тела и снижением ξ_z . Снижение температуры T_z можно достигнуть за счет снижения T_a и увеличения коэффициента избытка воздуха α .

Процесс расширения.

1.1.15 Степень последующего расширения:

$$\delta = \frac{\varepsilon}{\rho}. \quad (23)$$

1.1.16 Параметры конца процесса расширения (давление и температура в конце расширения) вычисляются по формулам:

$$P_e = \frac{P_z}{\delta^{n_2}}; \quad (24)$$

$$T_e = \frac{T_z}{\delta^{n_2-1}}. \quad (25)$$

1.2 Индикаторные и эффективные показатели рабочего цикла

1.2.1 Средне индикаторное давление вычисляется по формуле:

$$P_i = \left[\frac{P_c}{\varepsilon - 1} \right] \cdot \left\{ \lambda \cdot (\rho - 1) + \left[\frac{\lambda \cdot \rho}{n_2 - 1} \right] \cdot \left(1 - \frac{1}{\delta^{n_2-1}} \right) - \left[\frac{1}{n_1 - 1} \right] \cdot \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_1-1}} \right) \right\} \cdot \zeta, \text{ МПа} \quad (26)$$

где ζ – коэффициент полноты индикаторной диаграммы, $\zeta = 0,97 \dots 0,99$ (4-тактные двигатели); $0,96 \dots 1,00$ (2-тактные двигатели).

Если в 2-тактных двигателях среднее индикаторное давление определялось по формуле (26) для действительной степени сжатия, его необходимо пересчитать на полный ход поршня:

$$P'_i = P_i \cdot (1 - \psi), \quad (27)$$

где ψ – коэффициент потери хода поршня, представляющий отношение потерянной его части за счет открытия газораспределительных органов ко всему ходу поршня S .

Для контурных и прямоточно-клапанных продувок можно принять: $\psi = 0,00 \dots 0,00$. Для прямоточно-щелевых продувок $\psi = 0,00 \dots 0,00$.

1.2.2. Среднее эффективное давление:

– для 4-тактных и 2-тактных двигателей, отнесенное к полезному ходу поршня:

$$P_e = P'_i \cdot \eta_{\text{мех}}, \text{ ММПа} \quad (28)$$

– для 2-тактных, отнесенное к полному ходу поршня:

$$P_e = P'_i \cdot \eta_{\text{мех}}, \text{ ММПа} \quad (29)$$

где $\eta_{мех}$ – механический КПД двигателя, который принимается по опытным данным двигателя-прототипа. Для 4-тактных двигателей $\eta_{мех} = 0,8 \dots 0,92$; для 2-тактных $\eta_{мех} = 0,75 \dots 0,9$.

1.2.3. Рабочий объем двигателя при заданной эффективной мощности вычисляется по формуле:

$$V_h = \frac{0,03 \cdot \tau \cdot N_e}{P_e \cdot n \cdot i}, \text{ м}^3, \quad (30)$$

где N_e – эффективная мощность двигателя;

n – частота вращения коленчатого вала;

i – число цилиндров;

τ – тактность двигателя.

1.2.4. Коэффициенты полезного действия и удельные расходы топлива:

– индикаторные КПД двигателя и удельный расход топлива:

$$\eta_i = \frac{8,314 \cdot \alpha \cdot L_o \cdot P_i \cdot T_k}{Q_n \cdot \eta_v \cdot P_k}; \quad (31)$$

$$g_i = \frac{3600}{Q_n \cdot \eta_i}, \text{ кг/кВт} \cdot \text{ч}. \quad (32)$$

– эффективные КПД и удельный расход топлива:

$$\eta_e = \frac{3600}{Q_n \cdot g_e}, \quad \text{или} \quad \eta_e = \eta_i \cdot \eta_{мех}; \quad (33)$$

$$g_e = \frac{3600}{Q_n \cdot \eta_e}, \quad \text{или} \quad g_e = \frac{g_i}{\eta_{мех}}, \text{ кг/кВт} \cdot \text{ч}. \quad (34)$$

2 Основные размеры двигателя

2.1 Диаметр цилиндра определяется по формуле:

$$D = \sqrt{\frac{V_h}{0,785 \cdot \frac{S}{D}}}, \text{ м}. \quad (35)$$

Рекомендуется следующий порядок решения задачи:

– принимается значение S/D . Для тепловозных двигателей это отношение изменяется в пределах $S/D = 1,0 \dots 1,3$, причем нижний предел характерен для 4-тактных, верхний – для 2-тактных двигателей. При выборе отношения S/D необходимо ориентироваться на значение этого отношения у двигателя-прототипа;

– по формуле (35) определяется диаметр цилиндра. При этом необходимо помнить, что для двигателей с прямоточно-щелевой продувкой (семейства Д100) объем цилиндра V_h по формуле (30) получен для двух рабочих полостей между верхним и нижним поршнями и поэтому при определении D по выражению (35) необходимо подставлять $V_h/2$;

– по выбранному значению S/D определяется ход поршня:

$$S = D \cdot \left(\frac{S}{D} \right), \text{ м}. \quad (36)$$

Если диаметр цилиндра и ход поршня «округляются» до ближайшего целого числа, то необходимо уточнить значение V_h ;

– по полученным значениям D , S и по заданному числу цилиндров i определяем основные габаритные размеры двигателя [8].

2.2 Длина дизеля:

$$L_{диз} = 1,16 \cdot D \cdot \kappa + C, \text{ м}, \quad (37)$$

где $\kappa = i$ – для рядных двигателей; $\kappa = 0,5 \cdot i$ – для V-образных;

$C = 1 \dots 1,5$ м – удлинение двигателя за счет размещения вспомогательных агрегатов и оборудования дизеля.

2.3. Ширина двигателя:

$$B = A \cdot S, \text{ м}, \quad (38)$$

где $A = 3,5 \dots 5,0$ – для рядных двигателей; $5,0 \dots 7,0$ – для V-образных.

2.4. Высота двигателя:

$$H = a \cdot S, \text{ м}, \quad (39)$$

где $a = 6,0 \dots 8,0$ – для рядных двигателей; $5,0 \dots 7,0$ – для V-образных; $10 \dots 12,5$ – для двигателей с противоположно движущимися поршнями.

2.5. Высота двигателя от оси коленчатого вала:

$$H_o = H - 0,5 \cdot B, \text{ м}. \quad (40)$$

3 Внешний тепловой баланс двигателя

По окончании расчета рабочего процесса двигателя может быть составлен ориентировочный тепловой баланс, дающий представление о распределении тепла, полученного при сгорании топлива. Обычно тепловой баланс представляется в виде:

$$Q_o = Q_e + Q_{охл} + Q_{вых} + Q_{изл} + Q_{ост}, \quad (41)$$

или

$$q_o = q_e + q_{охл} + q_{вых} + q_{изл} + q_{ост}, \quad (42)$$

где Q_o – располагаемое тепло:

$$Q_o = g_e \cdot N_e \cdot Q_n, \text{ кДж/ч}; \quad q_o = 100\%;$$

Q_e – полезно используемое тепло:

$$Q_e = 3600 \cdot N_e, \text{ кДж/ч}; \quad q_e = \left(\frac{Q_e}{Q_o} \right) \cdot 100\%; \quad (44)$$

$Q_{охл}$ – потери тепла на охлаждение.

Последнюю величину можно определить только при испытаниях двигателя. При составлении расчетного теплового баланса в данном курсовом проекте $Q_{охл}$ вместе с $Q_{ост}$ будем определять как остаточный член теплового баланса, т.е.:

$$Q_{охл} + Q_{ост} = Q_o - Q_e - Q_{вых} - Q_{изл}. \quad (45)$$

Потери тепла с выхлопными газами находим по формуле:

$$Q_{вых} = M_{вых} \cdot \mu c_{p_m} \cdot (T_r - T_o), \text{ кДж/ч}; \quad q_{вых} = \left(\frac{Q_{вых}}{Q_o} \right) \cdot 100\%, \quad (46)$$

где $M_{вых}$ – расход выхлопных газов:

$$M_{вых} = [\mu_z + (\varphi_n - 1)] \cdot \alpha \cdot L_o \cdot g_e \cdot N_e, \text{ кмоль/ч}, \quad (47)$$

где φ_n – коэффициент продувки. Для 4-тактных двигателей $\varphi_n = 1,05 \dots 1,2$; для 2-тактных $\varphi_n = 1,25 \dots 1,5$.

$$\mu c_{p_m} = \frac{\mu c_p'' + (\varphi_n - 1) \cdot \mu c_{p_g}}{\mu_z + \varphi_n - 1}, \text{ кДж}/(\text{кмоль} \cdot \text{К}). \quad (48)$$

Удельные теплоемкости выхлопных газов и продувочного воздуха определяются по формулам (18) – (21) для соответствующих температур. Температура смеси выхлопных газов и продувочного воздуха T_r находится из предположения, что при истечении газов из цилиндра в выхлопной коллектор происходит политропическое расширение с условным показателем политропы $m = 1,3 \dots 1,35$. В этом случае температура выхлопных газов определяется из выражения:

$$T_r' = \left(\frac{T_g}{m} \right) \cdot \left[1 + \left(\frac{P_p}{P_g} \right) \cdot (m - 1) \right], \text{ К}, \quad (49)$$

а температура смеси:

$$T_r = \frac{\mu_z \cdot \mu c_p'' \cdot T_r' + (\varphi_n - 1) \cdot \mu c_{p_g} \cdot T_k}{(\mu_z + \varphi_n - 1) \cdot \mu c_{p_m}}, \text{ К}. \quad (50)$$

Напомним, что в формулах (49), (50) P_g и P_p – давление газов в конце расширения и в выхлопном коллекторе, МПа; T_g и T_k – температура газов в конце расширения и температура наддувочного воздуха, К; T_o – температура окружающей среды, К.

При наличии турбокомпрессора необходимо учесть тепло выхлопных газов, полезно используемое в газовой турбине. Поэтому для двигателей с газотурбинным наддувом:

$$Q_{\text{вых}} = M_{\text{вых}} \cdot \mu c_{p_m} \cdot (T_r - T_o) - 3600 \cdot N_{\text{ТК}}, \text{ кДж}/\text{ч}, \quad (51)$$

где $N_{\text{ТК}}$ – мощность, потребляемая турбокомпрессором:

$$N_{\text{ТК}} = \left[\frac{G_e \cdot R_o \cdot T_o \cdot n_k}{\eta_{\text{ТКМ}} \cdot (n_k - 1)} \right] \cdot \left[\left(\frac{P_k}{P_o} \right)^{\frac{n_k - 1}{n_k}} - 1 \right], \text{ Вт}, \quad (52)$$

где $\eta_{\text{ТКМ}}$ – механический КПД турбокомпрессора, равный 0,97...0,99;
 G_e – секундный расход воздуха через двигатель:

$$G_e = \frac{\varphi_n \cdot \alpha \cdot L_o' \cdot g_e \cdot N_e}{3600}, \text{ кг}/\text{с}; \quad (53)$$

R_o – газовая постоянная для воздуха; $R_o = 287$.

Потери тепла на излучение в окружающую среду по опытным данным не превышают 2...3 % от располагаемого тепла, т.е.

$$Q_{\text{изл}} = (0,02 \dots 0,03) \cdot Q_o; \quad q_{\text{изл}} = \left(\frac{Q_{\text{изл}}}{Q_o} \right) \cdot 100\%. \quad (54)$$

Остаточный член теплового баланса $Q_{\text{ост}}$ характеризует неучтенные потери тепла:

- часть тепла, соответствующую работе трения (за вычетом доли тепла трения, отданной охлаждающей воде и маслу);
- количество тепла, соответствующее кинетической энергии выхлопных газов (если она не используется в импульсной турбине турбокомпрессора);
- другие неучтенные потери теплоты и погрешности расчета.

В таблице 1 приведены средние значения отдельных составляющих теплового баланса для различных типов двигателей.

различных типов (%)

| Двигатели | q_e | $q_{охл}$ | $q_{изл}$ | $q_{вых}$ | $q_{ост}$ |
|------------------------------------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Комбинированные дизели с наддувом: | | | | | |
| – умеренным | 35...35 | 10...25 | 3...7 | 25...50 | 2...7 |
| – высоким | 40...48 | 10...18 | 4...8 | 20...47 | 2...5 |

4 Построение расчетной индикаторной диаграммы

При построении расчетной индикаторной диаграммы необходимо помнить, что в расчете рабочего процесса были приняты следующие допущения:

- процесс наполнения начинается в ВМТ и проходит с постоянным давлением P_a ;
- процесс сжатия начинается в НМТ (точка «а»), проходит по политропе с постоянным показателем n_1 и заканчивается в ВМТ (точка «с»);
- процесс сгорания начинается в точке «с», выполняется по линейным законам $сu$ и $уз$ и заканчивается в точке «z»;
- процесс расширения начинается в точке «z», проходит по политропе с постоянным показателем n_2 и заканчивается в НМТ (точка «в»);
- процесс выхлопа начинается в НМТ, проходит с постоянным давлением P_r и заканчивается в ВМТ.

По результатам расчета рабочего процесса строится расчетная индикаторная диаграмма двигателя (в координатах PV). Для этого в выбранных масштабах для $P_j = A_j$ (мм) и $V_i = B_i$ (мм) откладываются величины:

$$V_c = \frac{V_h}{\varepsilon - 1}; V_a = V_c + V_h; V_z = \rho \cdot V_c; P_c; P_s; P_z; P_a; P_r.$$

Затем по уравнениям политроп строят кривые сжатия и расширения, задаваясь несколькими значениями объемов V_1, V_2, V_3 и т.д., определяют соответствующие значения давлений p_1, p_2, p_3 и т.д.

Например:

– для сжатия:
$$p_1 = P_a \cdot \left(\frac{V_a}{V_1}\right)^{n_1}; p_2 = P_a \cdot \left(\frac{V_a}{V_2}\right)^{n_1}; p_3 = P_a \cdot \left(\frac{V_a}{V_3}\right)^{n_1} \dots;$$

– для расширения:
$$p'_1 = P_z \cdot \left(\frac{V_z}{V_1}\right)^{n_2}; p'_2 = P_z \cdot \left(\frac{V_z}{V_2}\right)^{n_2} \text{ и т.д.}$$

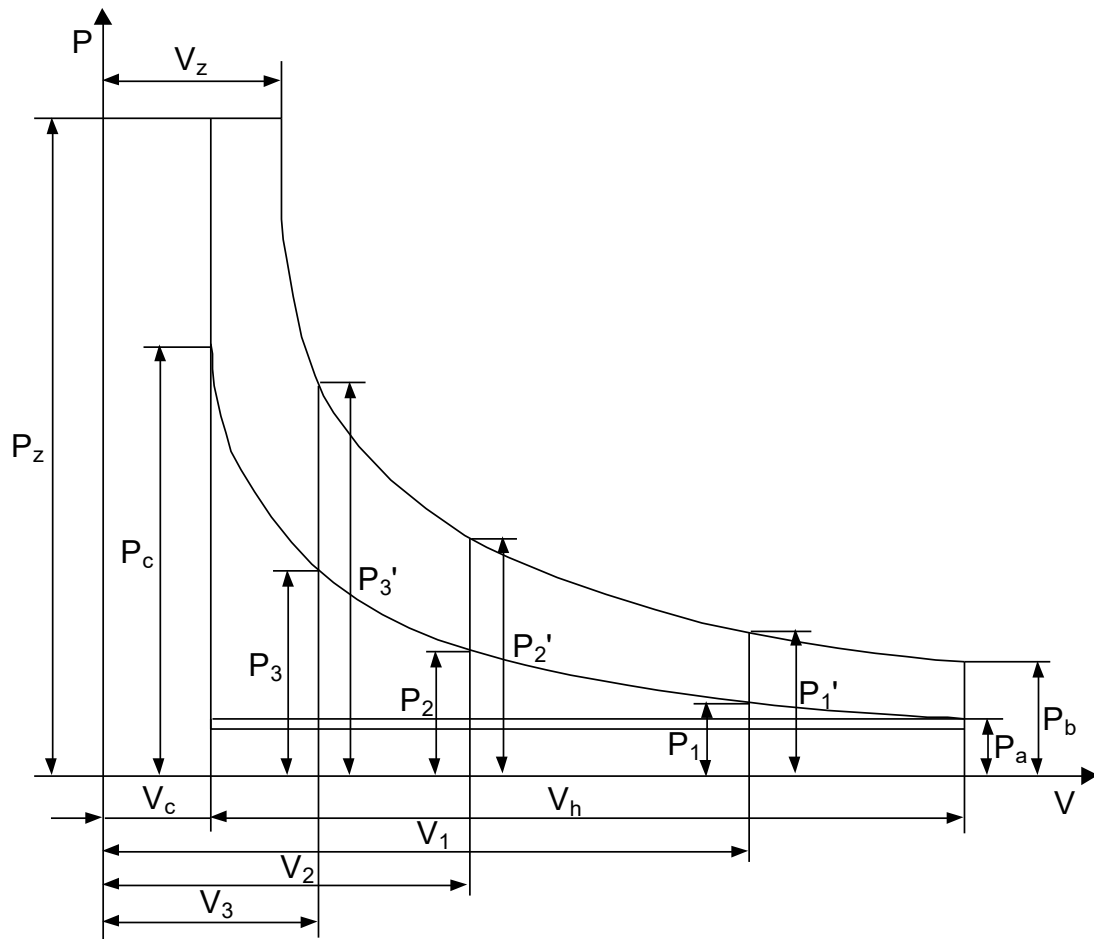


Рисунок 1 – Построение расчетной индикаторной диаграммы

Параметры рабочего процесса 4-тактных тепловозных двигателей

| № п/п | Параметры | Двигатели | | | | | | | | | | | |
|-------|--|-------------------------|------------------------------|------------------------|------------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | | 6ЧН31, 8/33 (Д50) | 6ЧН31, 8/33 (ПД1М) | 16ЧН2 4/27 (Д70) | 12ЧН2 4/27 (12Д70) | 16ЧН2 4/27 (3Д70) | 8ЧН26/ 26 (6Д49) | 16ЧН2 6/26 (Д49) | 16ЧН2 6/26 (5Д49) | 20ЧН2 6/26 (1Д49) | 12ЧН3 2/32 ¹⁾ | 12ЧН1 8/20 (М756) | 12ЧН1 5/18 (1Д12) |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| 1. | Эффективная мощность, кВт. | 736 | 883 | 2208 | 1472 | 2944 | 883 | 2208 | 2944 | 4410 | 4412 | 626 | 368 |
| 2. | Частота вращения коленчатого вала, мин ⁻¹ . | 740 | 750 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1100 | 900 | 1500 | 1800 |
| 3. | Среднее эффективное давление, МПа. | 0,76 | 0,90 | 1,33 | 1,32 | 1,80 | 0,96 | 1,38 | 1,60 | 1,745 | 1,91 | 0,84 | 0,79 |
| 4. | Давление наддувочного воздуха, МПа | 0,13 | 0,16 | 0,24 | 0,24 | 0,28 | 0,18 | 0,23 | 0,28 | 0,31 | 0,321 | 0,17 | 0,16 |
| 5. | Средняя скорость поршня, м/с. | 8,2 | 8,3 | 9,0 | 9,0 | 9,0 | 8,7 | 8,7 | 8,7 | 9,53 | 9,6 | 10,5 | 9,6 |
| 6. | Температура воздуха после турбокомпрессора, К | 331 | 349 | 446 | 397 | 400 | 403 | 396 | 425 | - | - | 365 | - |
| 7. | Температура воздуха после воздухоохладителя, К | - | 321 | 318 | 335 | 338 | 343 | 338 | 338 | - | 339 | 318 | - |
| 8. | Давление в начале сжатия, МПа | 0,14 | 0,16 | 0,22 | 0,23 | 0,26 | 0,17 | 0,18 | 0,23 | - | - | 0,15 | 0,08 |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
|-----|--------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 9. | Температура в начале сжатия, К | 344 | 334 | 334 | 345 | 460 | 355 | 355 | 360 | - | - | 354 | - |
| 10. | Коэффициент наполнения | 0,85 | 0,88 | 0,89 | 0,99 | 0,89 | 0,88 | 0,85 | 0,89 | - | - | 0,857 | 0,83 |
| 11. | Давление в конце сжатия, МПа | 3,53 | 3,83 | 8,17 | 7,64 | 9,80 | 6,86 | 6,86 | 9,31 | - | 9,03 | 5,67 | 4,12 |
| 12. | Температура в конце сжатия, К | 820 | 795 | 937 | 930 | 940 | - | - | - | - | - | 956 | - |
| 13. | Максимальное давление сгорания, МПа | 5,49 | 6,27 | 10,78 | 11,27 | 11,27 | 8,04 | 10,78 | 10,78 | 12,75 | 14,0 | 8,82 | 8,82 |
| 14. | Степень повышения давления | 1,55 | 1,51 | 1,40 | 1,46 | 1,38 | 1,17 | 1,57 | 1,16 | - | 1,55 | 1,55 | 2,14 |
| 15. | Максимальная температура сгорания, К | 1753 | 1828 | 1836 | 1840 | 1860 | - | - | - | 1903 | 1773 | 1872 | - |
| 16. | Давление в начале выпуска, МПа | 0,49 | 0,49 | 0,62 | 0,62 | 0,64 | - | - | - | - | - | 0,44 | - |
| 17. | Температура в начале выпуска, К | 1150 | 1105 | 1100 | 1070 | 1150 | - | - | - | - | - | 938 | - |
| 18. | Удельная масса двигателя, кг/кВт | 22,1 | 18,2 | 7,9 | 8,2 | 5,8 | 9,0 | 7,3 | 5,5 | 7,43 | - | 2,5 | 4,8 |
| 19. | Индикаторный КПД | 0,410 | 0,445 | 0,465 | 0,466 | 0,460 | 0,490 | 0,470 | 0,460 | - | 0,460 | 0,429 | 0,460 |
| 20. | Механический КПД | 0,843 | 0,862 | 0,900 | 0,890 | 0,900 | 0,870 | 0,862 | 0,905 | - | 0,837 | 0,853 | 0,803 |
| 21. | Эффективный КПД | 0,314 | 0,375 | 0,420 | 0,425 | 0,420 | 0,426 | 0,405 | 0,410 | - | 0,385 | 0,366 | 0,370 |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
|-----|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 22. | Удельный эффективный расход топлива, кг/кВт·ч | 0,247 | 0,232 | 0,204 | 0,203 | 0,207 | 0,211 | 0,206 | 0,206 | 0,214 | 0,220 | 0,230 | 0,211 |
| 23. | Коэффициент избытка воздуха | 1,92 | 2,09 | 2,10 | 2,10 | 1,92 | 2,10 | 2,10 | 1,97 | - | 1,98 | 2,10 | 1,60 |
| 24. | Суммарный коэффициент избытка воздуха | 2,14 | 2,20 | 2,60 | 2,30 | 2,36 | 2,64 | 2,32 | - | - | - | 2,60 | 2,04 |
| 25. | Температура выпускных газов перед турбиной, К | 825 | 860 | 870 | 860 | 875 | 895 | 815 | 920 | 885 | 903 | - | - |
| 26. | Показатель политропы сжатия | 1,37 | 1,37 | 1,36 | 1,35 | 1,36 | - | - | - | - | - | 1,38 | 1,37 |
| 27. | Показатель политропы расширения | 1,21 | 1,22 | 1,29 | 1,28 | 1,23 | - | - | - | - | - | 1,29 | 1,25 |
| 28. | Коэффициент выделения тепла | 0,80 | 0,82 | 0,82 | 0,82 | 0,85 | 0,80 | 0,82 | 0,80 | - | - | 0,80 | 0,80 |
| 29. | Степень предварительного расширения | 1,41 | 1,50 | 1,35 | 1,36 | 1,56 | - | - | - | - | - | 1,28 | - |
| 30. | Степень последующего расширения | 8,02 | 7,5 | 10,0 | 9,6 | 7,4 | - | - | - | - | - | 10,48 | - |
| 31. | Степень сжатия | 12,2 | 11,5 | 13,0 | 13,0 | 11,5 | 13,5 | 13,5 | 13,0 | - | 11,5 | 13,5 | 15,0 |
| 32. | Коэффициент остаточных газов | 0 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,03 | 0,04 | 0,03 | 0,04 | - | - | 0,03 | 0,05 |

¹⁾ Все параметры (за исключением мощности) получены на отсеке 1ЧН32/32 во время доводочных испытаний.

Параметры рабочего процесса 2-тактных тепловозных двигателей

| № п/п | Параметры | Двигатели | | | | |
|----------|--|--------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|---------------------|----------------------|
| | | 10ДН20,7/2х2 5,4 (2Д100) | 8ДН20,7/2х25 ,4 (6Д100) | 10ДН20,7/2х2 5,4 (10Д100) | 12ДН23/30 (1Д40) | 16ДН23/30 (11Д45) |
| 1. | Эффективная мощность, кВт | 1470 | 1470 | 2208 | 1470 | 2208 |
| 2. | Частота вращения коленчатого вала, мин ⁻¹ | 850 | 850 | 850 | 750 | 750 |
| 3. | Число и расположение цилиндров | 10ПДП | 8ПДП | 10ПДП | 12V | 16V |
| 4. | Давление наддувочного воздуха, МПа | 0,137 | 0,22 | 0,22 | 0,20 | 0,21 |
| 5. | Среднее эффективное давление, МПа | 0,62 | 0,78 | 0,93 | 0,80 | 0,91 |
| 6. | Удельный эффективный расход топлива, кг/кВт·ч | 0,231 | 0,218 | 0,218 | 0,218 | 0,231 |
| 7. | Удельная масса двигателя, кг/кВт | 13,2 | - | 8,83 | 8,5 | 6,25 |

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

3.1 Методические указания к практическим занятиям и выполнению курсовой работы

Содержатся общие сведения об электромеханических, электротяговых характеристиках тяговых электродвигателей, тяговых характеристиках тепловозов и электроподвижного состава, порядок их расчёта и построения.

1 Объём и оформление курсовой работы

Курсовая работа состоит из пояснительной записки и двух листов чертежей формата А3 (297×420).

Пояснительная записка выполняется на листах формата А4 (210×297) без рамок с полями слева 30 мм, справа 10 мм, сверху 20 мм, снизу 25 мм. Нумерация страниц – в верхнем правом углу.

В пояснительной записке должны быть отражены основные положения теории и расчётные зависимости по рассматриваемым вопросам, общие понятия об электромеханических, электротяговых характеристиках тяговых электродвигателей (ТЭД) и тяговой характеристике локомотива, порядок их расчёта.

На первом листе графической части курсовой работы должны быть представлены электромеханические и электротяговые характеристики ТЭД заданного локомотива, на втором листе – вычерчивается рассчитанная тяговая характеристика локомотива с нанесёнными на неё ограничениями силы тяги по сцеплению колёс локомотива с рельсами и по конструкционной скорости локомотива, а также числовые значения расчётных параметров касательной силы тяги и скорости на расчётном режиме ($F_{кр}$, V_p). Электромеханические и электротяговые характеристики ТЭД и тяговая характеристика локомотива вычерчиваются в произвольном, удобном для пользования масштабе при заполнении чертёжных листов не менее чем на 75 %.

2 Электромеханические и электротяговые характеристики ТЭД локомотивов и порядок их расчёта

Различают электромеханические (характеристики на валу ТЭД) и электротяговые (отнесённые к ободу движущих колёсных пар) характеристики тяговых электродвигателей локомотивов.

Электромеханическими характеристиками ТЭД называют зависимости частоты вращения якоря $n_{я}$, крутящего момента $M_{я}$, создаваемого якорем, и к.п.д. двигателя $\eta_{ТЭД}$ от тока нагрузки I_d при неизменном напряжении и постоянной температуре обмоток ТЭД.

Эти характеристики можно отнести к ободам колёс колёсных пар, то есть получить зависимости скорости движения локомотива V , силы тяги в точке касания колеса с рельсом $F_{кд}$ и к.п.д. η от тока нагрузки электродвигателя I_d . Такие характеристики называют электротяговыми характеристиками ТЭД. Для получения электротяговых характеристик необходимо произвести перерасчёт электромеханических характеристик, исходя из схемы колёсно-моторного блока ТЭД (Рис.1).

Вал якоря ТЭД связан с колёсной парой локомотива через зубчатую передачу (тяговый редуктор). Отношение числа зубьев зубчатого колеса, насаженного на ось ко-

лётной пары или удлиненную ступицу колёсного центра (Z_2) к числу зубьев шестерни на валу якоря ТЭД (Z_1) называют передаточным числом μ тягового редуктора

$$\mu = \frac{Z_2}{Z_1}; \text{ или } \mu = \frac{n_{\text{я}}}{n_{\text{к}}} = \frac{M_{\text{к}}}{M_{\text{я}}}. \quad (1)$$

Между частотой вращения вала якоря ТЭД $n_{\text{я}}$ и скоростью движения V локомотива существует зависимость:

$$V = \frac{\pi D_{\text{к}} n_{\text{к}}}{60} = \frac{\pi D_{\text{к}} n_{\text{я}}}{60 \mu}, \text{ м/с, или } V = \frac{\pi D_{\text{к}} n_{\text{я}}}{60 \mu} 3,6 = 0,188 \frac{D_{\text{к}} n_{\text{я}}}{\mu}; \text{ км/ч.} \quad (2)$$

Касательную силу тяги на ободу колёсной пары ($F_{\text{кд}}$) можно получить через крутящий момент ($M_{\text{я}}$) на валу ТЭД из выражения:

$$F_{\text{кд}} = \frac{2M_{\text{к}}}{D_{\text{к}}} = \frac{2M_{\text{я}} \mu}{D_{\text{к}}} \cdot \eta_{\text{з.п.}} \quad (3)$$

где $\eta_{\text{з.п.}}$ – к.п.д. зубчатой передачи ($\eta_{\text{з.п.}} = 0,97$)

Используя зависимости (2) и (3), можно рассчитать и построить электротяговые характеристики ТЭД на ободах колёсной пары по заданным параметрам электромеханических характеристик на валу якоря ТЭД.

Параметры электромеханических характеристик ТЭД локомотивов различных серий приведены в приложении.

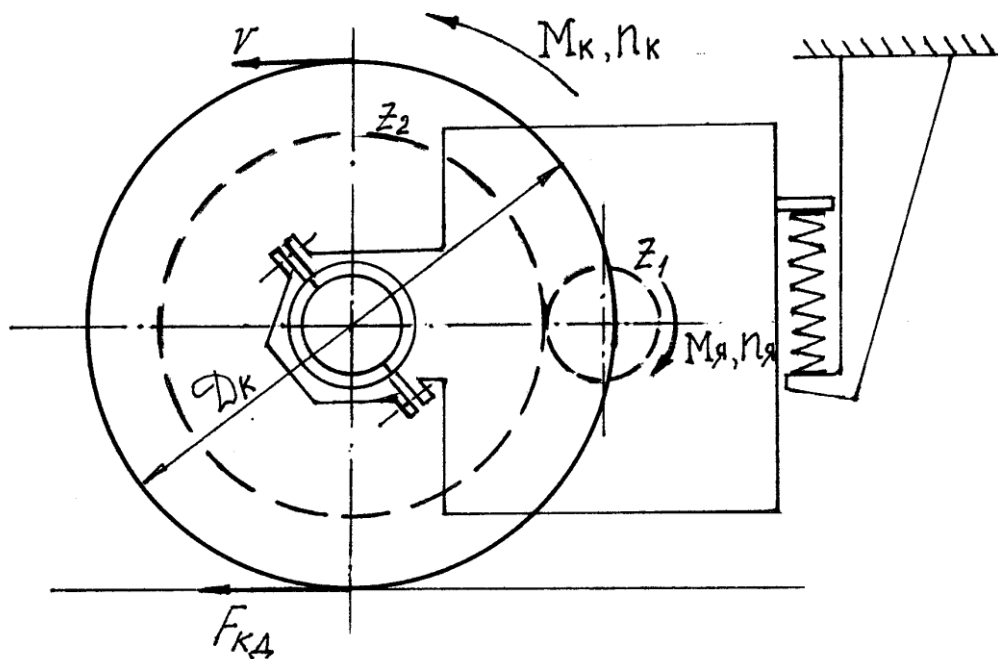


Рис. 1

Z_1, Z_2 – число зубьев у ведущей шестерни якоря ТЭД и зубчатого колеса колёсной пары;

$n_{\text{я}}, n_{\text{к}}$ – частота вращения якоря ТЭД и колёсной пары. об/мин.;

$M_{\text{я}}, M_{\text{к}}$ – крутящий момент на валу якоря ТЭД и зубчатом колесе колёсной пары, кгс•м;

$D_{\text{к}}$ – диаметр колеса по кругу катания, м;

$F_{\text{кд}}$ – касательная сила тяги, реализуемая ТЭД, приведённая к ободу колеса, кгс;

V – линейная скорость колёсной пары, км/ч.

3 Расчёт и построение тяговых характеристик локомотивов

Важнейшей характеристикой локомотива, позволяющей определить силы, действующие на поезд и, в конечном счёте, массу состава, является тяговая характеристика. Она представляет собой графическую зависимость касательной силы локомотива на ободах его коёсных пар (F_k) от скорости движения (V).

Тяговую характеристику локомотива $F_k = f(v)$ можно рассчитать и построить на основании электротяговых характеристик ТЭД.

Для построения зависимости $F_k = f(v)$ необходимо задаться несколькими (пятью-шестью) значениями тока I_d и по построенным электротяговым характеристикам определить соответствующие принятым величинам I_d значения силы тяги $F_{кд}$ и скорости движения V .

Полная касательная сила тяги локомотива (F_k) определяется из выражения:

$$F_k = F_{кд}m, \quad (4)$$

где m – количество ТЭД на локомотиве.

Полученные данные удобно свести в табл. 1 следующей формы:

Таблица 1

| Ток ТЭД | Частота вращения якоря ТЭД | Скорость локомотива | Крутящий момент якоря | Касательная сила тяги ТЭД | Касательная сила тяги локомотива |
|-----------|----------------------------|---------------------|-----------------------|---------------------------|----------------------------------|
| I_d , А | $nя$, об/мин | V , км/час | $Mя$, кгс | $F_{кд}$, кгс | F_k , кгс |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |

Данные колонок 3, 6 табл. 1 являются координатами точек искомой тяговой характеристики локомотива. Нанеся эти точки на планшет с системой координат F_k - V и соединив их плавной кривой (с помощью лекала), получаем расчётную тяговую характеристику локомотива $F_k=f(v)$.

4 Расчёт и нанесение на тяговую характеристику локомотива ограничений

Существует ряд ограничений касательной силы тяги локомотива.

Общими для всех типов тепловозов и электроподвижного состава являются ограничения силы тяги по сцеплению колёс локомотива с рельсами и по конструкционной (наибольшей допустимой) скорости.

Для наложения на тяговую характеристику ограничения по условиям сцепления движущих колёс локомотива с рельсами необходимо рассчитать и построить зависимость наибольшей касательной силы, которая может быть реализована локомотивом (при отсутствии боксования колёс), от скорости движения $F_{сц} = f(V)$.

$$F_{сц} = P_{сц}\Psi_k, \quad (5)$$

где $F_{сц}$ – наибольшая сила тяги локомотива, допускаемая по условиям сцепления колёс с рельсами, кгс;

$P_{сц}$ – сцепная масса локомотива, кг;

$$P_{сц} = 1000 \cdot 2\Pi \cdot m, \quad (6)$$

где 2Π –нагрузка от оси на рельсы, т (берётся из задания).

m – число движущих колёсных пар локомотива, равное количеству тяговых электродвигателей;

Ψ_k – Расчётный коэффициент сцепления.

Правилами тяговых расчётов для поездной работы установлены следующие эмпирические зависимости для определения Ψ_k :

а) электровозы постоянного тока

$$\Psi_k = 0,28 + \frac{3}{50 + 20V} - 0,0007V ; \quad (7)$$

б) электровозы переменного тока

$$\Psi_k = 0,28 + \frac{4}{50 + 6V} - 0,0006V ; \quad (8)$$

в) для тепловозов, кроме серий ТЭ10 и 2ТЭ10Л,

$$\Psi_k = 0,118 + \frac{5}{27,5 + V} ; \quad (9)$$

г) для тепловозов серий ТЭ10 и 2ТЭ10Л

$$\Psi_k = 0,118 + \frac{4}{22 + V} ; \quad (10)$$

где V – скорость движения локомотива, км/ч.

Величина $F_{сц}$ вычисляется для нескольких значений скорости (0; 10; 20; 30; 40; 50; и т.д., км/ч).

Результаты расчётов Ψ_k и $F_{сц}$ удобно свести в табл. 2 следующей формы.

Таблица 2

Расчёт зависимости $F_{сц} = f(V)$

| Скорость V , км/ч | Коэффициент сцепления Ψ_k | Сила тяги по сцеплению $F_{сц}$, кгс |
|---------------------|--------------------------------|---------------------------------------|
| 1 | 2 | 3 |

По данным колонок 1 и 3 заносим точки на планшет тяговой характеристики и соединяем их плавной кривой. Построенная кривая и будет графической зависимостью $F_{сц} = f(V)$, то есть ограничением силы тяги по условиям сцепления движущих колёс локомотива с рельсами.

Ограничение по конструкционной скорости наносится на тяговую характеристику локомотива в виде вертикальной линии, проходящей через значение $V_{контр}$, которое приведено в задании.

Пример тяговой характеристики с нанесёнными ограничениями, построенной указанным способом, представлен на рис. 2.

В точке пересечения кривой $F_{сц} = f(V)$ и тяговой характеристики $F_k = f(V)$ полностью используется как сцепная масса локомотива, так и мощность его ТЭД.

Поэтому режим работы локомотива, соответствующий этой точке ($F_{кр}$ и V_p), может быть принят за расчётный при определении массы состава.

Касательная мощность локомотива (на ободе движущих колёс) при расчётных параметрах ($F_{кр}$ и V_p) может быть определена из выражения:

$$N_k = \frac{F_{кр} \cdot V_p}{367}, \text{ кВт} \quad (11)$$

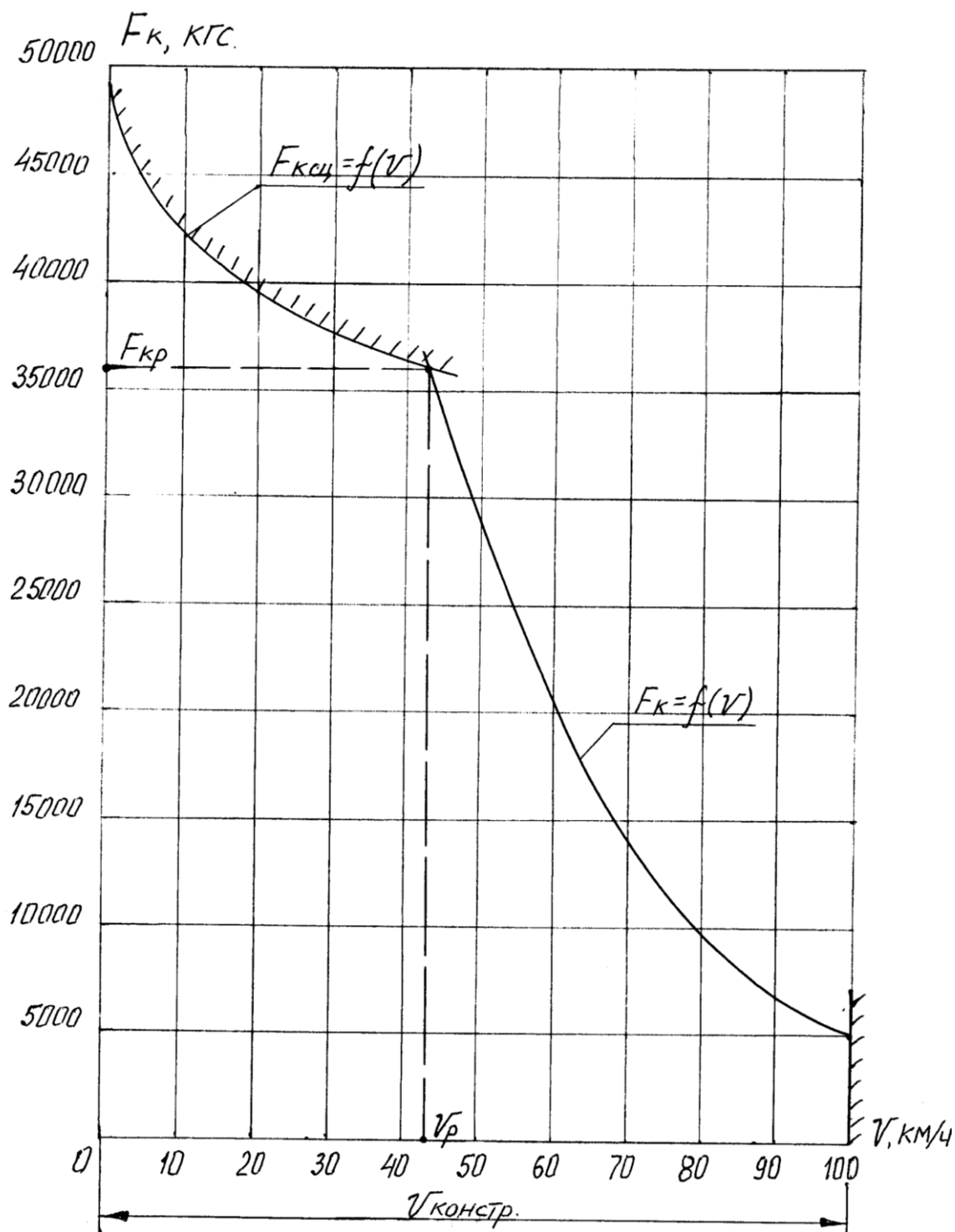


Рис. 2.

5 Составление кинематической схемы передачи крутящего момента в колёсно-моторном блоке заданного локомотива-образца

На локомотивах с электрической передачей тяговые электродвигатели (ТЭД), расположенные на тележках, обеспечивают передачу крутящего момента от якоря ТЭД к колёсным парам через тяговый редуктор (т.р.). Он состоит из шестерни, укрепленной на конце вала якоря ТЭД, и зубчатого колеса на оси колёсной пары. На локомотивах применяются 3 способа установки (подвешивания) ТЭД на тележке: опорно-осевое подвешивание, опорно-рамное и комбинированное.

При опорно-осевом подвешивании (рис.3а) тяговый двигатель одним концом с помощью моторно-осевого подшипника 5 опирается на ось колёсной пары 4.

С противоположной стороны через пружинный пакет 6 – на кронштейн рамы тележки 7.

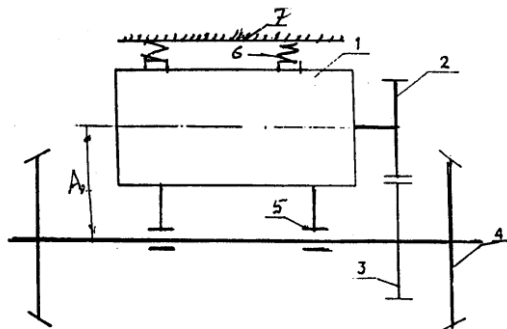


Рис. 3а

Крутящий момент от ТЭД 1 через шестерню 2 передается на зубчатое колесо 3, напрессованное на ось колёсной пары.

Такое подвешивание ТЭД применяется на всех отечественных электровозах и на тепловозах, за исключением 2ТЭ121 и пассажирских тепловозов ТЭП60, ТЭП70, ТЭП75.

Существенным преимуществом такого подвешивания является простота конструкции передачи крутящего момента от

ТЭД к колёсной паре.

Однако опора одного конца двигателя на ось колёсной пары приводит к тому, что часть его массы (примерно половина) жёстко (без упругого рессорного подвешивания) передается на рельсовый путь. Следовательно, так называемая необрессоренная масса, при этом подвешивании увеличивается на $\frac{1}{2}$ массы ТЭД. Это приводит к ухудшению динамических качеств локомотива и является недостатком такого подвешивания. Заметим, однако, что такое ухудшение существенно проявляется при скоростях выше 100 км/ч.

Наши грузовые локомотивы почти все имеют конструкционную (т.е. максимальную) скорость 100км/ч. Поэтому на них и применяется такое подвешивание, учитывая простоту конструкции.

Опорно-рамное подвешивание ТЭД (рис. 3 б) нашло применение на пассажирских тепловозах ТЭП60, ТЭП70 и ТЭП75 с конструкционной скоростью 160 км/ч.

Здесь подвешивание более сложное, особенно механизм передачи крутящего момента.

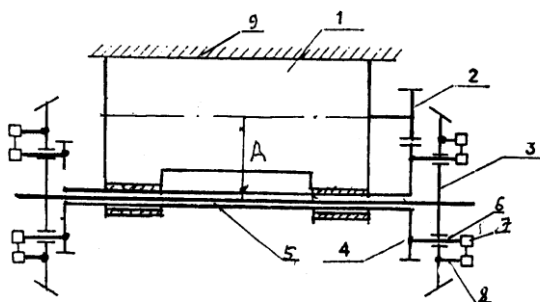


Рис. 3б

Тяговый двигатель 1 полностью закреплён на раме тележки 9. Шестерня 2 якоря ТЭД передает крутящий момент на зубчатое колесо 4, установленное на полый вал 5, который в процессе сборки колёсной пары 3, располагается внутри её. Полый вал вращается в подшипниках ТЭД и вместе с ним совершает колебания на рессорном подвешивании. Таким образом, возникает сложность передачи крутящего момента от колеблющегося тягового редуктора (вместе с полым валом)

к колёсной паре, движущейся по рельсовой коле.

На указанных выше тепловозах применяется механизм передачи крутящего момента французской фирмы Альстом. В этом случае, через валик 6, проходящий внутри отверстия в центре колёсной пары, крутящий момент передается через поводки 7 и специальную муфту на второй валик 8, закреплённый в центре колёсной пары. По концам поводков 7 имеются резинометаллические блоки, обеспечивающие упругую передачу крутящего момента. Сложность этого механизма является основным недостатком такого подвешивания. Преимущество-уменьшение неподрессоренной массы (на $\frac{1}{2}$ массы ТЭД).

В какой-то мере компромиссным вариантом является комбинированное подвешивание ТЭД, применяемое на тепловозах 2ТЭ121. (рис. 3в).

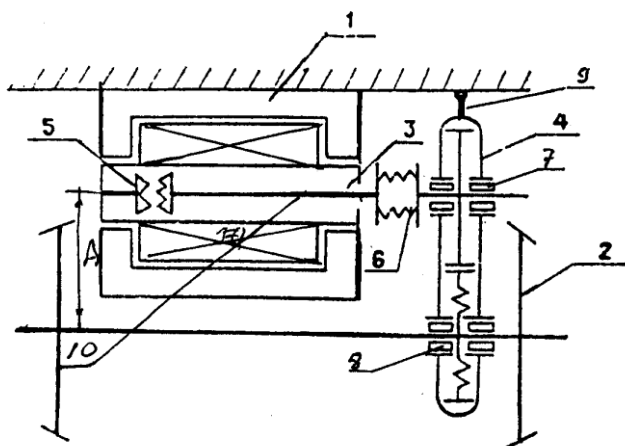


Рис. 3в

Здесь тяговый двигатель 1 имеет опорно-рамное подвешивание, а тяговый редуктор 4 вместе с его корпусом – опорно-осевое. В этом случае, якорь ТЭД имеет полый вал 3, внутри которого располагается торсионный вал 10. Крутящий момент от якоря ТЭД через зубчатую муфту 5 передаётся на торсионный вал, а затем с помощью упругой муфты 6 на шестерню тягового редуктора 4 и через зубчатое колесо – на ось колёсной пары 2.

Вал шестерни т.р. вращается в подшипниках 7 корпуса 4, а сам корпус т.р. через подшипники 8 опирается на ось колёсной пары 2. Второй конец корпуса через упругое соединение 9 подвешивается к раме тележки.

В соответствии с заданным типом локомотива-образца, студент должен выбрать тип подвешивания ТЭД, привести в пояснительной записке схему этого подвешивания и определить передаточное число тягового редуктора.

6 Определение передаточного числа тягового редуктора (т.р.)

Как сказано выше, передаточное число μ можно выразить через отношение числа зубьев шестерён тягового редуктора или частот вращения якоря ТЭД и колёсной пары, или крутящих моментов, т.е.

$$\mu = \frac{Z_2}{Z_1} = \frac{n_{я}}{n_{к}} = \frac{M_{к}}{M_{я\infty}}, \quad (12)$$

где $M_{я\infty}$ – крутящий момент, создаваемый якорем ТЭД на длительном режиме.

Очевидно (рис. 1)

$$M_{к\infty} = \frac{F_{к\infty} \cdot D_{к}}{2} \quad (13)$$

$$N_{к\infty} = \frac{F_{к\infty} \cdot V_p}{3,6} \quad \text{или} \quad F_{к\infty} = \frac{3,6 \cdot N_{к\infty}}{V_p},$$

с другой стороны, касательную мощность можно представить

$$N_{к\infty} = M_{я\infty} \omega = M_{я\infty} \frac{\pi n_{я\infty}}{30}, \quad \text{откуда} \quad M_{я\infty} = \frac{30}{\pi} \cdot \frac{N_{к\infty}}{n_{я\infty}} = 9,55 \frac{N_{к\infty}}{n_{я\infty}}. \quad (14)$$

Здесь: $F_{к\infty}$ и $N_{к\infty}$ – касательные силы тяги и мощность на длительном режиме;

V_p – скорость на расчётном режиме;

$n_{я\infty}$ – длительная частота вращения якоря ТЭД.

Из очевидного соотношения:

$$\frac{n_{я\max}}{V_{\text{конст}}} = \frac{n_{я\infty}}{V_p}, \quad \text{получим} \quad n_{я\infty} = n_{я\max} \frac{V_p}{V_{\text{конст}}}, \quad (15)$$

где $V_{\text{конст}}$ – конструкционная скорость локомотива, км/ч;

$n_{\text{ямах}}$ – максимально допустимая частота вращения якоря ТЭД по условиям прочности, об/мин

Подставляя в (12) значения (13), (14), (15), после преобразований, окончательно получим:

$$\mu = 0,19 \frac{n_{\text{ямах}} D_k}{V_{\text{констр}}} . \quad (16).$$

Здесь: D_k в метрах, а $V_{\text{констр}}$ в км/ч.

В расчётах можно принять $n_{\text{ямах}} = 2200 \dots 2300$ об/мин.

По формуле (16) определяется ориентировочное значение μ по условиям прочности якоря ТЭД.

Окончательное значение μ уточняется в зависимости от размещения ТЭД на тележке, с учётом длины централи «А».

Работу тягового редуктора можно представить, как вращение двух начальных окружностей – шестерни и зубчатого колеса друг относительно друга (рис. 4).

В курсе «Детали машин» отношение диаметра начальной окружности $D_{н.о}$ в мм к числу зубьев Z называется модулем передачи « m », т.е.

$$m = \frac{D_{н.о}}{Z}$$

Тогда, очевидно, расстояние между осями ТЭД и колёсной пары или централь A (см. рис. 3а, 3б, 3в), будет равна:

$$A = \frac{D_{но1}}{2} + \frac{D_{но2}}{2} = \frac{Z_1 m + Z_2 m}{2} = \frac{(Z_1 + Z_2)m}{2}, \quad (17)$$

$$\text{С другой стороны } \mu = \frac{Z_2}{Z_1} \quad (18)$$

Получили два уравнения (17) и (18), решая которые определим значения Z_1 и Z_2 . Округлив их до ближайшего целого, окончательно получаем значение μ по формуле (18).

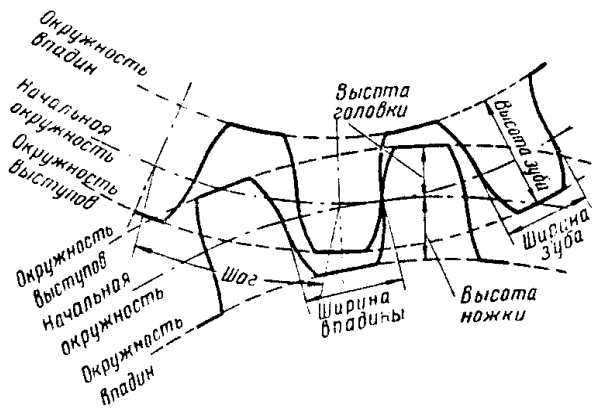


Рис. 4

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

- 1 Тепловозы. Основы теории и конструкции / под ред. д.т.н. В.Д. Кузьмича. – М.: Транспорт, 1982. – 317 с.
- 2 Подвижной состав и тяга поездов / под ред. В.В. Деева и Н.А. Фурьянского. – М.: Транспорт, 1979. – 368 с.
- 3 Шапшал С.М., Богославский Е.Г. Методические указания к курсовой работе № 1 по дисциплине «Локомотивы» – Ростов н/Д, 1991. – 27 с.
- 4 Деев В.В., Ильин Г.А., Афонин Г.С. Тяга поездов: учеб. пособие для вузов / под ред. В.В. Деева. – М.: Транспорт, 1987. – 264 с.
- 5 Правила тяговых расчётов для поездной работы. – М.: Транспорт, 1985 – 287 с.
- 6 Локомотивы (Общий курс). Задание на курсовую работу № 1 с методическими указаниями для студентов специальности «Тепловозы и тепловозное хозяйство». – М.: ВЗИ-ИТ, 1990. – 47 с.

Электромеханические характеристики тепловозов

| 2ТЭ10В; ЭД118А, Д _к =1,05 | | | ТЭМ7; ЭД118А; Д _к =1,05 | | | ТЭ121, ЭД118А Д _к =1,05 | | | ТЭ3, ЭДТ200Б Д _к =1,05 | | |
|--|------------|---------------------------|---------------------------------------|------------|-------------------------------|---------------------------------------|------------|---------------------------|---------------------------------------|------------|---------------------------|
| Ія, А | Мя, КГМ | п _я об/м ИН | Ія, А | Мя, КГМ | п _я об/ МИН | Ія, А | Мя, КГМ | п _я об/ МИН | Ія, А | Мя, КГМ | п _я об/ МИН |
| 500 | 316 | 936 | 500 | 316 | 669 | 500 | 375 | 1137 | 200 | 59 | 1390 |
| 600 | 438 | 736 | 600 | 438 | 555 | 600 | 476 | 958 | 300 | 95 | 1115 |
| 700 | 494 | 557 | 700 | 494 | 468 | 700 | 583 | 780 | 400 | 137 | 925 |
| 800 | 607 | 446 | 800 | 607 | 379 | 800 | 696 | 669 | 500 | 220 | 780 |
| 900 | 714 | 379 | 900 | 714 | 312 | 900 | 809 | 597 | 600 | 262 | 669 |
| 1000 | 833 | 312 | 1000 | 833 | 267 | 1000 | ---- | 490 | 700 | 345 | 557 |
| | | | | | | | | | 800 | 405 | 468 |
| | | | | | | | | | 900 | 452 | 401 |
| | | | | | | | | | 1000 | 524 | 312 |
| | | | | | | | | | 1100 | 694 | 267 |
| ТЭЛ70М; ЭДТ200Б Д _к =1,22М | | | ТЭ7; ЭДТ200Б Д _к =1,05М | | | ТЭП60 Д _к =1,05М | | | ТЭП70; ЭД119 Д _к =1,22М | | |
| Ія, А | Мя, КГМ | п _я об/м ИН | Ія, А | Мя, КГМ | п _я о б/м ИН | Ія, А | Мя, КГМ | п _я об/ МИН | Ія, А | Мя, КГМ | п _я об/ МИН |
| 200 | 497 | 950 | 200 | 104 | 899 | 500 | 294 | 938 | 600 | 300 | 1250 |
| 300 | 585 | 814 | 300 | 166 | 770 | 600 | 384 | 751 | 700 | 400 | 1000 |
| 400 | 663 | 692 | 400 | 238 | 655 | 700 | 475 | 610 | 800 | 500 | 800 |
| 500 | 712 | 584 | 500 | 383 | 552 | 800 | 576 | 493 | 900 | 590 | 720 |
| 600 | 800 | 516 | 600 | 455 | 488 | 900 | 689 | 399 | 1000 | 630 | 604 |
| 700 | 887 | 421 | 700 | 600 | 398 | 1000 | 802 | 328 | 1100 | 720 | 509 |
| 800 | 975 | 380 | 800 | 704 | 359 | 1100 | 915 | 287 | 1200 | 800 | 470 |
| 900 | 1073 | 326 | 900 | 787 | 308 | | | | 1300 | 880 | 400 |
| 1000 | 1180 | 285 | 1000 | 911 | 270 | | | | | | |
| 1100 | 1287 | 258 | 1100 | 1014 | 244 | | | | | | |
| ТЭМ2; ЭД107; ЭД107А; ЭД118А | | | М62; ЭД107А | | | М62; ЭД118А | | | ТЭМ5; ЭД107А | | |

| Ія, А | Мя, КГМ | п _я об/м ИН | Ія, А | Мя, КГМ | п _я об/ МИН | Ія, А | Мя, КГМ | п _я о б/м ИН | Ія, А | Мя, КГМ | п _я об/ МИН |
|-------|------------|---------------------------|-------|------------|---------------------------|-------|------------|-------------------------------|-------|------------|---------------------------|
| 400 | 209 | 527 | 400 | 208 | 918 | 420 | 232,5 | 807 | 300 | 151 | 802 |
| 500 | 296 | 344 | 500 | 290 | 641 | 500 | 304,1 | 612 | 400 | 220 | 526 |
| 600 | 400 | 275 | 600 | 383 | 458 | 595 | 386,5 | 474 | 500 | 313 | 366 |
| 700 | 510 | 183 | 700 | 464 | 366 | 610 | 400,0 | 457 | 600 | 408 | 275 |
| 800 | 603 | 137 | 800 | 557 | 298 | 700 | 475,8 | 375 | 700 | 499 | 195 |
| 900 | 698 | 92 | 900 | 650 | 229 | 800 | 566,0 | 305 | 800 | 603 | 149 |
| | | | 1000 | 742 | 183 | 900 | 652,4 | 255 | 900 | 698 | 115 |
| | | | | | | 1000 | 738,3 | 214 | | | |

| 2ТЭ116; ЭД125 | | | Газотурбовоз ЭД126У | | | ЭД129 | | |
|----------------|----------------|----------------|---------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| І _я | М _я | п _я | І _я | М _я | п _я | І _я | М _я | п _я |
| 476 | 308,5 | 1026 | 680 | 566 | 1053 | 376 | 159,9 | 1451 |
| 500 | 334,9 | 945 | 800 | 716 | 828 | 500 | 239,4 | 960 |
| 550 | 381,3 | 830 | 930 | 874,7 | 667 | 700 | 360 | 611 |
| 600 | 428,9 | 738 | 1000 | 979 | 592 | 800 | 430,2 | 494 |
| 650 | 476,7 | 664 | 1100 | 1100 | 520 | 950 | 516 | 387 |
| 750 | 542,4 | 558 | 1250 | 1299,8 | 430 | | | |
| 800 | 633,1 | 500 | | | | | | |
| 850 | 695,7 | 455 | | | | | | |
| 900 | ----- | 411 | | | | | | |

| ЭД120 | | | ЭД126А, тепловоз 2ТЭ121 | | |
|----------------|----------------|----------------|-------------------------|----------------|----------------|
| І _я | М _я | п _я | І _я | М _я | п _я |
| 600 | 369,9 | 1122 | 620 | 497 | 810 |
| 700 | 447,4 | 918 | 700 | 595 | 674 |
| 880 | 610 | 657 | 825 | 733 | 536 |
| 1100 | 814,3 | 472 | 855 | 777 | 503 |
| 1250 | 960,4 | 386 | 1000 | 970 | 394 |
| | | | 1100 | 1100 | 340 |
| | | | 1215 | 1252 | 290 |

Электромеханические характеристики ТЭД электровозов

ВЛ10, ВЛ10У, тэд ТЛ2К1, Д_к = 1,25 м

| А | І _д , кГс.м | П П | |
|-----|---------------------------|-------------------------|------|
| | | п _я , об/мин | |
| | | СП | П |
| 150 | 132 | 733 | 1423 |
| 200 | 228 | 576 | 1148 |
| 250 | 333 | 511 | 1039 |
| 300 | 426 | 465 | 943 |
| 350 | 539 | 434 | 886 |
| 400 | 645 | 413 | 849 |
| 480 | 811 | 387 | 792 |
| 550 | 971 | 366 | 759 |
| 600 | 1085 | 355 | 738 |
| 700 | 1306 | 338 | 709 |
| 800 | 1528 | 322 | 680 |

ВЛ11, тэд ТЛ2К1, Д_к = 1,25 м

| А | І _д , кГс.м | П П | | |
|-----|---------------------------|-------------------------|-----|------|
| | | п _я , об/мин | | |
| | | с | СП | П |
| 150 | 132 | 359 | 733 | 1423 |
| 200 | 228 | 281 | 576 | 1148 |
| 250 | 333 | 239 | 511 | 1039 |
| 300 | 426 | 218 | 465 | 943 |
| 350 | 539 | 203 | 434 | 886 |
| 400 | 645 | 195 | 413 | 849 |
| 480 | 811 | 176 | 387 | 792 |
| 550 | 971 | 168 | 366 | 759 |
| 600 | 1085 | 163 | 355 | 738 |
| 700 | 1306 | 150 | 338 | 709 |
| 800 | 1528 | 143 | 322 | 680 |

Электромеханические характеристики ТЭД электровозов

**ВЛ80^к; ВЛ80^г; ВЛ80^с тэд НБ-418К;
Д_к = 1,25 м**

| I _д , А | 33 поз. Н.П | |
|-----------------------|------------------------|-------------------------|
| | М _я , кгс.м | n _я , об/мин |
| 250 | 101,6 | 2031 |
| 300 | 152 | 1720 |
| 350 | 204 | 1521 |
| 400 | 264 | 1391 |
| 450 | 318 | 1293 |
| 500 | 376 | 1219 |
| 600 | 492 | 1110 |
| 700 | 615 | 1028 |
| 800 | 735 | 964 |
| 900 | 861 | 915 |
| 1000 | 988 | 872 |
| 1100 | 1119 | 833 |
| 1200 | 1249 | 794 |
| 1300 | 1376 | 760 |
| 1400 | 1526 | 726 |
| 1500 | ----- | 696 |

ВЛ8, тэд НБ-406, Д_к = 1,25 м

| I _д , А | П П | | | |
|-----------------------|---------------------------|-------------------------|-----|------|
| | М _я , кгс.м | n _я , об/мин | | |
| | | С | СП | П |
| 68 | 40,0 | 406 | 824 | 1658 |
| 80 | 57,6 | 361 | 735 | 1484 |
| 90 | 75,2 | 328 | 677 | 1360 |
| 100 | 92,8 | 308 | 630 | 1277 |
| 140 | 168,0 | 249 | 516 | 1045 |
| 150 | 188,8 | 241 | 496 | 1010 |
| 175 | 241,6 | 222 | 461 | 940 |
| 200 | 294,4 | 207 | 436 | 890 |
| 210 | 315,2 | 204 | 428 | 874 |
| 250 | 403,2 | 189 | 398 | 822 |
| 300 | 516,8 | 174 | 370 | 768 |
| 340 | 606,4 | 164 | 353 | 735 |
| 350 | 633,6 | 161 | 348 | 726 |
| 380 | 707,2 | 154 | 338 | 706 |
| 400 | 752,2 | 151 | 332 | 695 |
| 450 | 878,4 | 143 | 317 | 670 |
| 500 | 1003,2 | 134 | 305 | 647 |
| 550 | 1134,4 | 128 | 294 | 627 |
| 600 | 1270,4 | 119 | 282 | 610 |

ВЛ80^р тэд НБ-418К; Д_к = 1,25 м

| I _д , А | Зона 4 | |
|-----------------------|------------------------|-------------------------|
| | Н.П | |
| | М _я , кгс.м | n _я , об/мин |
| 250 | 110,4 | 2057 |
| 300 | 164 | 1741 |
| 350 | 210 | 1559 |
| 400 | 270 | 1420 |
| 450 | 324 | 1309 |
| 500 | 382 | 1229 |
| 600 | 500 | 1112 |
| 700 | 619 | 1039 |
| 800 | 742 | 970 |
| 900 | 867 | 918 |
| 1000 | 1006 | 874 |
| 1100 | 1136 | 827 |
| 1200 | 1276 | 797 |
| 1300 | 1405 | 761 |
| 1400 | 1544 | 735 |

ВЛ60^к; ВЛ60^р; тэд НБ-412К, Д_к = 1,25 м

| I _д , А | 33 поз.Н.П | |
|-----------------------|------------------------|-------------------------|
| | М _я , кгс.м | n _я , об/мин |
| 200 | 214 | 1410 |
| 300 | 394 | 1126 |
| 400 | 601 | 972 |
| 500 | 828 | 861 |
| 600 | 1057 | 780 |
| 700 | 1286 | 725 |
| 800 | 1525 | 668 |

4 ТЕОРИЯ И КОНСТРУКЦИЯ ЛОКОМОТИВОВ

4.1 Методические указания к практическим занятиям и к выполнению курсового проекта (курсовой работы)

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.

В задании на курсовую работу (проект) студенту предлагается тепловоз-прототип, который служит основой для выбора схемы экипажной части. Основные данные тепловозов приведены в Приложении А.

СОСТАВ И СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Пояснительная записка

Структура и оформление ПЗ должны соответствовать СТП РГУПС 2007.

Тип экипажной части принимается студентом по тепловозу – прототипу.

В **первом** разделе необходимо дать краткое описание (3–6 листов), сопровождаемое иллюстрациями, следующих узлов:

- 1) опорно-возвращающего устройства;
- 2) шкворневого узла или другого устройства для передачи тягового усилия;
- 3) поводковой связи буксы с рамой тележки;
- 4) схемы рессорного подвешивания;
- 5) схемы подвешивания ТЭД.

Кратко описать механизм передачи вертикальных нагрузок от подрессорной массы тепловоза на колесные пары.

Во **втором** разделе произвести расчёт элементов рессорного подвешивания локомотива.

В **третьем** разделе произвести расчёт частот собственных колебаний локомотива, произвести приближённую оценку качества рессорного подвешивания.

В **четвертом** разделе произвести расчёт динамического вписывания локомотива в кривые, с оценкой безопасности движения локомотива в кривой. В ПК «Универсальный механизм» производится моделирование движения тележки, с построением горизонтального динамического паспорта.

Графическая часть

По результатам расчета динамического вписывания локомотива в кривые строится динамический паспорт локомотива на формате А1, где так же приводится схема динамического вписывания в положении максимального перекоса и схема динамического вписывания в положении хордовой установки.

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 наддресорное 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 [1–3] тележек (рис. 1а, 1б, 1г), 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. 1в).

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.

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 распределяется 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 поддресорному весу локомотива.

Сцепной вес локомотива определяется по формуле:

$$P_{сч} = 2П \cdot 6.$$

Поддресоренный вес локомотива, приходящийся на одну колесную пару.

$$Q_{кп} = 2П - 2q,$$

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

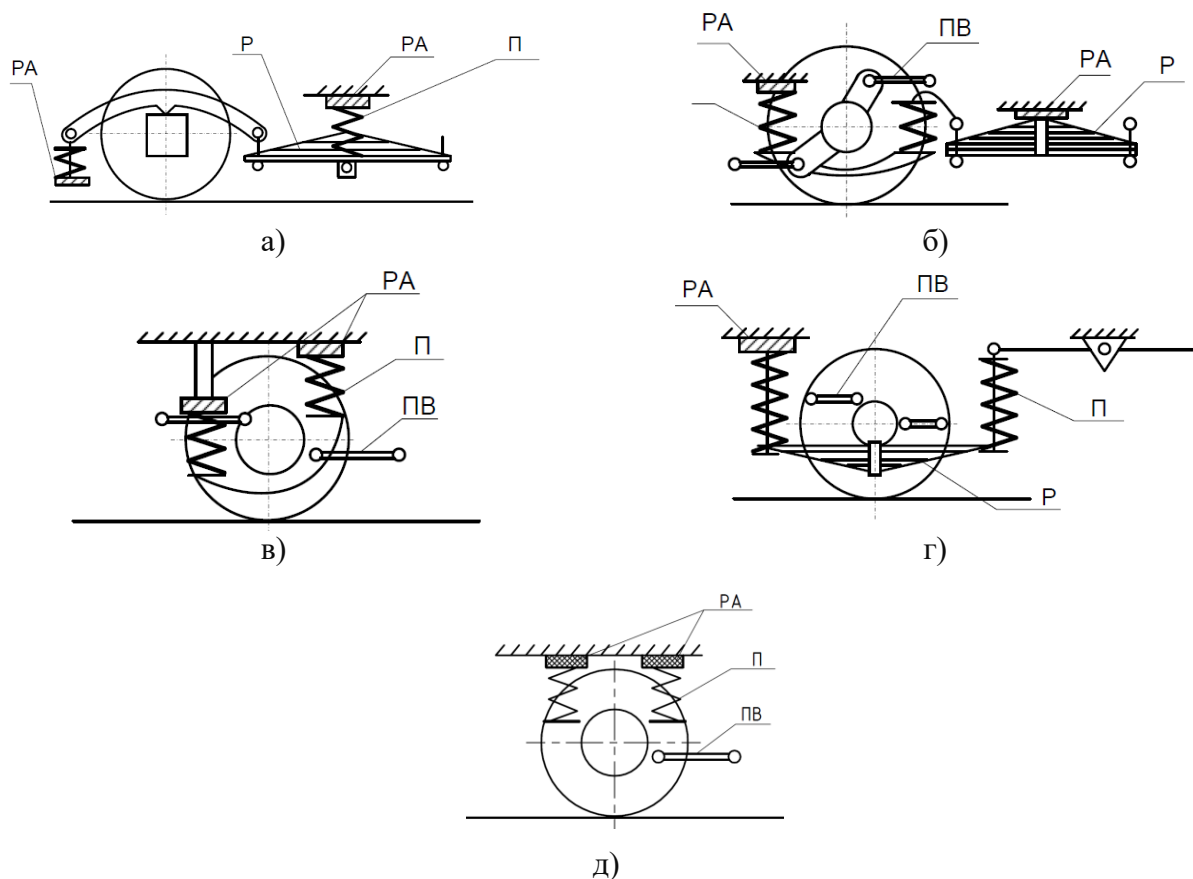


Рис. 1 – Схемы рессорного подвешивания локомотивов
 а – Сбалансированное рессорное подвешивание (2ТЭ10Л, М62);
 б – Сбалансированное рессорное подвешивание (ТЭП 60);
 в – Индивидуальное рессорное подвешивание (2ТЭ10В, 2ТЭ10М, 2ТЭ116, ТЭП70,
 2ТЭ70, ТЭП150, 2ТЭ25К);
 г – Сбалансированное рессорное подвешивание (2ТЭ121);
 д – Индивидуальное рессорное подвешивание (2ТЭ25А)
 (Р – рессора, П – пружина, РА – резиновый амортизатор, ПВ – поводок)

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:

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

где n_{Γ} – 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:

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

где $TВ$ – 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.

Жёсткость резинового амортизатора:

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

где F – площадь амортизатора;
 n – число слоёв.

Размеры резинометаллических амортизаторов

| Тепловоз | Марка резины | Место установки | Диаметр (Dа) или стороны (а×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 |

Статический прогиб резинометаллического амортизатора:

$$f_{РА} = \frac{Q_{РА}}{Ж_{РА}}$$

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

Напряжение сжатия резинового амортизатора:

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

где $Q_{РА}$ – 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.

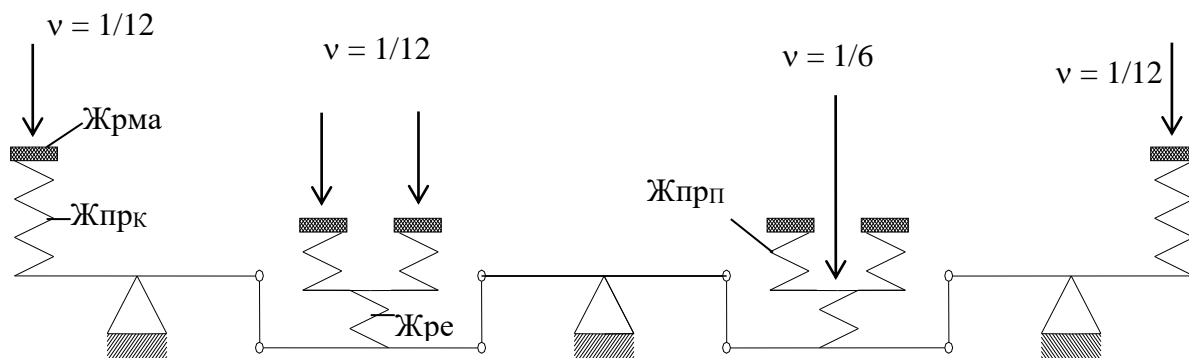


Рис. 2. Схема нижней ступени сбалансированного рессорного подвешивания тепловоза ТЭ10Л

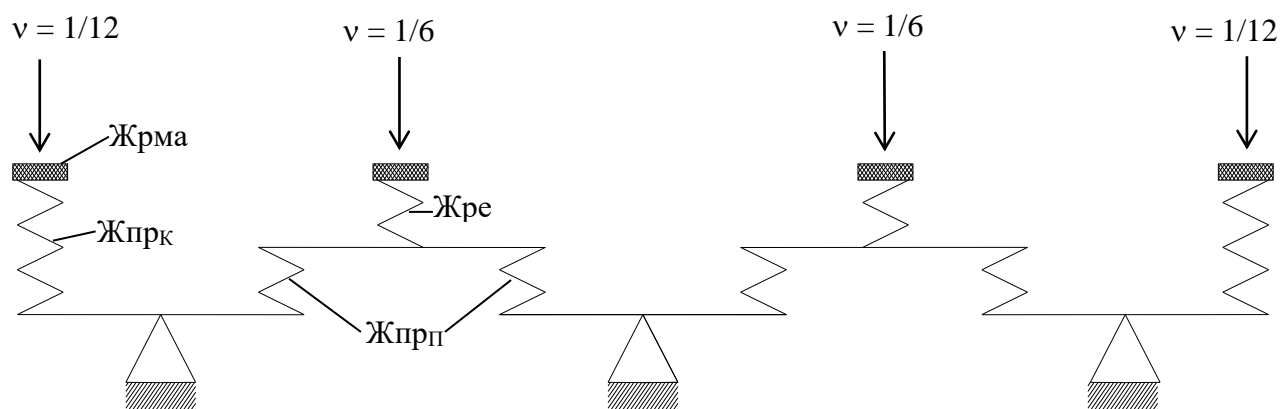


Рис. 3. Схема нижней ступени сбалансированного рессорного подвешивания тепловоза ТЭП60

Количество листов ступенчатой части (n):

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

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 определяется n.

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:

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

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 « $J_{\text{К}}$ »:

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

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

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

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

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

Число рабочих витков пружины:

$$n_{\text{ц}} = \frac{G \cdot d^4}{8 \cdot D^3 \cdot \mathcal{J}_{\text{ц}}},$$

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:

$$n = n_{\text{р}} + 1,5.$$

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

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

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

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

Напряжение от кручения:

$$\tau_{\text{к}} = \frac{8 \cdot D \cdot Q_{\text{ц}}}{\pi \cdot d^3}$$

Таблица 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 |

Суммарное касательное напряжение:

$$\tau = \tau_c + \tau_k = \frac{8 \cdot D \cdot Q_{\text{ц}}}{\pi \cdot d^3} \cdot \left(1 + \frac{d}{2 \cdot D}\right) \leq [\tau].$$

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:

$$\tau = k \frac{8 \cdot D \cdot Q_{\text{ц}}}{\pi \cdot d^3} \leq [\tau].$$

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.

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 торцевой шайбы, м;

H – толщина резиновых прокладок торцевых шайб, м.

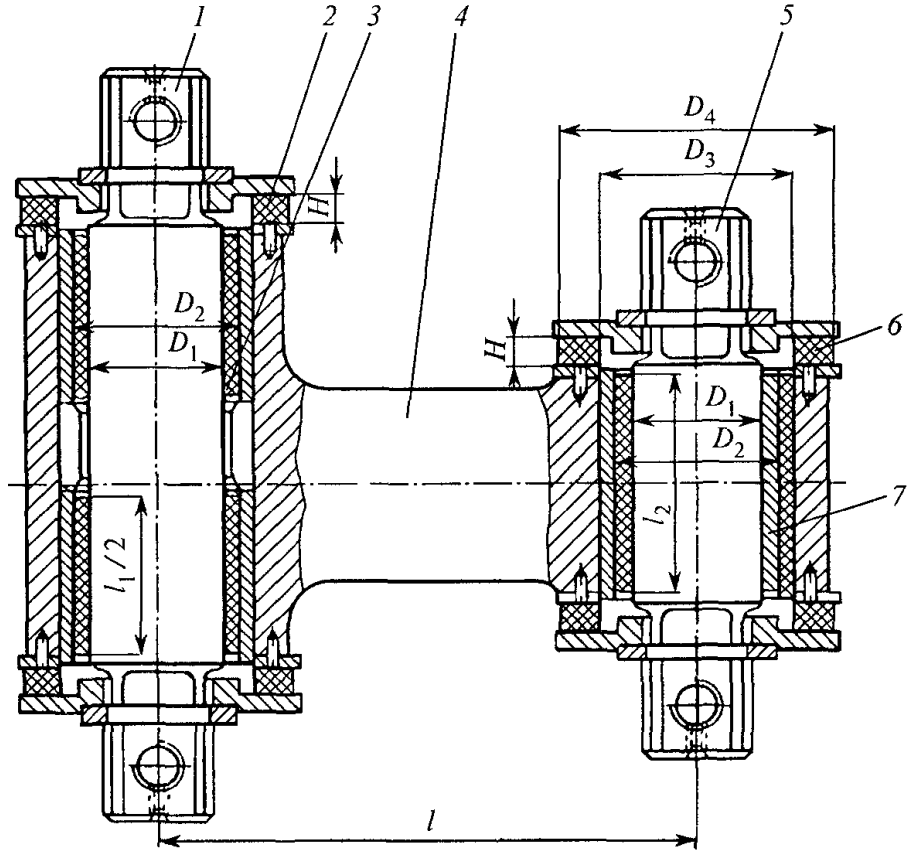


Рис. 4. Буксовый поводок

1, 5 – оси поводка; 2, 6 – торцевые шайбы;

3, 7 – резинометаллические сайлент-блоки; 4 – поводок

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 | | |
| $Ж_{Т} = \frac{36 \cdot Ж_{КУ} \cdot Ж_{РУ}}{4 \cdot Ж_{КУ} + Ж_{РУ}}$ | $Ж_{Т} = \frac{36 \cdot Ж_{КУ} \cdot Ж_{РУ}}{4 \cdot Ж_{КУ} + Ж_{РУ}} + 6Ж_{В}$ | $Ж_{Т} = 6Ж_{РУ} + 6Ж_{В}$ | $Ж_{Т} = Ж_{БУ} \cdot 6$ | $Ж_{Т} = Ж_{БУ} \cdot 6$ | |
| $Ж_{КУ} = \frac{Ж_{Ц} \cdot Ж_{РА}}{Ж_{Ц}^{КУ} + Ж_{РА}}$ | $Ж_{КУ} = \frac{Ж_{Ц} \cdot Ж_{РА}}{Ж_{Ц}^{КУ} + Ж_{РА}}$ | $Ж_{РУ} = \frac{2 \cdot Ж_1 \cdot Ж_{ЛР}}{2 \cdot Ж_1 + Ж_{ЛР}}$ | $Ж_{БУ} = 2 \cdot Ж_{Ц} + Ж_{В}$ | $Ж_{БУ} = 2 \cdot Ж_{Ц} + Ж_{В}$ | |
| $Ж_1 = \frac{Ж_{Ц}^{РУ} \cdot Ж_{РА}}{Ж_{Ц}^{РУ} + Ж_{РА}}$ | $Ж_1 = \frac{Ж_{Ц}^{РУ} \cdot Ж_{РА}}{Ж_{Ц}^{РУ} + Ж_{РА}}$ | $Ж_1 = \frac{Ж_{Ц}^{РУ} \cdot Ж_{РА}}{Ж_{Ц}^{РУ} + Ж_{РА}}$ | $Ж_1 = \frac{Ж_{Ц}^{РУ} \cdot Ж_{РА}}{Ж_{Ц}^{РУ} + Ж_{РА}}$ | $Ж_1 = \frac{Ж_{Ц}^{РУ} \cdot Ж_{РА}}{Ж_{Ц}^{РУ} + Ж_{РА}}$ | |
| $Ж_{РУ} = \frac{2 \cdot Ж_1 \cdot Ж_{ЛР}}{2 \cdot Ж_1 + Ж_{ЛР}}$ | $Ж_{РУ} = \frac{2 \cdot Ж_1 \cdot Ж_{ЛР}}{2 \cdot Ж_1 + Ж_{ЛР}}$ | $Ж_{РУ} = \frac{2 \cdot Ж_1 \cdot Ж_{ЛР}}{2 \cdot Ж_1 + Ж_{ЛР}}$ | $Ж_{РУ} = \frac{2 \cdot Ж_1 \cdot Ж_{ЛР}}{2 \cdot Ж_1 + Ж_{ЛР}}$ | $Ж_{РУ} = \frac{2 \cdot Ж_1 \cdot Ж_{ЛР}}{2 \cdot Ж_1 + Ж_{ЛР}}$ | |

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:

$$Q_{БО} = \frac{G_K}{n_{ОП}},$$

где G_K – вес кузова,

n_{OP} – количество боковых опор.

$$G_K = P_{CC} - 2 \cdot G_T$$

где G_T – вес тележек.

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

$$J_{BO} = \frac{Q_{BO}}{f_{CT2}}$$

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:

$$J_K = n_{OP} \cdot J_{BO}$$

2 Расчёт частот собственных колебаний локомотива

Колебания подпрыгивания при одноярусном рессорном подвешивании:

— циклическая частота:

$$\omega_{П} = \sqrt{\frac{2 \cdot J_T}{M_{П}}}$$

где $M_{П}$ – подрессоренная масса тепловоза,

$$M_{П} = \frac{Q_{П}}{9,81}$$

— период колебаний:

$$T_{П} = \frac{2 \cdot \pi}{\omega_{П}}$$

— частота:

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

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

$$\omega_{П1} = \sqrt{\frac{a+c}{2} + \sqrt{\left(\frac{a+c}{2}\right)^2 - c(a-b)}}$$

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

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

где M_{Γ} – подрессоренная масса тележки;
 $M_{\text{К}}$ – подрессоренная масса кузова;
 $Ж_{\text{К}}$ – жёсткость рессорного подвешивания кузова.

Для продольной качки:

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

где D_{Υ} – продольная угловая жёсткость рессорного подвешивания:

$$D_{\Upsilon} = \sum_{i=1}^m Ж_i \cdot x_i^2$$

где $Ж_i$ – 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 над рессорного строения над центром упругости,
 $H = 1.1$ м;

J_{Υ} – момент инерции подрессоренной массы тепловоза относительно поперечной оси y , проходящей через центр упругости

$$J_{\Upsilon} = \frac{M_{\Pi}}{12} (L_c^2 + 4 \cdot H^2) + M_{\Pi} \cdot H^2$$

L_c – длина секции тепловоза, м.

В случае применения сбалансированного рессорного подвешивания и поводковых букс:

$$D_{\Upsilon} = 2 \cdot Ж_{\Gamma}^{\text{СБ}} \cdot x_i^2 + 4 \cdot Ж_{\text{В}} \sum_{i=1}^n x_i^2,$$

где $Ж_{\Gamma}^{\text{СБ}}$ – жёсткость сбалансированного рессорного подвешивания тележки;
 x_i – расстояние от центра упругости до i -й колёсной пары.

В случае применения индивидуального рессорного подвешивания:

$$D_{\Upsilon} = 4 \cdot Ж_{\text{БУ}} \sum_{i=1}^n x_i^2,$$

Для поперечной качки:

$$\omega_x = \sqrt{\frac{D_x - Q_{\text{п}} \cdot H}{J_x}}, \text{ с}^{-1}$$

где D_x – поперечная угловая жёсткость рессорного подвешивания:

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

где \mathcal{J}_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,

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

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 влияния 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:

$$v_{\text{пч}} = \frac{V_{\text{к}}}{L_{\text{пч}}}$$

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.

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

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

где V – скорость движения тепловоза.

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

$f_{ст}$ – 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), называемой полюсом поворота и являющейся основанием перпендикуляра, опущенного из центра кривой на продольную ось экипажа.

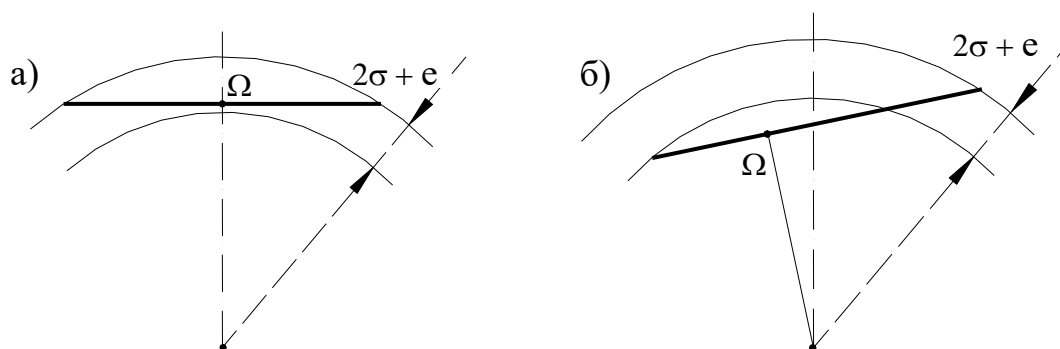


Рис. 5. Схемы установки экипажей в кривом участке пути:

а) – хордовая; б) – максимального перекоса

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

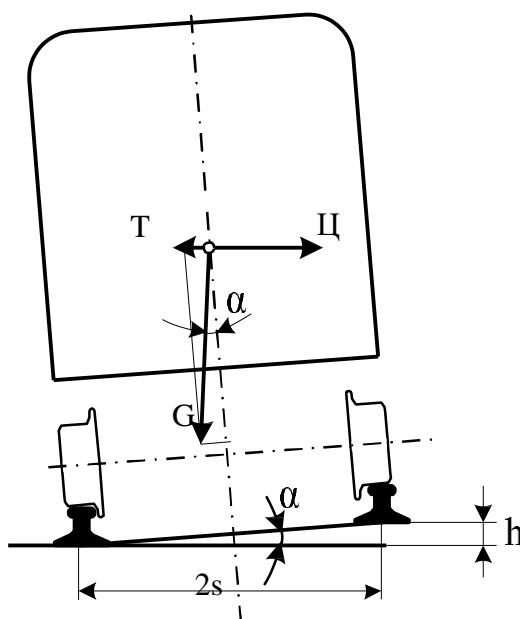


Рис. 6. Силы, действующие на экипаж от возвышения наружного рельса

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 [4]. 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) [5].

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 перекатывались 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 перекатываются по наклонным поверхностям опор (угол наклона равен 2°), создавая возвращающий момент M_B . Помимо возвращающего момента поворота 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. 10.

Поворот тележки начинается после преодоления начального момента трения около 4,4 кН·м. При повороте на угол до 0,8° 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 резинOMETаллических опор. Суммарный момент M , препятствующий повороту тележки, определяется по графику рис. 7 [5].

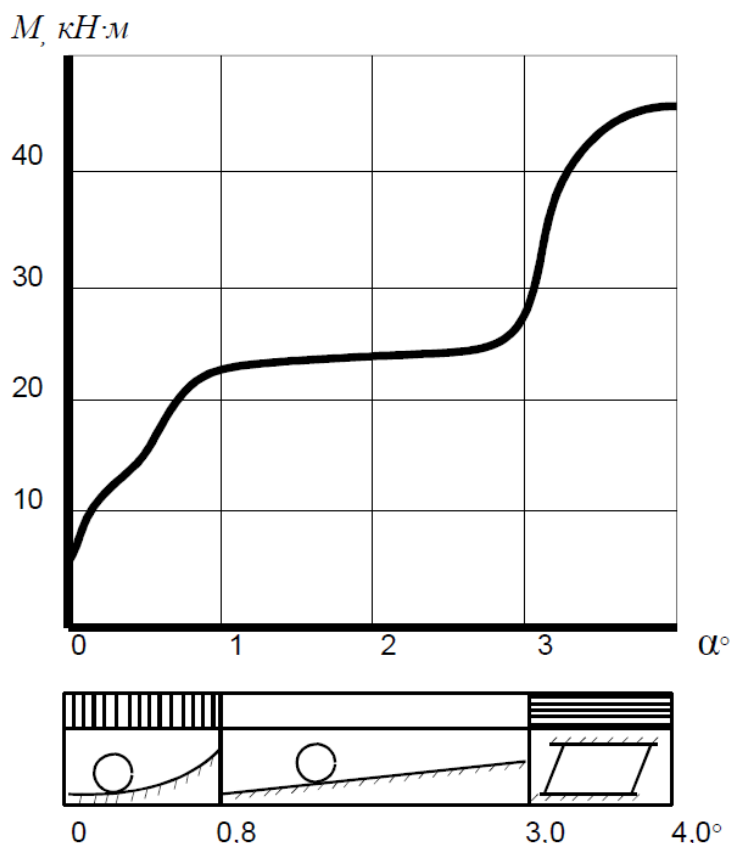


Рис. 7. Зависимость суммарного момента от угла поворота тележки

Угол поворота тележки для положения «наибольшего перекоса» находится по формулам [5], 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.

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 [5]

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

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 [5]:

— для передней тележки

$$d_1 = d + \alpha_1 l_1$$

$$d_2 = d - \alpha_1 l_2$$

— для задней тележки

$$d_1 = d - \alpha_3 l_1$$

$$d_2 = d + \alpha_3 l_2$$

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 [5] (рис. 8) определяют возвращающие силы, и, подставив их в формулу, находят значение момента M_B , который можно принять постоянным для всех этапов динамического вписывания.

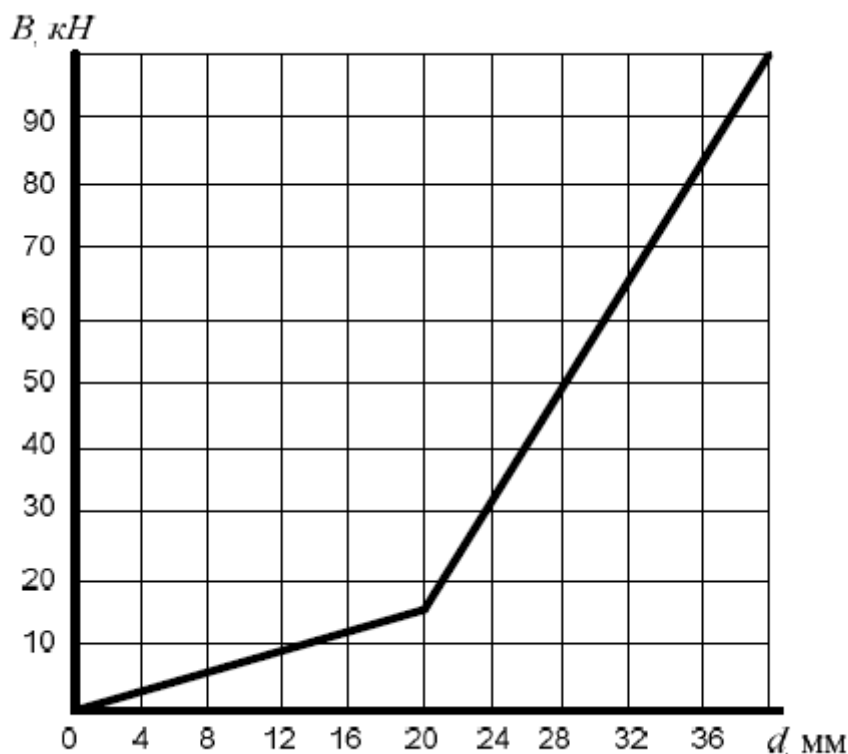


Рис. 8. Зависимость возвращающих сил от величины отклонения тележек

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 $F_{\text{БО}}$. Момент трения $M_{\text{ТР}}$ и возвращающий момент $M_{\text{В}}$ определяется по формулам [5]:

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

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

где $F_{\text{БО}}$ – сила трения на боковой опоре, которая определяется по формуле [5]

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

$Ж = 955$ – 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 $M_{\text{В}}$, кН·м,

$$M_{\text{В}} = 2\alpha_{\text{П}} Ж_{\text{ПР}} (l_1^2 + l_2^2 + l_3^2 + l_4^2),$$

где $Ж_{\text{ПР}}$ – жесткость боковой пружины при поперечной деформации, $Ж_{\text{ПР}} = 42$ 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);

$\alpha_{\text{П}}$ – 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} .

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,

$$M_B = 2\alpha_{\Pi} J_{\Pi P} (l_1^2 + l_2^2 + l_3^2 + l_4^2 + l_5^2),$$

где $J_{\Pi P}$ – жесткость боковой пружины при поперечной деформации, $J_{\Pi P} = 42$ 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);
 α_{Π} – 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 определяются из выражений:

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

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

где i – номер оси;

β_i – угол между лучом, проведённым из полюса поворота Ω до точки контакта колеса i -й оси с рельсом и продольной осью экипажа;

x_i – расстояние от полюса поворота до i -й оси экипажа,

$$x_1 = \frac{a_1 + a_2}{2} + R \cdot \frac{2\sigma + e}{l},$$

$$x_2 = x_1 - a_1,$$

$$x_3 = l - x_1.$$

где $2\sigma + e$ – суммарный зазор в колее, выбирается в зависимости от радиуса кривой по табл. 8.

Таблица 8

Значения ширины колеи в кривом участке пути

| Радиус кривой R , м | Ширина колеи, мм | Суммарный зазор $2\sigma + e$, мм |
|-----------------------|------------------|------------------------------------|
| $R \geq 350$ | 1520 | 14 |
| $300 \leq R < 350$ | 1530 | 24 |
| $R < 300$ | 1535 | 29 |

Для наглядности вычислений полученные величины H_i и Q_i сводятся в табл. 9.

Таблица 8

Сводная таблица

| № оси | x_i | x_i^2 | $x_i^2 + S^2$ | $\sqrt{x_i^2 + S^2}$ | $\sin\beta_i$ | $\cos\beta_i$ | Q_i | H_i |
|-------|-------|---------|---------------|----------------------|---------------|---------------|-------|-------|
| 1 | | | | | | | | |
| 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:

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

Полагая $V = 0$, а следовательно $\zeta = 0$, 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.

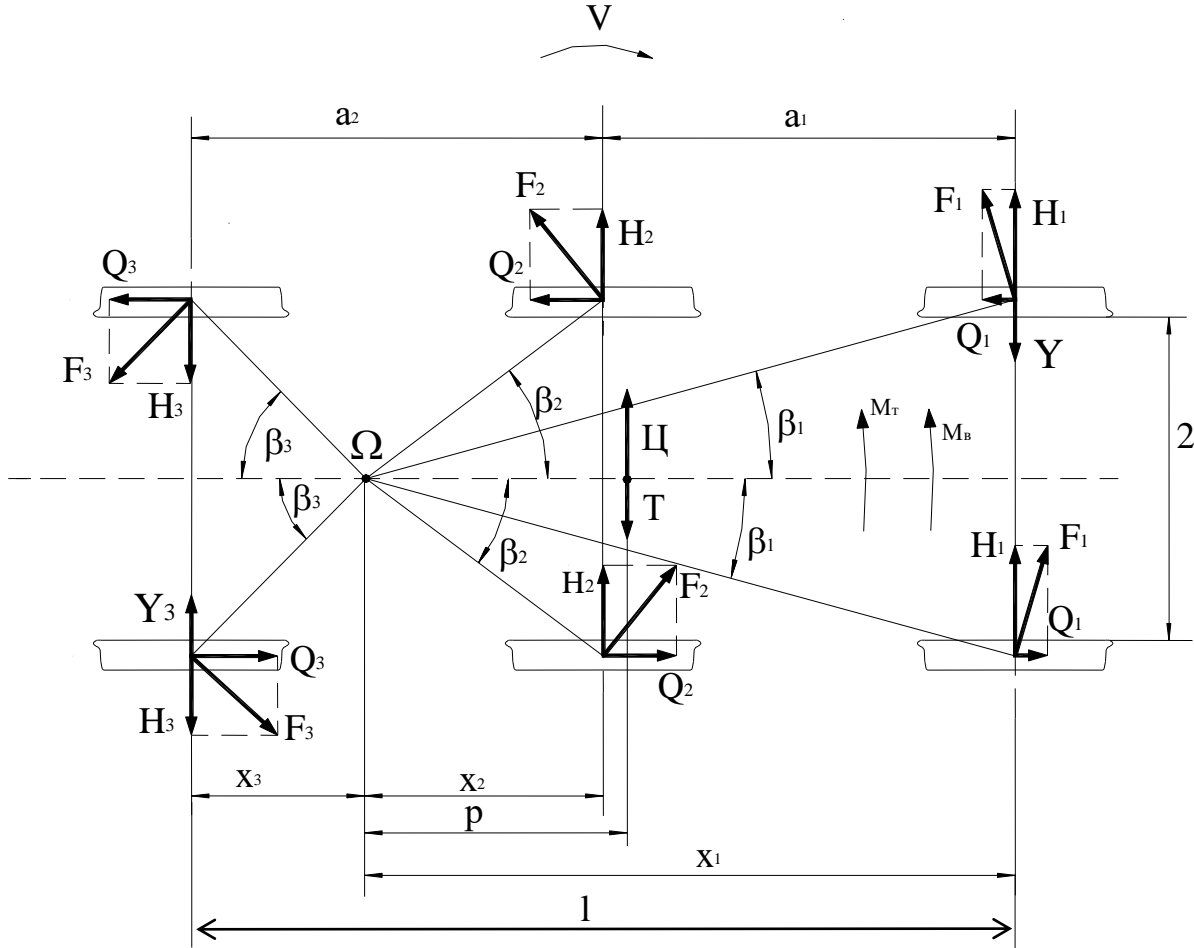


Рис. 9. Расчётная схема динамического вписывание в установку максимального перекоса

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 ζ получим следующую систему уравнений:

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

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

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

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 в виду, 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 Q из следующих уравнений:

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

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

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:

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

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 максимальные величины сил, действующих на экипаж, расчёт производят для первой тележки.

На гребень набегающего колеса в точке «А» действует направляющая сила Y (рис. 11). К бандажам в точках «А» и «Б» приложены поперечные составляющие сил трения H_A и H_B . К торцу оси колёсной пары со стороны буксы приложена рамная сила Y_P . сдвиг рельса на внешнюю сторону кривой происходит под действием направляющего усилия и поперечных направляющих сил трения между колесом и рельсом. Эта результирующая сила называется боковой и обозначается Y' .

Считая, что $\Pi_A = \Pi_B$, а значит и $H_A = H_B$, можно привести выражения, связывающие Y и Y_P , Y' и H для колёсной пары, движущейся впереди колёсной пары:

$$Y_1 = Y_{P1} + 2H_1; \quad Y'_1 = Y_1 - H_1 = Y_{P1} + H_1$$

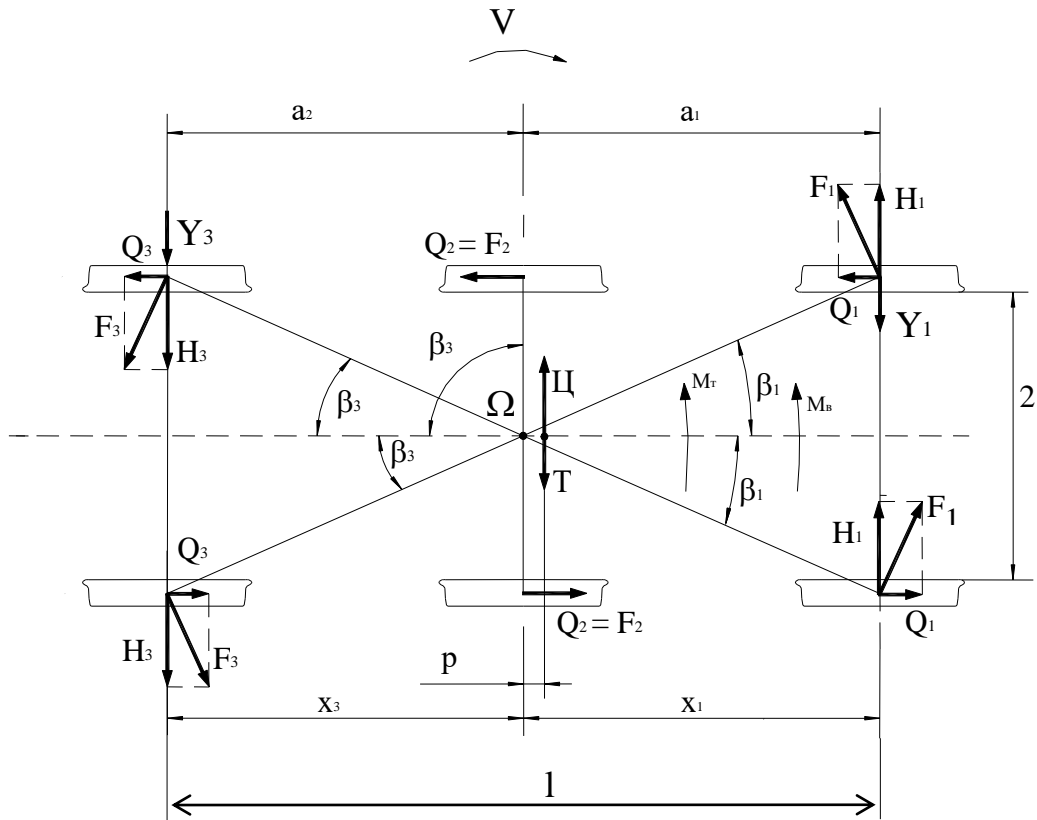


Рис. 10. Расчётная схема динамического вписывания в положении хордовой установки

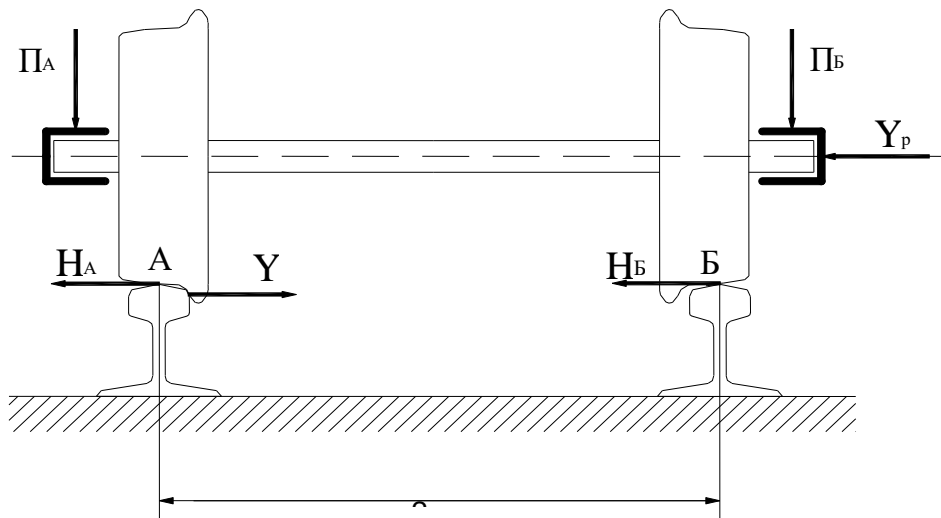


Рис. 11. Схема сил, действующих на колёсную пару

Для колёсной пары, движущейся сзади полюса поворота, если экипаж занимает положение максимального перекоса:

$$Y_3 = Y_{P3} + 2H_3; Y'_3 = Y_3 - H_3 = Y_{P3} + H_3$$

Если экипаж занимает хордовое положение, то:

$$Y_3 = Y_{P3} - 2H_3; Y'_3 = Y_3 + H_3 = Y_{P3} + H_3.$$

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

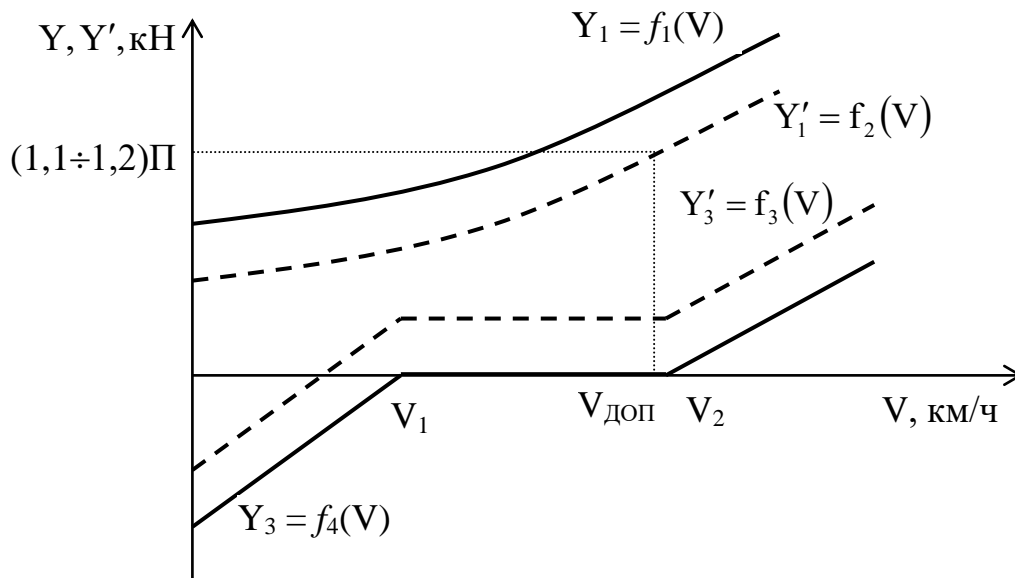


Рис. 12. Горизонтально-динамический паспорт трёхосной тележки локомотива

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):

$$\frac{Y'_1}{\Pi} \leq \text{tg}(\gamma - \tau)$$

где γ – угол наклона образующей гребня бандажа к горизонтали, $\gamma = 70^\circ$;
 τ – угол трения, $\tau = \text{arctg}(\mu)$, при $\mu = 0,25$ $\tau = 14^\circ$.

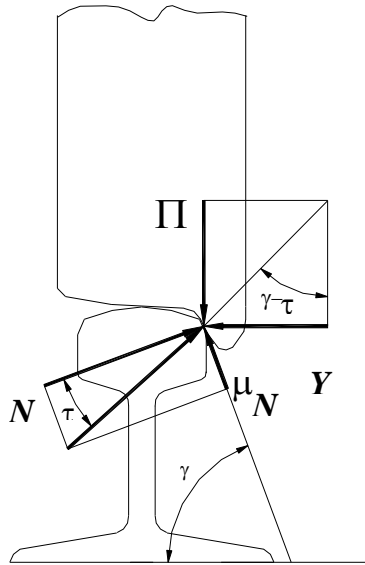


Рис. 13. Схема сил, возникающих между колесом и рельсом, при движении экипажа в кривой

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:

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

Основные характеристики экипажной части тепловозов

| Параметры | Тепловоз | | | | | | | | |
|--|----------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|
| | ТЭП60 | ТЭП70 | ТЭП150 | 2ТЭ10Л | 2ТЭ116 | 2ТЭ121 | 2ТЭ70 | 2ТЭ25К | 2ТЭ25А |
| Длина секции, м | 19,25 | 21,7 | 20,35 | 16,97 | 18,15 | 21 | 21,7 | 20 | 20 |
| Расстояние между шкворнями, м | 10,2 | 13,79 | 12,15 | 8,6 | 9,63 | 13,82 | 13,79 | 10,2 | 11,7 |
| Диаметр колеса, м | 1,05 | 1,22 | 1,05 | 1,05 | 1,05 | 1,25 | 1,22 | 1,05 | 1,05 |
| База тележки, м | 4,6 | 4,3 | 3,7 | 4,2 | 3,7 | 4,4 | 4,3 | 3,7 | 3,8 |
| Расстояние между первой и второй к.п., м | 2,4 | 2,3 | 1,85 | 2,1 | 1,85 | 2,2 | 2,3 | 1,85 | 1,9 |
| Смещение шкворневого узла относительно средней к.п., м | | +0,77 | -0,155 | - | -0,185 | +0,1 | +0,77 | -0,185 | +0,6 |
| Масса тележки, т | 28,33 | 26,54 | 26,4 | 23,59 | 23,44 | 32,68 | 26,54 | 23,44 | 23,2 |
| Необрессоренная масса приходящая на к.п., т | 2,28 | 2,74 | 2,7 | 4,44 | 4,25 | 4,2 | 2,74 | 4,25 | 4,25 |

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

- 1 Евстратов А.С. Экипажные части тепловозов. – М.: Машиностроение, 1987.
- 2 Иванов В.Н. Конструкция и динамика тепловозов. – М.: Транспорт, 1974.
- 3 Справочник по электроподвижному составу, тепловозам и дизель-поездам. Т. 1 / под ред. А.И. Тищенко. – М.: Транспорт, 1976.
- 4 Теория и конструкция локомотивов: учебник для вузов ж.-д. транспорта / под ред. Г.С. Михальченко. – М.: Маршрут, 2006. – 584 с.
- 5 Теория и конструкция локомотивов: метод. пособие / В.Г. Григоренко, И.В. Дмитренко, С.И. Шубин, А.С. Слободенюк. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2009. – 86 с.

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

5.1 Методические указания к практическим занятиям и курсовому проекту (курсовой работе)

Рассмотрены вопросы спрямления профиля пути заданного участка, определения массы состава и её проверок с учётом ограничений, определения скорости и времени движения поезда по участку, а также вопросы, связанные с безопасностью движения, расходом энергоресурсов на тягу поездов и оценкой трудности заданного участка.

Методические указания разработаны в соответствии с учебным планом специальности 190300 по дисциплине «Теория локомотивной тяги» и предназначены для студентов заочного и очного обучения указанной специальности.

1 Основные требования к выполнению курсового проекта

В процессе выполнения курсового проекта студенту необходимо освоить учебный материал, в частности, методы определения массы состава, принципы анализа профиля пути, расчёты по построению диаграмм удельных равнодействующих сил, анализ по этим диаграммам условий движения поезда, способы определения скорости и времени движения поезда по участку, расчёты по определению расхода топлива тепловозом на тягу поездов, нагревание электрических машин тепловоза, оценить трудность заданного участка, а также выполнить технико-экономические расчёты по сравниваемым вариантам движения поезда по участку.

Задание на курсовой проект (курсовую работу)

В курсовом проекте студент должен:

- 1 Спрямить профиль пути. Выполнить его анализ с целью установления расчётного и скоростного подъёмов и наибольшего спуска.
- 2 Определить массу состава на выбранном расчётном подъёме.
- 3 Выполнить проверки массы состава с учётом ограничений.
 - 3.1 Проверить массу состава на прохождение подъёмов более крутых, чем расчётный, с учётом накопленной кинетической энергии.
 - 3.2 Проверить возможность трогания с места поезда рассчитанной массы при остановках на заданном участке.
 - 3.3 Определить длину поезда и сопоставить её с заданной длиной приемо-отправочных путей на отдельных пунктах заданного участка.
- 4 Составить таблицу и построить диаграммы удельных равнодействующих (ускоряющих и замедляющих) сил.
- 5 Определить максимально допустимую скорость движения на наиболее крутом спуске участка при заданных тормозных средствах поезда.
- 6 Построить зависимости $V = f(S)$ и $t = f(S)$ методом МПС и определить техническую скорость.
- 7 Определить время хода поезда по участку способом равномерных скоростей.
- 8 Проверить на нагревание тяговые электрические машины тепловоза.
- 9 Определить расход дизельного топлива тепловозом на тягу поезда за поездку и на единицу выполненной работы.
- 10 Оценить трудность заданного железнодорожного участка.
- 11 Выполнить технико-экономические расчёты.

Примечания: 1. Пункты 6, 9 и 11 решают для двух вариантов проследования поездом участка: без остановки и с остановкой на промежуточной станции.

2. Исходные данные для выполнения курсового проекта студент выбирает в соответствии с индивидуальным заданием.

Методические указания к выполнению курсового проекта (курсовой работы)

Точность вычислений при выполнении расчётов в соответствии с Правилами тяговых расчётов для поездной работы (ПТР) [2] следует принимать:

- а) для масс составов (грузовых) – с округлением до 50 т;
- б) для сил, действующих на поезд (силы тяги, сопротивления, тормозные), – с округлением до 50 Н;
- в) для крутизны уклонов при измерении в тысячных (‰) – с одним знаком после запятой;
- г) для удельных сил при измерении в Н/кН – с двумя знаками после запятой;
- д) для расстояний при измерении в метрах (для элементов профиля) – с округлением до целых метров; при измерении в километрах (для перегонов) – с двумя знаками после запятой;
- е) для скоростей при измерении в км/ч – с одним знаком после запятой;
- ж) для расходов топлива – с округлением до 10 кг;
- з) для удельных расходов топлива – до $0,1 \frac{\text{кг}}{10^4 \text{ ткмбр}}$;
- и) для токов – с округлением до 5 А;
- к) для температур при расчётах электрических машин локомотивов на нагревание по отдельным элементам расчёта до $0,01 \text{ }^\circ\text{C}$ – с округлением каждого результата до $1 \text{ }^\circ\text{C}$.

2 Спрямление 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.

Спрямление 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.

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

Таблица 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_{kp} , м | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 1 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | I |
| 2 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | II |
| 3 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | III |
| 4 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | IV |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |

Длина участка $\sum s_i = \dots$

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.

3 Определение массы состава

Масса состава – один из важнейших показателей работы железнодорожного транспорта. Увеличение массы составов позволяет повысить провозную способность железнодорожных линий, уменьшить расход топлива и электрической энергии, снизить себестоимость перевозок, поэтому массу грузового состава определяют, исходя из полного использования тяговых и мощностных качеств локомотива.

Для выбранного расчётного подъёма **массу состава** в тоннах вычисляют по формуле

$$Q = \frac{F_{кр} - P(w'_0 + i_p)g}{(w''_0 + i_p)g}, \quad (6)$$

где $F_{кр}$ – расчётная сила тяги локомотива, Н;

P – расчётная масса локомотива, т;

w'_0 – основное удельное сопротивление локомотива, Н/кН;

w''_0 – основное удельное средневзвешенное сопротивление состава, Н/кН;

i_p – крутизна расчётного подъёма, ‰.

g – ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с².

Величины w'_0 и w''_0 определяют для расчётной скорости локомотива v_p .

Расчётная скорость, расчётная сила тяги, масса локомотива и другие расчётные нормативы, взятые из [3], приведены в табл. 2.

Основное удельное сопротивление локомотива, Н/кН, в зависимости от скорости на режиме тяги (при движении под током) определяют по графикам $w'_0 = f(v)$, приведённым в [3]. Основное удельное сопротивление локомотивов, для которых графические зависимости $w'_0 = f(v)$ отсутствуют, следует подсчитывать по формуле

$$w'_0 = 1,9 + 0,01v + 0,0003v^2. \quad (7)$$

Основное удельное сопротивление состава, Н/кН, определяют по формуле

$$w_0'' = \alpha (\alpha_4^{ск} w_{04ск}'' + \alpha_4^{кач} w_{04кач}'') + \beta w_{06}'' + \gamma w_{08}'', \quad (8)$$

где α, β, γ – соответственно доли (не %!) 4-, 6- и 8-осных вагонов в составе по массе (см. задание);

w_{04}'' – основное удельное сопротивление 4-осных груженных вагонов:

при подшипниках скольжения

$$w_{04ск}'' = 0,7 + \frac{8 + 0,1v + 0,0025 v^2}{q_{04}}, \quad (9)$$

при роликовых подшипниках

$$w_{04кач}'' = 0,7 + \frac{3 + 0,1v + 0,0025 v^2}{q_{04}}. \quad (10)$$

(Доля четырёхосных вагонов на подшипниках качения приводится в задании.)

w_{06}'' – основное удельное сопротивление 6-осных груженных вагонов:

$$w_{06}'' = 0,7 + \frac{8 + 0,1v + 0,0025 v^2}{q_{06}}, \quad (11)$$

w_{08}'' – основное удельное сопротивление 8-осных груженных вагонов:

$$w_{08}'' = 0,7 + \frac{6 + 0,038 v + 0,0021 v^2}{q_{08}}. \quad (12)$$

Здесь q_{04}, q_{06}, q_{08} – средняя нагрузка от оси на рельсы, т/ось, соответственно 4-, 6- и 8-осного вагона:

$$q_{04} = \frac{q_4}{4}; \quad q_{06} = \frac{q_6}{6}; \quad q_{08} = \frac{q_8}{8}, \quad (13)$$

где q_4, q_6, q_8 – масса брутто соответственно 4-, 6- и 8-осного вагона, т (см. задание);

$\alpha_4^{ск}, \alpha_4^{кач}$ – доли 4-осных вагонов на подшипниках скольжения и качения.

Вычисленную массу состава следует в соответствии с ПТР округлить до 50 или 100 т.

Таблица 2

Расчётные нормативы локомотивов

| Серия локомотива (тепловозы) | Расчётная скорость v_p , км/ч | Расчётная сила тяги $F_{кр}$, Н | Скорость выхода на автоматическую характеристику $v_{авт}$, км/ч | Сила тяги при выходе на автоматическую характеристику $F_{к.авт}$, Н | Сила тяги при трогании с места, $F_{к.пр}$, Н | Расчётная масса локомотива P , т | Конструкционная скорость $V_{кон}$, км/ч | Длина локомотива L , м |
|------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|---|---|--|------------------------------------|---|--------------------------|
| ТЭЗ | 20,5 | 396300 | 13 | 570950 | 570950 | 254 | 100 | 34 |
| 2М62 | 20 | 392400 | 11,5 | 574850 | 700450 | 240 | 100 | 36 |
| 2ТЭ10Л | 23,4 | 496400 | 22 | 522700 | 750450 | 258 | 100 | 34 |
| 2ТЭ10В,М | 23,4 | 496400 | 19 | 599600 | 797550 | 276 | 100 | 34 |
| 2ТЭ116 | 24,2 | 496400 | 19,5 | 596450 | 797550 | 276 | 100 | 36 |
| 3ТЭ10М | 23,4 | 744600 | 19 | 899400 | 941750 | 414 | 100 | 51 |
| 2ТЭ121 | 26,6 | 588600 | 24,9 | 628050 | 865250 | 300 | 100 | 43 |

4 Проверки массы состава с учётом ограничений

4.1 Проверка массы состава с учетом использования кинетической энергии

Проверка массы состава на возможность надёжного преодоления встречающегося на участке короткого подъёма крутизной больше, чем у расчётного, с учётом использования кинетической энергии, накопленной на предшествующих «лёгких» элементах профиля, выполняется аналитическим способом. При этом используют расчётное соотношение

$$s = \frac{4,17(v_{\kappa}^2 - v_{\text{н}}^2)}{(f_{\kappa} - w_{\kappa})_{\text{ср}}} \text{ м}, \quad (14)$$

где S – расстояние, проходимое поездом на проверяемом подъёме с учётом кинетической энергии, м;

$v_{\text{н}}$ – скорость в начале проверяемого подъёма; выбирается из условий подхода к проверяемому элементу $i_{\text{нр}}$ (для грузовых поездов можно принимать $v_{\text{н}} = 70\text{--}90$ км/ч, но не выше конструкционной скорости заданного локомотива и вагонов);

v_{κ} – скорость в конце проверяемого подъёма. Эта скорость должна быть не менее расчётной, т. е. должно выдерживаться условие $v_{\kappa} \geq v_{\text{р}}$. В курсовом проекте рекомендуется принимать $v_{\kappa} = v_{\text{р}}$.

Удельную силу $(f_{\kappa} - w_{\kappa})_{\text{ср}}$ в пределах выбранного интервала изменения скоростей принимают равной удельной силе при средней скорости интервала, т.е. в формулу

$$(f_{\kappa} - w_{\kappa})_{\text{ср}} = \frac{F_{\kappa} - P(w_0' + i_{\text{нр}})g - Q(w_0'' + i_{\text{нр}})g}{(P + Q)g}, \text{ Н/кН}, \quad (15)$$

подставляются значения F_{κ} , w_0' и w_0'' , определённые для среднего значения скорости в рассматриваемом интервале,

$$v_{\text{ср}} = \frac{v_{\text{н}} + v_{\kappa}}{2}.$$

Значение силы тяги F_{κ} для **средней скорости** $v_{\text{ср}}$ определяют по тяговой характеристике заданного локомотива (см. прил. 2).

Для того же **среднего значения скорости** определяют основное удельное сопротивление w_0' локомотива – по графикам в ПТР или по формуле (7), основное удельное сопротивление состава w_0'' – по формуле (8) с использованием формул (9) – (13).

Если полученное по формуле (14) расстояние больше или равно длине проверяемого подъёма $s_{\text{нр}}$

$$s \geq s_{\text{нр}}, \quad (16)$$

то на этом проверка заканчивается и делается вывод о том, что при рассчитанной массе состава Q поезд надёжно преодолевает проверяемый подъём крутизной больше, чем у расчётного, с учётом использования накопленной к началу элемента кинетической энергии. Если же путь s , который может быть пройден за счёт разгона, окажется короче длины проверяемого подъёма $s_{\text{нр}}$, то необходимо руководствоваться требованиями ПТЭ и инструкцией по движению поездов.

4.2 Проверка рассчитанной массы состава на трогание с места на заданном участке

Выполняется по формуле

$$Q_{\text{ТР}} = \frac{F_{\kappa \text{тп}}}{(w_{\text{тп}} + i_{\text{тп}})g} - P \geq Q, \quad (17)$$

где $F_{\kappa \text{тп}}$ – сила тяги локомотива при трогании состава с места, Н (см. табл. 2);

w_{mp} – удельное дополнительное сопротивление поезда при трогании с места (на площадке), Н/кН;

i_{mp} – крутизна наиболее трудного элемента заданного участка ‰ (в сторону движения).

Выражение (17) целесообразно решить относительно i_{mp} с целью определения наибольшего подъёма, на котором заданный локомотив возьмёт с места состав рассчитанной массы.

$$i_{TP} = \frac{F_{kmp}}{(P + Q)g} - w_{mp}, \text{ ‰}. \quad (18)$$

$$w_{mp} = \alpha(\alpha_4^{kach} w_{mp4}^{kach} + \alpha_4^{ck} w_{mp4}^{ck}) + \beta w_{mp6}^{kach} + \gamma w_{mp8}^{kach}. \quad (19)$$

Здесь w_{mp4}^{kach} и w_{mp4}^{ck} – удельное сопротивление при трогании с места соответственно для 4-осных вагонов на подшипниках качения и на подшипниках скольжения;

α_4^{kach} и α_4^{ck} – соответственно доли (не %!) 4-осных вагонов с подшипниками качения и подшипниками скольжения (см. задание).

Для вагонов на подшипниках качения

$$w_{TP}^{kach} = \frac{28}{q_0 + 7}. \quad (20a)$$

Для вагонов на подшипниках скольжения

$$w_{TP}^{ck} = \frac{142}{q_0 + 7}. \quad (20б)$$

В этих формулах q_0 – нагрузка от оси на рельсы для данной группы вагонов (при вычислении по ним значений w_{mp4}^{kach} , w_{mp4}^{ck} , w_{mp6}^{kach} и w_{mp8}^{kach} подставляются величины q_0 , полученные ранее по формулам (13)).

Полученный результат необходимо сравнить с величиной максимального подъёма на заданном участке. Должно выполняться условие $i_{mp} \geq i_{max}$. Если это условие не выполняется, необходимо руководствоваться ПТЭ.

4.3. Проверка массы состава по длине приёмо-отправочных путей станции

Чтобы выполнить *проверку массы состава по длине приёмо-отправочных путей*, необходимо определить число вагонов в составе, длину поезда и сопоставить эту длину с заданной длиной приёмо-отправочных путей станций.

Число вагонов в составе грузового поезда :

$$\text{8-осных} \quad m_8 = \frac{Q\gamma}{q_8}; \quad (21)$$

$$\text{6-осных} \quad m_6 = \frac{Q\beta}{q_6}; \quad (22)$$

$$\text{4-осных} \quad m_4 = \frac{Q\alpha}{q_4}. \quad (23)$$

Полученное число вагонов следует округлить до целого числа.

Длины вагонов принимаются равными: 4-осного – 15 м, 6-осного – 17 м, 8-осного – 20 м. Длины локомотивов приведены в табл. 2. Общая длина поезда

$$l_n = 20m_8 + 17m_6 + 15m_4 + l_l + 10 \text{ м} \quad (24)$$

(здесь 10 м – запас длины на неточность установки поезда).

Проверка возможности установки поезда на приёмо-отправочных путях выполняется по соотношению

$$l_n \leq l_{non}, \quad (25)$$

где l_{non} – длина приёмо-отправочных путей, м (см. задание).

Если длина поезда меньше (или равна) длине приёмо-отправочных путей станций заданного участка, то масса состава не корректируется и делается вывод о том, что массу состава уменьшать не надо.

Если же вычисленная длина поезда получилась больше длины приёмо-отправочных путей, указанной в задании, то масса состава уменьшается так, чтобы длина поезда равнялась длине приёмо-отправочных путей на отдельных пунктах, либо решается вопрос об отмене остановки поезда на данной станции, если стоянка не предусмотрена технологическим процессом работы.

5 Построение диаграмм удельных равнодействующих сил

Для построения диаграмм предварительно составляют таблицу для трёх режимов ведения поезда по прямому горизонтальному участку:

а) для режима тяги $f_k - w_0 = f_1(v)$;

б) для режима холостого хода $w_{ox} = f_2(v)$;

в) для режимов торможения:

при служебном регулируемом торможении $w_{ox} + 0,5b_m = f_3(v)$,

при экстренном торможении $w_{ox} + b_m = f_4(v)$.

При построении графических зависимостей следует пользоваться масштабами, приведёнными в табл. 3.

Таблица удельных равнодействующих сил, форма которой приведена ниже (табл. 4), заполняется для скоростей от 0 до конструктивной $v_{констр}$ через 10 км/ч (1-я графа); кроме того, в эту графу следует вносить величины скоростей, соответствующих характерным точкам тяговой характеристики заданного локомотива: скорость выхода на автоматическую характеристику, расчётную скорость.

Во 2-ю графу заносят величины силы тяги локомотива F_k для скоростей, указанных в 1-й графе. Значение силы тяги определяют по расчётной тяговой характеристике заданного локомотива (см. табл. 2 и прил. 1). Скорости $v = 0$ км/ч (момент трогания поезда с места) соответствует значению силы тяги $F_{kтр}$ (табл. 2).

Расчётную тяговую характеристику заданного локомотива необходимо вычертить на миллиметровой бумаге и привести в курсовом проекте.

Основное удельное сопротивление локомотива при движении под током w_0' определяется по графикам, приведённым в [3, 4], или по формуле (7). Основное удельное сопротивление состава w_0'' для скоростей, занесённых в расчётную таблицу, определяется по формуле (8) с использованием формул (9) – (13) или по графику $w_0'' = f(v)$, который может быть предварительно построен по четырём точкам для скоростей 10, V_p , V_{cp} и 100 км/ч (этот график следует привести в курсовом проекте).

Основное удельное сопротивление локомотива на холостом ходу (при движении без тока) для разных значений скорости определяется по графикам $w_x = f(v)$, приведённым в ПТР; основное удельное сопротивление локомотивов, для которых эти графические зависимости в ПТР отсутствуют, может быть вычислено по формуле

$$w_x = 2,4 + 0,011v + 0,00035v^2. \quad (26)$$

Основные удельные сопротивления w_0' , w_x и w_0'' можно определять, используя расчётные табл. 1.10; 1.1; 1.3; 1.5, приведённые в [4].

Основное удельное сопротивление всего поезда (при следовании его по прямому горизонтальному пути) при движении локомотива на холостом ходу (без тока) подсчитывают по формуле

$$w_{0x} = \frac{Pw_x + Qw_0''}{P + Q}, \quad (27)$$

где P – расчётная масса локомотива, т;

Q – масса состава, т.

Величины w_0' , w_x , w_0'' и w_{0x} определяются указанным путём для скоростей, начиная с 10 км/ч и выше. Значения этих величин при $v = 0$ (в момент трогания поезда с места) принимаются соответственно такими же, как при $v = 10$ км/ч.

Удельные тормозные силы поезда, Н/кН, вычисляют по формуле

$$b_T = 1000 \varphi_{кр} \mathfrak{G}_P, \quad (28)$$

где $\varphi_{кр}$ – расчётный коэффициент трения колодок о колесо:

– при чугунных колодках

$$\varphi_{кр} = 0,27 \frac{v + 100}{5v + 100}; \quad (29)$$

– при композиционных колодках

$$\varphi_{кр} = 0,36 \frac{v + 150}{2v + 150}, \quad (30)$$

величины $\varphi_{кр}$ подсчитываются или принимаются по табл. 2.8 [4] для всех скоростей, занесённых в табл. 4, кроме v_p и $v_{авт}$;

\mathfrak{G}_P – расчётный тормозной коэффициент состава, кН/кН,

$$\mathfrak{G}_P = \frac{\sum k_p}{Q \cdot g} = \frac{(k_{p4}n_4 + k_{p6}n_6 + k_{p8}n_8)}{Q \cdot g}, \quad (31)$$

где $\sum K_p$ – суммарное тормозное нажатие, кН;

n_4 , n_6 , n_8 – число осей соответственно в группах 4-, 6-, и 8-осных вагонов состава: $n_4 = 4m_4$, $n_6 = 6m_6$, $n_8 = 8m_8$, (значения m_4 , m_6 , и m_8 подсчитывались в п. 4.3);

k_{p4} , k_{p6} , k_{p8} – расчётные силы нажатия тормозных колодок соответственно на ось 4-, 6- и 8-осного вагона (при чугунных колодках $k_{p4} = k_{p6} = k_{p8} = 68,5$ кН/ось, а при композиционных колодках $k_{p4} = k_{p6} = k_{p8} = 41,5$ кН/ось).

При определении расчётного тормозного коэффициента грузовых поездов на спусках до 20 ‰ масса и тормозные средства локомотива обычно не учитываются; это упрощает расчёты и не снижает их точность.

Удельная замедляющая сила, действующая на поезд в режиме торможения, Н/кН:

– при служебном регулировочном торможении $w_{0x} + 0,5b_T$;

– при экстренном торможении $w_{0x} + b_T^*$.

Все результаты вычислений требуется внести в расчётную табл. 4. На основании данных этой таблицы по расчётным точкам следует построить диаграмму удельных

* Обращаем внимание на то, что значения $\varphi_{кр}$, b_T , а соответственно $(w_{0x} + 0,5b_T)$ и $(w_{0x} + b_T)$ надо и при скорости $v = 0$ вычислять по формулам, т. е. так же, как и для других скоростей.

равнодействующих сил для режима тяги $f_k - w_0 = f_1(v)$, режима холостого хода $w_{ox} = f_2(v)$ и режима служебного торможения $w_{ox} + 0,5b_T = f_3(v)$ (рис. 1).

Пользуясь построенной диаграммой для определённой массы состава и типа локомотива, можно анализировать условия и характер движения поезда на различных элементах профиля пути: определять равномерную скорость движения поезда на элементах различной крутизны, удельную равнодействующую силу на разных элементах в зависимости от скорости и т. д.

Таблица 3

Масштабы

| Величины | Для общих расчётов | | Для тормозных расчётов | |
|---------------------------------|--------------------|----|------------------------|-----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Удельные силы 1 Н/кН = k , мм | 6 | 12 | 1 | 2 |
| Скорость 1 км/ч = m , м | 1 | 2 | 1 | 2 |
| Путь 1 км = y , мм | 20 | 40 | 120 | 240 |

Примечание. При выполнении курсового проекта предпочтительнее группа масштабов, приведенная в графах 2 и 4.

Диаграммы удельных равнодействующих сил вычерчивают на миллиметровой бумаге, расчётные точки наносят на планшет заточенным карандашом, чётко, чтобы их положение было заметно.

Таблица 4

(удельных) сил

| | | | |
|------------------|---------------------------------|----|--|
| Режим торможения | $w_{ox} + 0,5b_T = f_3(v)$ Н/кН | 17 | |
| | $f_k - w_0 = f_1(v)$ Н/кН | 16 | |
| | $w_{ox} = f_2(v)$ Н/кН | 15 | |
| | b_T Н/кН | 14 | |
| хода | $w_{ox} + b_T = f_3(v)$ Н/кН | 13 | |

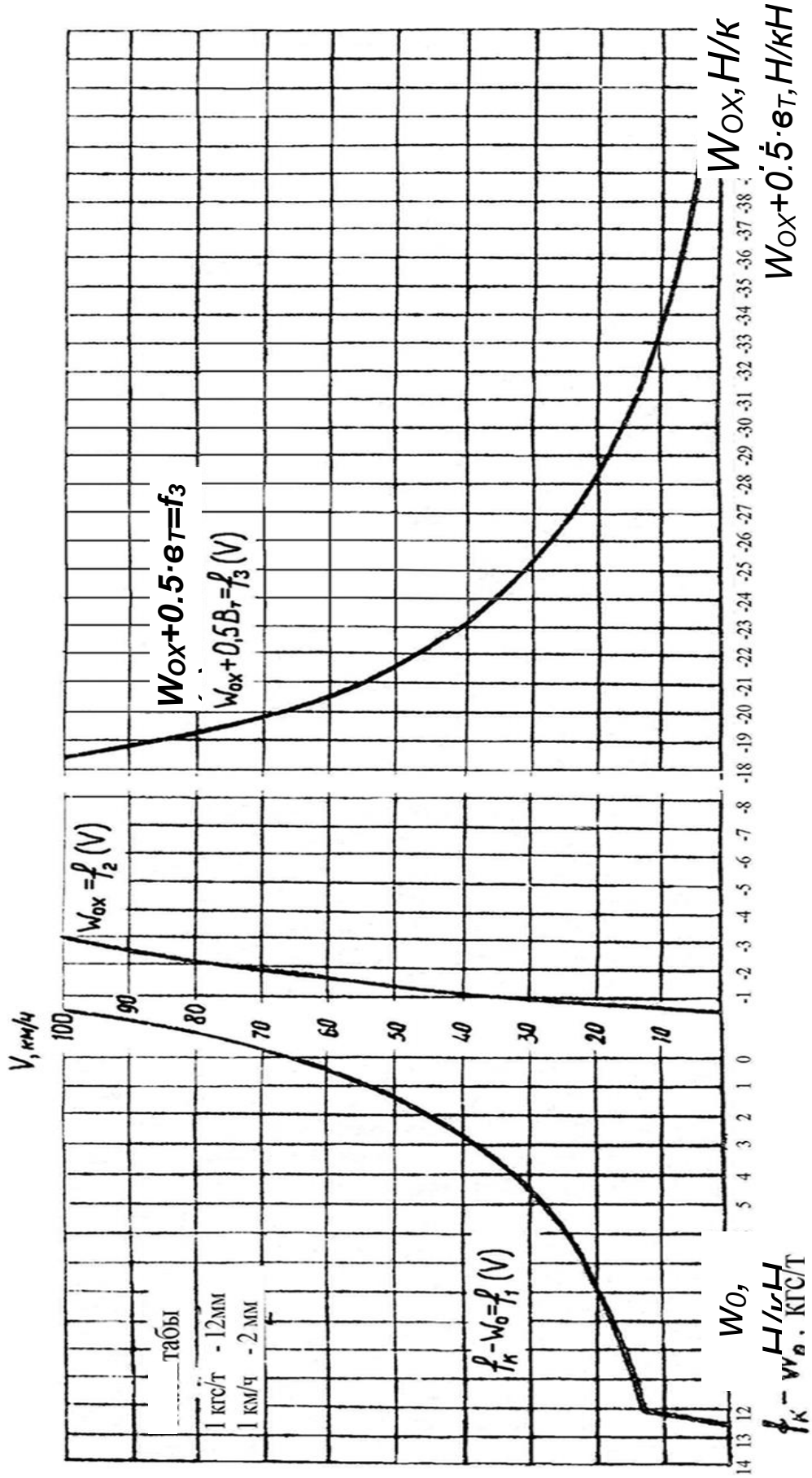


Рис. 1. Диаграмма удельных равнодействующих (ускоряющих и замедляющих) сил (локомотив $У_1, У_2, У_3, У_4, У_5$ / масса состава, т)

6 Определение максимально допустимой скорости движения поездов на заданном участке

Решение этой задачи связано с обеспечением безопасности движения поездов. Задачу следует решать на наиболее крутом спуске при заданных тормозных средствах и принятом полном тормозном пути. В курсовом проекте задачу решают графоаналитическим способом.

Полный (расчётный) тормозной путь

$$s_T = s_{II} + s_D, \quad (32)$$

где s_{II} – путь подготовки тормозов к действию, на протяжении которого тормоза поезда условно принимаются недействующими (от момента установки ручки крана машиниста в тормозное положение до включения тормозов поезда), м;

s_D – действительный тормозной путь, на протяжении которого поезд движется с действующими в полную силу тормозами (конец пути s_{II} совпадает с началом пути s_D), м.

Равенство (32) позволяет искать допустимую скорость как величину, соответствующую **точке пересечения** графических зависимостей подготовительного пути s_{II} и действительного тормозного пути s_D от скорости движения поезда в режиме торможения. С учетом этого решаем тормозную задачу следующим образом.

На основании данных расчётной таблицы удельных равнодействующих сил строим по точкам графическую зависимость удельных замедляющих сил при экстренном торможении от скорости $w_{ox} + b_T = f(v)$, а рядом, справа, устанавливаем в соответствующих масштабах систему координат $v-s$ (рис. 2). Оси скоростей v в обеих системах координат должны быть параллельны, а оси удельных сил ($w_{ox} + b_T$) и пути s должны лежать на одной прямой. Масштабы для графических построений при тормозных расчётах следует выбирать из табл. 3.

Решаем тормозную задачу следующим образом. От точки O' вправо на оси s откладываем значение полного тормозного пути s_T , который следует принимать равным: на спусках крутизной до 6 ‰ включительно – 1000 м, на спусках круче 6 ‰ и до 12 ‰ – 1200 м.

На кривой $w_{ox} + b_T = f(v)$ отмечаем точки, соответствующие средним значениям скоростей выбранного скоростного интервала 10 км/ч (т. е. точки, соответствующие 5, 15, 25, 35 и т. д. км/ч). Через эти точки из точки M на оси $w_{ox} + b_T$, соответствующей крутизне самого крутого спуска участка (полюс построения), проводим лучи 1 – 4 и т. д.

Построение кривой $v = f(s)$ начинаем из точки O , так как нам известно конечное значение скорости при торможении, равное нулю. Из этой точки проводим (с помощью линейки и угольника) перпендикуляр к лучу 1 до конца первого интервала, т. е. в пределах от 0 до 10 км/ч (отрезок OB). Из точки B проводим перпендикуляр к лучу 2 до конца второго скоростного интервала от 10 до 20 км/ч (отрезок BC); из точки C проводим перпендикуляр к лучу 3 и т. д. Начало каждого последующего отрезка совпадает с концом предыдущего. В результате получаем ломаную линию, которая представляет собой выраженную графически зависимость скорости заторможенного поезда от пройденного пути (или, иначе говоря, зависимость пути, пройденного поездом в режиме торможения, от скорости движения).

На тот же график следует нанести зависимость подготовительного тормозного пути от скорости

$$s_{II} = 0,278 v_H \cdot t_{II}, \text{ м}, \quad (33)$$

где v_H – скорость в начале торможения, км/ч;

t_{II} – время подготовки тормозов к действию, с; это время для автотормозов грузового типа равно:

$$t_{II} = 7 - \frac{10i_c}{b_T} \quad \text{– для составов длиной 200 осей и менее;}$$

$$t_{II} = 10 - \frac{15i_c}{b_T} \quad \text{— для составов длиной от 200 осей до 300 осей;}$$

$$t_{II} = 12 - \frac{18i_c}{b_T} \quad \text{— для составов длиной более 300 осей.}$$

Здесь i_c — крутизна уклона, для которого решается тормозная задача (для спусков со знаком минус);

b_T — удельная тормозная сила при начальной скорости торможения v_H .

Число осей в составе $n = n_4 + n_6 + n_8$ (см. разд. 5).

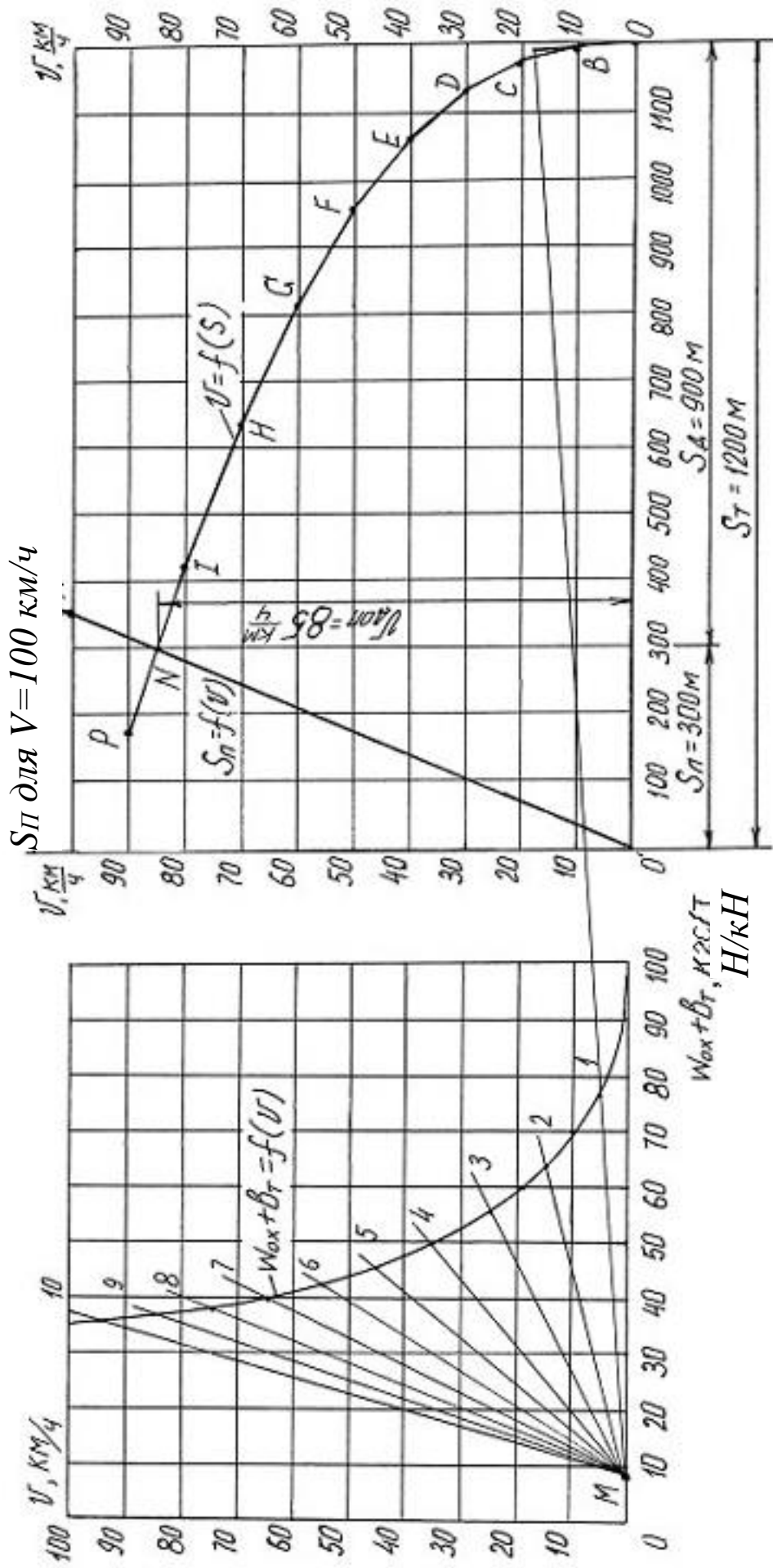


Рис. 2. Решение тормозной задачи графоаналитическим способом

Рис. 2. Решение тормозной задачи графоаналитическим способом

Построение зависимости подготовительного тормозного пути s_{II} от скорости производим по двум точкам, для чего подсчитываем значения s_{II} при $v_H = 0$ (в этом случае $s_{II} = 0$) и при $v_H = v_{констр}$.

Графическую зависимость между s_{II} и v_H строим в тех же выбранных масштабах. Значение s_{II} , вычисленное для скорости, равной конструкционной скорости локомотива ($v_{констр}$ приведена в табл. 2), откладываем в масштабе (см. табл. 3) вправо от вертикальной оси $O'v$ на «уровне» той скорости, для которой подсчитывалось значение s_{II} (т. е. против скорости, равной $v_{констр}$). Получаем точку K , соединяем её с точкой O' (так как при $v_H = 0$ имеем $s_{II0} = 0$). Точка пересечения ломаной линии $OBCDEFGHIP$ с линией $O'K$ – точка N – определяет максимально допустимую скорость движения поезда на наиболее крутом спуске участка при данном расчётном тормозном пути s_T . Полученное значение допустимой скорости движения должно быть округлено **в меньшую сторону** до 0 или 5.

Графическое решение тормозных задач и теоретическое обоснование графических способов решения подробно рассмотрены в [1, 2].

Если тормозная задача решалась с применением ЭВМ по программе, составленной студентом самостоятельно или при помощи преподавателя, то в курсовой работе необходимо поместить рабочую программу, комментарий к ней и результаты расчета, выведенные на экран дисплея или на печать вычислительной машиной. При решении тормозных задач допускается использование готовых программ, которые приведены в руководствах [1, 2, 5].

Результаты решения тормозной задачи необходимо учитывать при построении кривой скорости движения поезда $V = f(S)$, с тем чтобы нигде не была превышена скорость, допустимая по тормозам, т. е. чтобы поезд мог быть всегда остановлен на расстоянии, не превышающем длины полного тормозного пути.

Результаты, полученные после решения тормозной задачи, следует указать в курсовом проекте ($V_{дон} = \dots$ км/ч; $S_n = \dots$ м; $S_d = \dots$ м).

7 Определение технической скорости на заданном участке на основании построенных кривых скорости $V = f(S)$ и времени хода поезда по участку $t = f(S)$

Построение кривых скорости $V = f(S)$ и времени хода поезда $t = f(S)$ производится методом МПС, изложенном в [1, 2, 4].

В соответствии с ПТР при выполнении тяговых расчётов поезд рассматривается как материальная точка, в которой сосредоточена вся масса поезда и к которой приложены внешние силы, действующие на реальный объект (поезд). Условно принимают, что эта материальная точка расположена в середине поезда*.

Кривые строят для движения поезда в одном направлении в двух вариантах: с остановкой и без остановки поезда на промежуточной станции. При этом надо принимать условие, что скорость поезда по входным стрелкам станции, на которой предусмотрена остановка, не должна превышать 50 км/ч вследствие возможного приёма поезда на боковой путь для скрещения или обгона.

По построенной кривой скорости следует проверить прохождение поездом подъема большей крутизны, чем расчетный (в п. 4.1 такая проверка выполнялась аналитически).

* Замена рассредоточенной массы поезда материальной точкой, конечно, вносит некоторую погрешность в расчёты, однако такая погрешность допустима с точки зрения практически необходимой точности; в то же время методы расчётов при этом упрощаются и их объём сокращается.

На кривой скорости необходимо делать отметки о включении и выключении тяговых электродвигателей тепловоза, а также режимах их работы (степень ослабления поля), и отметки о включении и отпуске тормозов («Вкл.», «Выкл.», ПП, ОП1, ОП2, «Т», «О. т.»).

При построении кривой $v = f(s)$ необходимо учитывать ограничения наибольшей допустимой скорости движения поезда; в курсовой работе следует принимать следующие ограничения:

- конструкционная скорость грузовых вагонов 100 км/ч;
- наибольшая допустимая скорость поезда по прочности пути 100 км/ч;
- конструкционную скорость тепловоза принимать по табл. 2;
- наибольшая допустимая скорость поезда по тормозным средствам определена при решении тормозной задачи.

Максимально допустимая скорость движения поезда при построении кривой $v = f(s)$ принимается как наименьшая из четырех вышеперечисленных ограничительных скоростей. Если при построении кривой скорости поезда на спусках скорость стремится превзойти допускаемую, то необходимо применять служебное регулировочное торможение. Рекомендуется руководствоваться п. 1.4.8 ПТР, в соответствии с которым разрешается строить кривую скорости $v = f(s)$ на таких спусках в виде горизонтальной линии, проводимой ниже уровня допустимой скорости на величину поправки Δv^{**} .

Обязательно следует иметь в виду, что при выполнении тяговых расчетов необходимо стремиться к возможно более полному использованию тяговых свойств и мощности локомотива, с тем чтобы время движения поезда по перегонам было минимальным. Только в этом случае может быть освоена наибольшая пропускная способность участка. Значит, переход с режима тяги на режим холостого хода или торможения может быть оправдан лишь в случаях, когда скорость, возрастая, доходит до наибольшего допустимого значения.

** На спусках крутизной до 4 ‰ значение Δv принимается равным нулю.

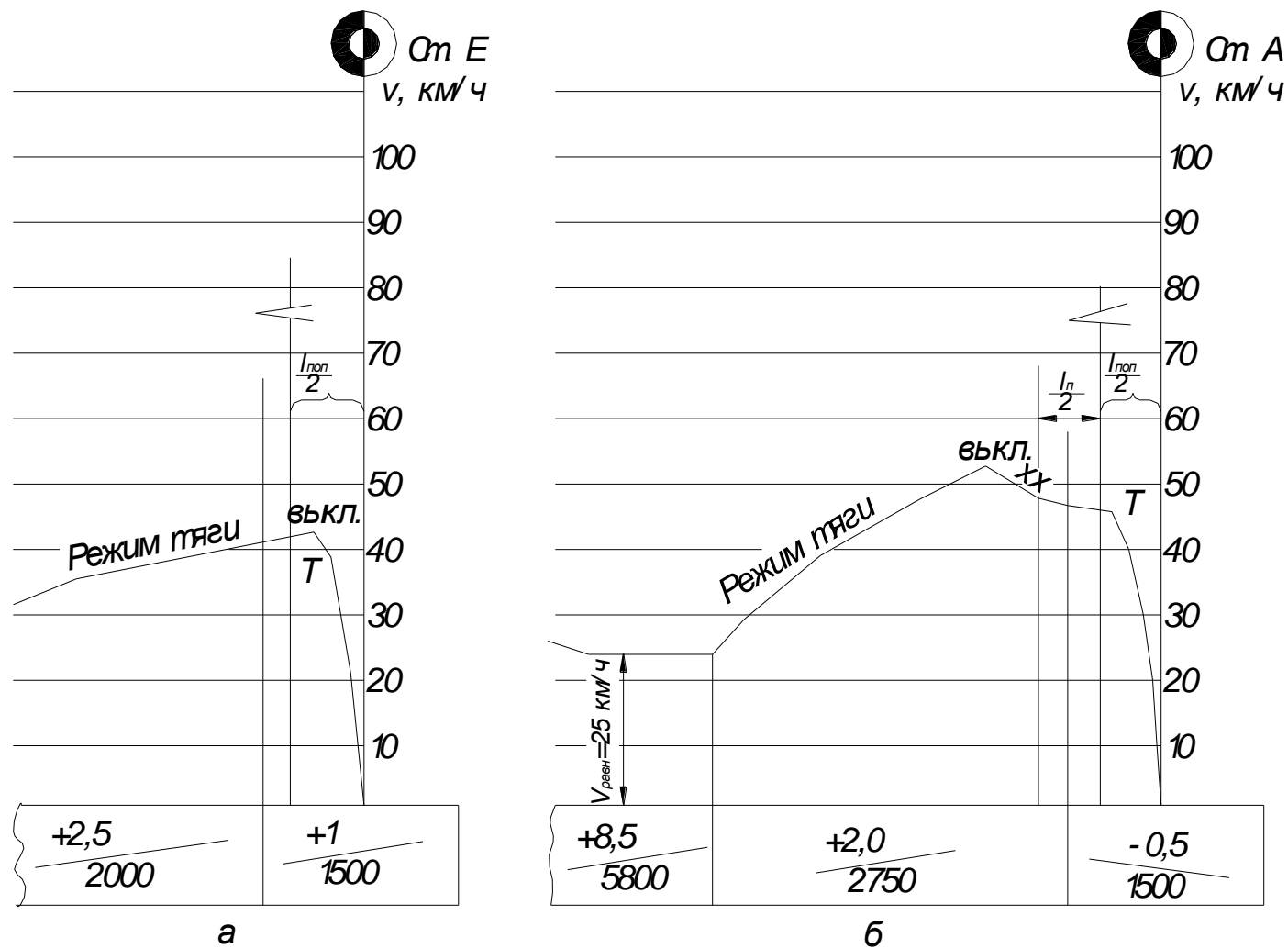


Рис. 3. Варианты управления движением поезда в зависимости от условий подхода к станции, на которой предусмотрена остановка (начало): *Вькл.* – отключение тяговых двигателей; *T* – начало торможения; *О. т.* – отпуск тормозов; *Х. х.* – холостой ход (выбег)

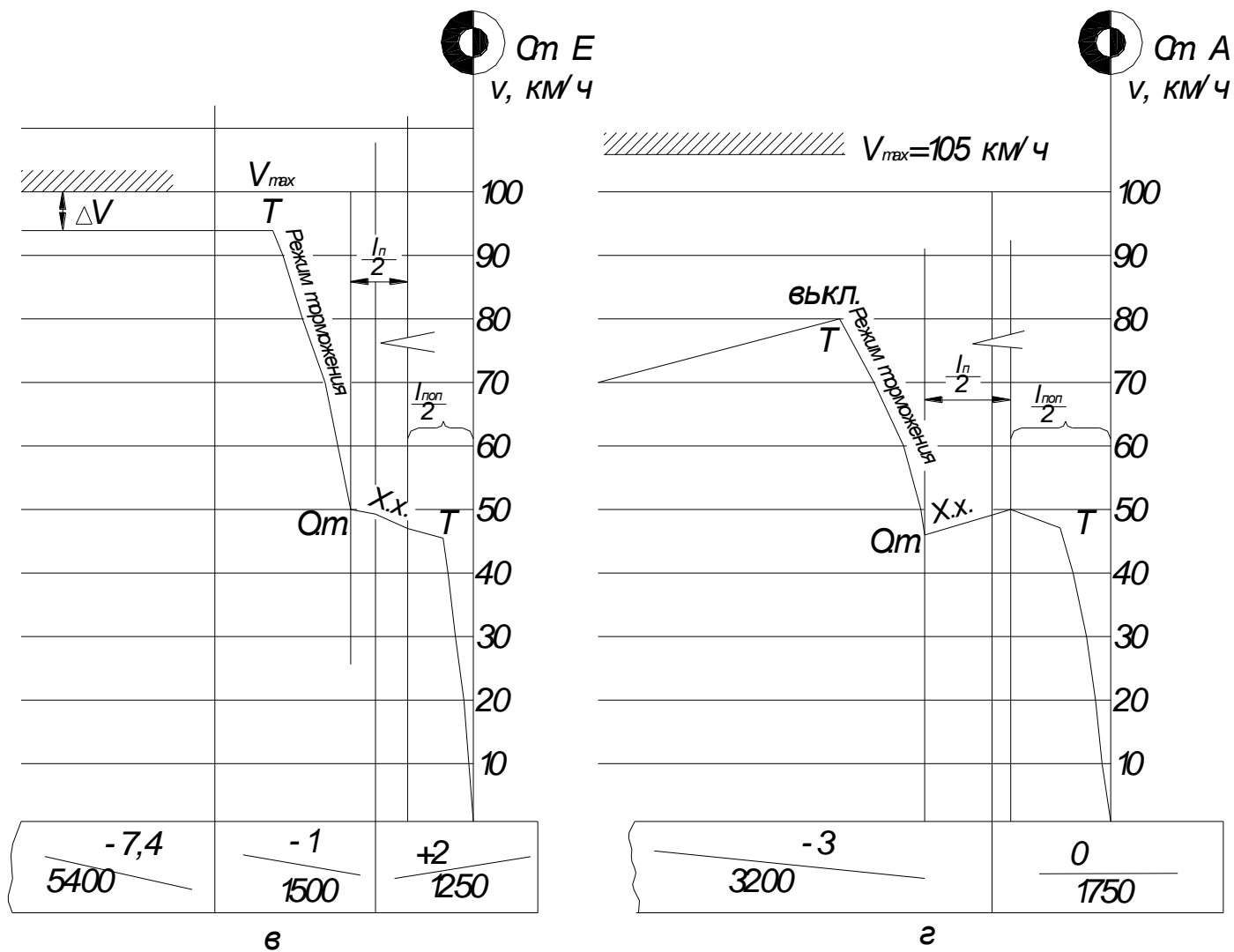


Рис. 3. Варианты управления движением поезда в зависимости от условий подхода к станции, на которой предусмотрена остановка (окончание): *Выкл.* – отключение тяговых двигателей; *T* – начало торможения; *O. т.* – отпуск тормозов; *X. х.* – холостой ход (выбег)

При построении кривой $v = f(s)$ нужно учитывать проверку тормозов в пути следования, которая согласно Инструкции по эксплуатации тормозов выполняется при достижении поездом скорости 40–60 км/ч на площадке или спуске (см. п. 1.4.8 ПТР); снижение скорости при этом для грузовых поездов допускается на 15–20 км/ч.

При выполнении расчетов считаем, что центр массы поезда располагается примерно в середине поезда по его длине, оси станций – в середине элементов, на которых они расположены, входные стрелки – на расстоянии 425, 525, 625 и 775 м соответственно от оси станции $\left(\frac{l_{non}}{2}\right)$.

Кривая скорости изображает движение центра массы поезда. Когда локомотив, например, входит на входные стрелки, центр массы поезда находится от них на расстоянии, равном половине длины поезда $\left(\frac{l_n}{2}\right)$. Это необходимо учитывать при построении кривой скорости, когда поезд останавливается на станции. В данном случае допускаемая скорость движения 50 км/ч для точки, изображающей центр массы поезда, должна выдерживаться не на рубеже, где расположены стрелки, а на расстоянии $\frac{l_n}{2}$ от вертикальной линии, проведенной через место расположения входных стрелок на станционном элементе профиля пути.

Построение кривой скорости следует начинать от оси первой станции заданного участка. Варианты управления движением поезда при подходе к станции, на которой предусмотрена остановка, представлены в виде кривых (рис. 3).

Выполняя построение кривой времени $t = f(s)$, следует иметь в виду, что эта кривая нарастающая, поэтому, чтобы не использовать лист бумаги большого формата, при достижении ординаты, равной 10 мин, кривую времени следует оборвать, точку обрыва перенести по вертикали вниз на ось абсцисс и продолжать построение кривой времени снова от нуля. Таким образом, кривая времени обрывается через каждые 10 мин.

У точек пересечения кривой $t = f(s)$ с осями отдельных пунктов записываются времена хода поезда между двумя соседними отдельными пунктами (с точностью до 0,1 мин), а также общее время хода поезда по участку (например, $t_{AB} = 15,2$ мин, $t_{BB} = 18,6$ мин, $T_{AB} = 33,8$ мин).

Построенные графические зависимости должны быть обозначены: $v = f(s)$, $t = f(s)$, а также $I_T = f(s)$ – см. разд. 9.

Кривые скорости и времени хода поезда строят на листе миллиметровой бумаги, в нижней части которого следует расположить заданный профиль и план участка, над ними – спрямленный профиль, по которому строится кривая скорости. Кроме того, необходимо внизу указать километровые отметки (против оси первой станции участка ставится нулевая километровая отметка).

Построения кривых скорости и времени, являющихся результатом графического интегрирования уравнения движения поезда, а также диаграмм равнодействующих сил, являющихся основой для такого интегрирования, следует выполнять хорошо заточенным твердым карандашом тонкими, но четкими линиями, точно и аккуратно.

Примеры построения кривых $v = f(s)$ и $t = f(s)$ для конкретных участков пути с подробными пояснениями приведены в [1, 2, 4]. Этими примерами и следует руководствоваться при выполнении курсового проекта.

В случае применения ЭВМ для расчетов скорости и времени движения поезда на заданном участке по рабочим программам, исполненным на одном из алгоритмических языков, или программируемых калькуляторов следует по результатам расчетов нанести точки на планшет и построить кривые скорости $v = f(s)$ и времени $t = f(s)$ для заданного участка $A - B - B$ (или $B - B - A$).

После построения кривой времени определяется время хода по перегонам и техническая скорость поезда v_m на участке.

Техническая скорость поезда на участке, км/ч,

$$v_T = \frac{L \cdot 60}{t_{AB} + t_{BB}}, \quad (34)$$

где t_{AB} и t_{BB} – соответственно времена хода по первому и второму перегонам заданного участка $A - B - B$ (или $B - B - A$), мин;

L – длина участка, км (расстояние между осями граничных станций заданного участка).

8 Определение времени хода поезда способом равномерных скоростей

Этот способ основан на предположении о равномерном движении поезда по каждому элементу профиля. При этом скорость равномерного движения на каждом элементе спрямленного профиля определяем по диаграмме удельных равнодействующих сил (по кривой для режима тяги).

Для подъемов более крутых, чем расчетный, величину равномерной скорости принимаем равной расчетной скорости v_R . На элементах, где равномерная скорость, определенная по диаграмме удельных сил для режима тяги, получается выше наибольшей допустимой скорости движения, принимаем равномерную скорость равной максимально допустимой, т. е. должно выполняться условие $v_{доп} \geq v_{рав} \geq v_{расч}$.

К времени хода по перегонам, полученному при расчете приближенным способом, следует добавлять 2 мин на разгон и 1 мин на замедление в каждом случае, когда имеется трогание с места и разгон поезда на станции, а затем остановка его на отдельном пункте участка. Все расчеты рекомендуется свести в таблицу, составленную по форме табл. 5.

Таблица 5

Расчёт времени хода поезда методом равномерных скоростей

| № элемента | Длина элемента S , км | Крутизна уклона i , ‰ | $v_{рав}$, км/ч | $\frac{60}{v_{рав}}$, мин/км | $\frac{60}{v_{рав}} \cdot S$, мин | Время на разгон и замедление, мин |
|------------|-------------------------|-------------------------|------------------|-------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| 1 | S_1 | i_1 | $v_{рав1}$ | ... | ... | 2 (ст. А) |
| 2 | S_2 | i_2 | $v_{рав2}$ | ... | ... | |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | |
| n | S_n | i_n | $v_{рав n}$ | ... | ... | 1 (ст. В) |

9 Проверка тяговых электрических машин тепловозов на нагревание

Перед тем как приступить к проверке электрических машин тепловоза на нагревание, необходимо на планшет, на котором построены кривые скорости и времени, нанести графическую зависимость тока тягового генератора $I_T = f(s)$.

При построении кривой тока следует руководствоваться кривой скорости $v = f(s)$ и значениями $I_T = f(v)$ в зависимости от скорости заданного тепловоза (см. прил. 2. Таблицы, представлены на тяговых характеристиках тепловозов).

В период трогания с места и разгона поезда значения тока I_T следует принимать в соответствии с ограничениями по сцеплению или по пусковому току. После выхода на автома-

тическую характеристику, соответствующую крайнему положению контроллера машиниста (16-е – для тепловозов ТЭЗ и ЗТЭЗ, 15-е – для остальных тепловозов), величина тока определяется по кривым $I_T = f(v)$ с учетом режима работы тяговых электродвигателей (ПП, ОП1, ОП2). Значения тока I_T определяются для скоростей, соответствующих начальной и конечной точкам каждого отрезка кривой $v = f(s)$.

При скоростях, соответствующих переходу с одного режима работы тяговых электродвигателей на другой, необходимо определить два значения тока (для обоих режимов работы) и оба значения нанести на планшет (в этих местах, т. е. при скоростях, при которых происходят переключения режимов работы, на кривой $I_T = f(s)$, ток изменяется «скачком»). Около каждой из этих точек ставится условное обозначение режима работы тяговых двигателей (ПП, ОП1, ОП2).

Нанесенные таким образом на график точки соединяются прямыми линиями, которые и образуют графическую зависимость $I_T = f(s)$.

В местах выключения тока кривую обрывают и проводят вертикально вниз до нуля. Включение тока показывают вертикальной линией от нуля до значения тока, соответствующего скорости движения поезда в данной точке пути.

Пример построения кривой $I_T = f(s)$ с подробными пояснениями приведен в [4].

Проверку на нагревание электрических машин тепловоза следует выполнять, руководствуясь построенной кривой тока $I_T = f(s)$ и кривой времени $t = f(s)$. У тепловозов ТЭЗ и ЗТЭЗ на нагревание проверяется обмотка якоря генератора, а у тепловозов ЗТЭ10М, 2ТЭ10М, 2ТЭ10Л, 2ТЭ116, 2М62, 2ТЭ121 – обмотки якорей тяговых электродвигателей.

Для расчетов по проверке обмоток электромашин на нагревание используем следующую формулу:

$$\tau = \tau_{\infty} \cdot \frac{\Delta t}{T} + \tau_0 \left(1 - \frac{\Delta t}{T} \right), \quad (35)$$

где τ – превышение температуры обмоток генератора или тягового электродвигателя над температурой окружающей среды, °С;

τ_{∞} – установившееся превышение температуры обмоток электромашин над температурой окружающего воздуха (для данного значения тока $I_{Гср}$ или $I_{Дср}$), °С;

τ_0 – начальное превышение температуры обмоток для расчетного промежутка времени Δt , °С;

Δt – промежуток времени, в течение которого величина тока принимается постоянной, мин;

T – тепловая постоянная времени (для данного значения тока $I_{Гср}$ или $I_{Дср}$), мин.

Установившееся превышение температуры обмоток τ_{∞} и постоянная времени T являются тепловыми параметрами (характеристиками) тяговой электрической машины.

Графические зависимости тепловых параметров τ_{∞} и T от тока нагрузки для тяговых электрических машин тепловозов (тепловые характеристики) приведены в прил. 3.

Расчетные интервалы времени Δt следует выбирать так, чтобы было выдержано соотношение

$$\frac{\Delta t}{T} \leq 0,1. \quad (36)$$

При определении средней величины тока тягового электродвигателя или главного генератора для отыскания тепловых параметров T и τ_{∞} следует кривую тока $I_T = f(s)$ разбить на отдельные отрезки, в пределах которых величину тока можно принимать постоянной, равной полусумме токов в начале и конце отрезка.

Значение тока тягового электродвигателя для тепловозов 2ТЭ121, 2М62, 2ТЭ10Л, 2ТЭ10М, ЗТЭ10М, 2ТЭ116 определяется делением тока генератора I_T на шесть (так как в силовую цепь включены параллельно 6 тяговых двигателей).

Изменение температуры обмоток электромашин при движении тепловоза в режимах холостого хода и торможения (когда ток в силовой цепи отсутствует, а следовательно, и установившееся превышение температуры обмоток $\tau_{\infty} = 0$) определяем по формуле

$$\tau = \tau_0 \left(1 - \frac{\Delta t}{T} \right). \quad (37)$$

Снижение температуры обмоток тяговых электрических машин при движении на режимах холостого хода и торможения можно также определять по кривой $\tau = f(t)$ при $I_{\Gamma} (I_{Д}) = 0$ (характеристике охлаждения обмоток); эти кривые для электрических машин тепловозов приведены в прил. 3.

Полученные по формулам (35) и (37) значения температур τ для каждого расчетного элемента кривой тока являются начальными значениями тока для следующего элемента расчета.

Первоначальное превышение температуры обмоток тяговых электромашин в момент отправления поезда со станции *A* (*B*) следует принимать равным $\tau_0 = + 15$ °С.

Максимально допустимое превышение температуры обмоток якорей тяговых электрических машин над температурой окружающего воздуха составляет*:

для тепловозов ТЭЗ, ЗТЭЗ, 2М62, 2ТЭ10Л – 120 °С;

для тепловозов 2ТЭ10М, 3ТЭ10М, 2ТЭ116, 2ТЭ121 – 140 °С.

Все расчеты по определению температур обмоток тяговых электрических машин тепловоза следует свести в таблицу, составленную по форме табл. 6.

Если же превышение температуры обмоток электромашин, полученное в результате выполненного расчета, окажется выше допустимого значения, то необходимо предложить мероприятия по снижению температуры в соответствии с рекомендациями, приведенными в [1–3, 5].

Токовую характеристику тягового генератора $I_{\Gamma} = f(v)$, тепловые характеристики $T = f(I)$ и $\tau_{\infty} = (I)$ и кривую охлаждения $\tau = f(I)$ (при $I = 0$) электрической машины, нагревание обмоток которой проверяется, необходимо аккуратно вычертить на миллиметровой бумаге и привести в курсовом проекте.

Примеры расчета температур обмоток электрической машины тепловоза аналитическим способом с пояснениями приведены в [1, 2, 4].

10 Расход дизельного топлива тепловозом за поездку и на единицу выполненной работы

Расход дизельного топлива тепловозом на заданном участке, кг, определяется по формуле

$$E = G \cdot t_{\Gamma} + g_x \cdot t_{xx}, \quad (38)$$

где G – расход дизельного топлива тепловозом в режиме тяги при 16-м (для ТЭЗ и ЗТЭЗ) или 15-м (для остальных тепловозов) положении рукоятки контроллера, кг/мин (табл. 7 или прил. 4);

t_{Γ} – суммарное время работы тепловоза в режиме тяги, мин;

g_x – расход топлива тепловозом при выключенном токе (режимы холостого хода и торможения), кг/мин (см. табл. 7 или прил. 4);

t_{xx} – суммарное время движения тепловоза в режиме холостого хода и торможения, мин[†].

*Приводятся данные для климатических условий, при которых в летнее время температура окружающего наружного воздуха $t_{на}$ не превышает 40 °С.

† Суммарное время $t_{\Gamma} + t_{xx}$ должно быть равно времени хода поезда по заданному участку, определенному в разд. 7 ($t_{AB} + t_{BB}$).

Расход дизельного топлива тепловозами, кг/мин

| Тепловоз | В режиме тяги G | В режимах холостого хода и торможения g_x |
|----------|-------------------|---|
| ТЭЗ | 11,4 | 0,70 |
| 3ТЭЗ | 17,1 | 1,05 |
| 2М62 | 12,8 | 0,80 |
| 2ТЭ10Л | 16,8 | 0,76 |
| 2ТЭ10М | 16,8 | 0,76 |
| 3ТЭ10М | 25,2 | 1,14 |
| 2ТЭ116 | 15,7 | 0,50 |
| 2ТЭ121 | 20,7 | 0,54 |

Время работы тепловоза t_T и t_{xx} определяется по кривой времени $t = f(s)$ и отметкам об изменении режима работы тепловоза на кривой скорости $v = f(s)$.

Удельный расход топлива на измеритель

$$e = \frac{E \cdot 10^4}{Q \cdot L}, \text{ кг/10}^4 \text{ ткм}, \quad (39)$$

где Q – масса состава, т;

L – длина участка, для которого выполнены тяговые расчеты, км (расстояние между осями граничных станций заданного участка).

Удельный расход топлива обычно приводится к удельному расходу условного топлива

$$e_y = e \cdot \mathcal{E}, \text{ кг/10}^4 \text{ ткм}, \quad (40)$$

где \mathcal{E} – эквивалент дизельного топлива ($\mathcal{E} = 1,43$).

11 Оценка трудности заданного железнодорожного участка

Коэффициент трудности участка (виртуальный коэффициент) α представляет собой отношение механической работы, затраченной локомотивом на перемещение состава по заданному участку, к механической работе, затраченной тем же локомотивом на перемещение состава той же массы по прямому горизонтальному участку пути длиной, равной длине заданного участка. Следовательно, виртуальный коэффициент показывает, во сколько раз данный участок по затрате механической работы на ведение поезда труднее прямого горизонтального пути той же протяженности.

Для упрощения расчетов в курсовом проекте виртуальный коэффициент заданного участка определяется как отношение соответствующих расходов топлива, т. е.

$$\alpha = \frac{E}{E_0}, \quad (41)$$

где E – расход топлива на заданном участке, подсчитанный выше по формуле (38);

E_0 – расход топлива на прямом горизонтальном участке пути (площадке) той же длины, кг:

$$E_0 = G \cdot t_0. \quad (42)$$

Здесь G – расход топлива тепловозом на режиме тяги, кг/мин (берется из табл.7);

t_0 – время хода поезда по площадке, мин,

$$t_0 = \frac{L}{v_0} \cdot 60, \quad (43)$$

где v_0 – равномерная скорость на площадке, км/ч (определяется по кривой режима тяги диаграммы удельных равнодействующих сил, но не более $V_{дон}$).

12 Техничко-экономические расчёты

В разделе курсового проекта «Техничко-экономические расчёты» студент должен выполнить анализ и денежную оценку результатов тяговых расчётов по вариантам (с остановкой и без остановки на промежуточной станции заданного участка), по энергозатратам, изменению технической скорости и т. п.

При денежной оценке энергозатрат на тягу поездов следует считать, что 1 кг натурального дизельного топлива стоит 6,5...7,0 руб.

Экономия денежных средств «Д» от отмены остановки поезда на промежуточной станции заданного участка может быть определена из выражения

$$D = (E_{ост} - E_{б.ост}) \cdot C_T, \text{ руб/поезд}; \quad (44)$$

где $E_{ост}$ – расход дизельного топлива за поездку при остановке поезда на промежуточной станции, кг;

$E_{б.ост}$ – расход дизельного топлива за поездку при проследовании промежуточной станции без остановки, кг;

C_T – стоимость дизельного топлива, руб/кг.

Кроме экономии энергоресурсов на тягу поездов, отмена остановки поезда на промежуточной станции позволяет увеличить техническую скорость движения поезда.

$$(v_{т.б.ост} - v_{т.ост}) \cdot \frac{100}{v_{т.б.ост}}, \%, \quad (45)$$

где $v_{т.б.ост}$, $v_{т.ост}$ – значения технической скорости движения поезда соответственно с остановкой и без остановки на промежуточной станции.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1 Деев В.В., Ильин Г.А., Афонин Г.С. Тяга поездов: учеб. пособие для вузов / под ред. В.В. Деева. – М.: Транспорт, 1987. – 264 с.

2 Осипов С.И., Осипов С.С. Основы тяги поездов. – М., 2000. – 592 с.

3 Правила тяговых расчётов для поездной работы. – М.: Транспорт, 1985.

4 Гребенюк П.Т., Долганов А.Н., Скворцова А.И. Справочник по тяговым расчётам. – М.: Транспорт, 1987.

5 Руководство по выполнению контрольных работ и курсовых проектов с применением ЭВМ по профилирующим дисциплинам для специальности «Тепловозы и Тепловозное хозяйство» / А.И. Володин, Н.М. Хуторянский, В.Е. Кононов [и др.]. – М.: ВЗИИТ, 1988.

Значение касательной силы тяги, Н

| V, км/ч | Серии локомотивов (тепловозы) | | | | | | |
|------------|-------------------------------|--------|--------|------------------|--------|--------|--------|
| | ТЭ3 | 2М62 | 2ТЭ10Л | 2ТЭ10В 2ТЭ10М | 2ТЭ116 | 3ТЭ10М | 2ТЭ121 |
| 0 | 570950 | 700450 | 750450 | 797550 | 797550 | 941750 | 865250 |
| 10 | 570950 | 586050 | 608200 | 667100 | 667300 | 941750 | 738700 |
| 20 | 405250 | 392400 | 535350 | 586650 | 585800 | 850550 | 656300 |
| 30 | 266450 | 272700 | 409100 | 409100 | 408800 | 613650 | 525400 |
| 40 | 201500 | 209950 | 306100 | 306100 | 313900 | 459150 | 399100 |
| 50 | 161550 | 170700 | 245250 | 245250 | 251900 | 367900 | 320200 |
| 60 | 134200 | 143250 | 205400 | 205400 | 209050 | 308100 | 263900 |
| 70 | 111850 | 121650 | 176600 | 176600 | 179900 | 264900 | 227800 |
| 80 | 92700 | 104000 | 153050 | 153050 | 157950 | 229550 | 200100 |
| 90 | 75150 | 88300 | 137350 | 137350 | 140700 | 206000 | 176600 |
| 100 | 58850 | 76500 | 119700 | 119700 | 126550 | 179550 | 156950 |

Тяговые характеристики тепловозов

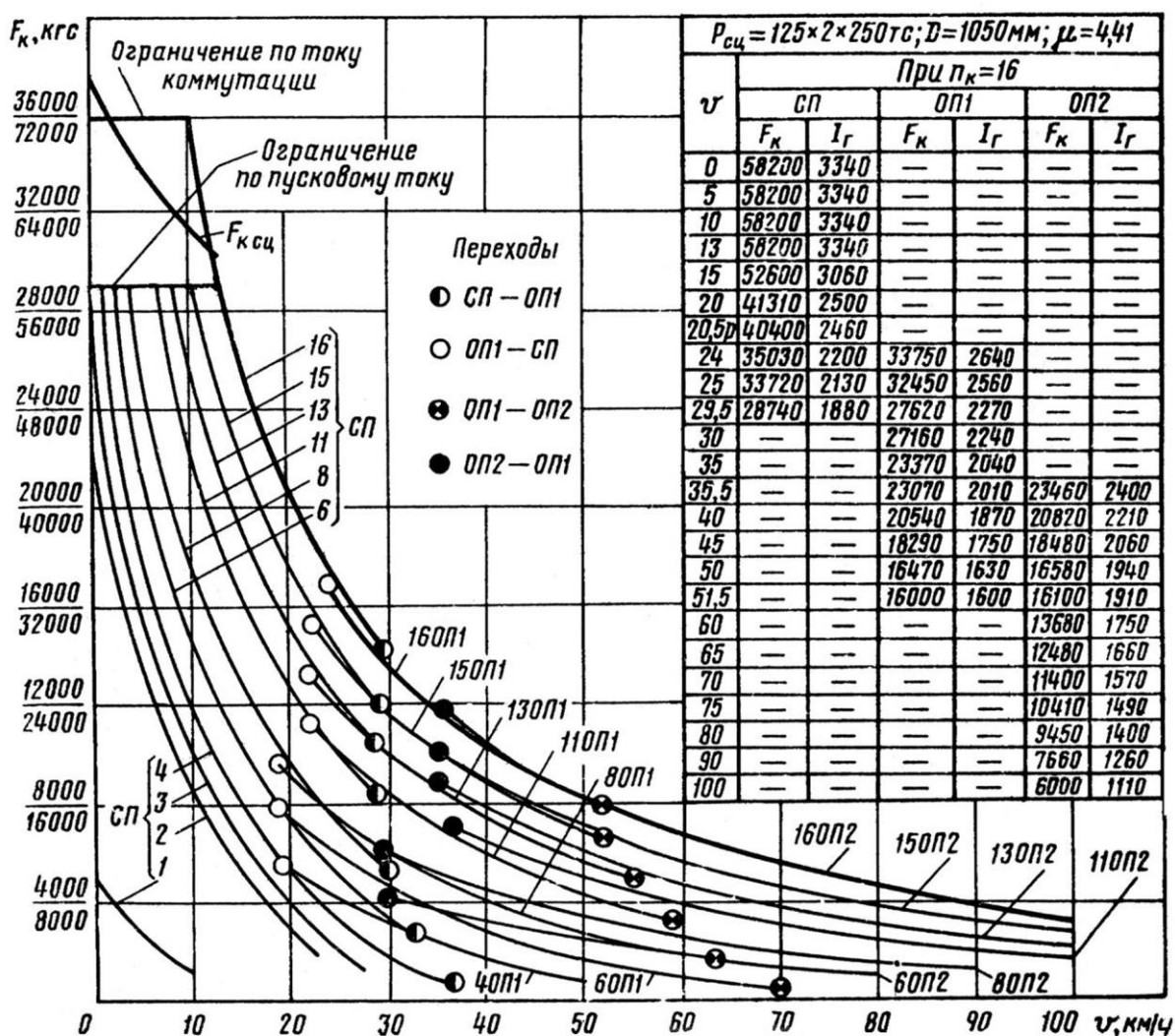


Рис. П2.1. Тяговая характеристика тепловоза ТЭЗ
(числитель – 1 секция, знаменатель – 2 секции)

Примечание. При использовании тяговых характеристик тепловозов значения касательной силы тяги умножить на 9,81 и округлить до 50 Н.

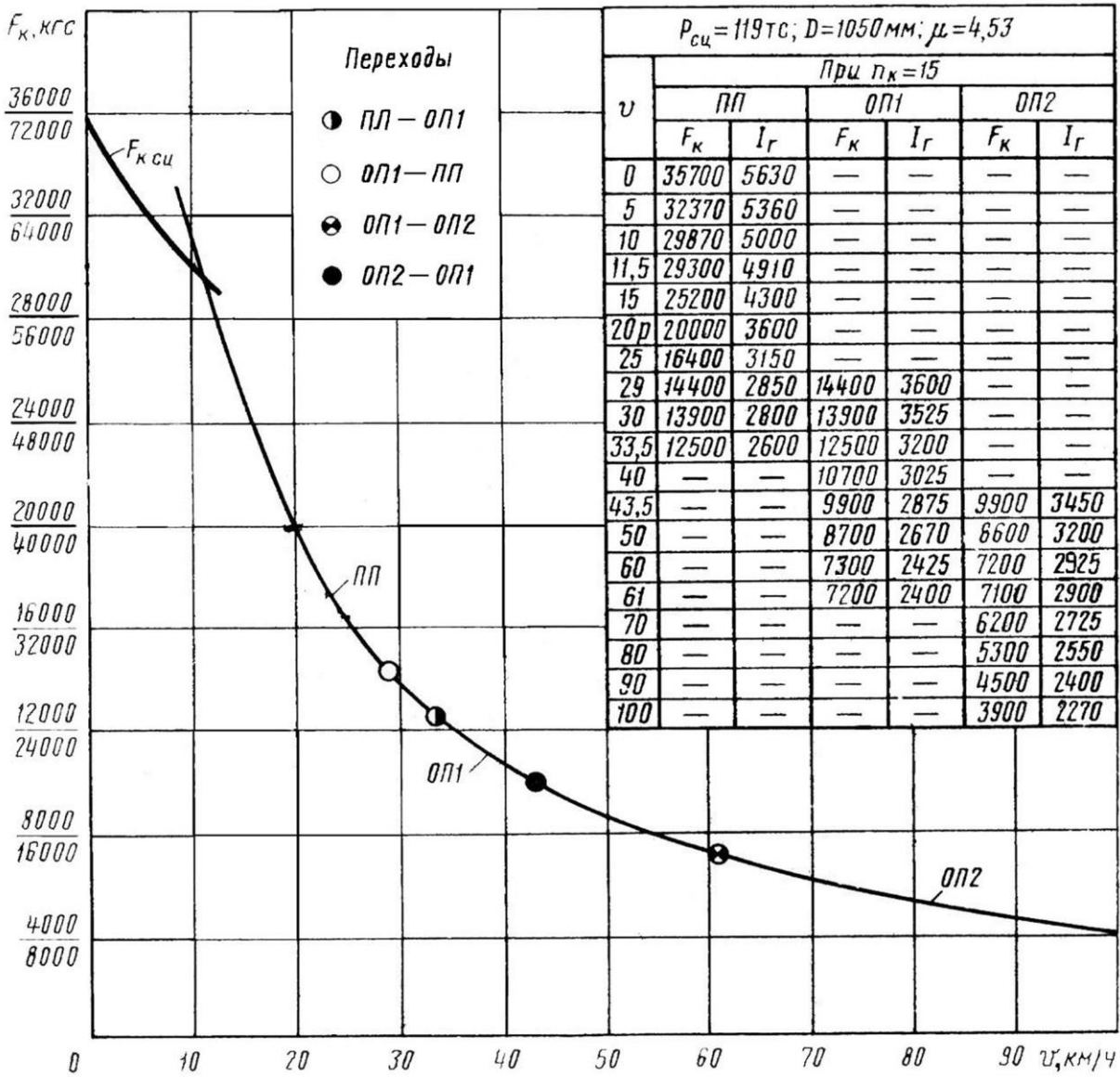


Рис. П2.2. Тяговая характеристика тепловозов М62 (в числителе) и 2М62 (в знаменателе)

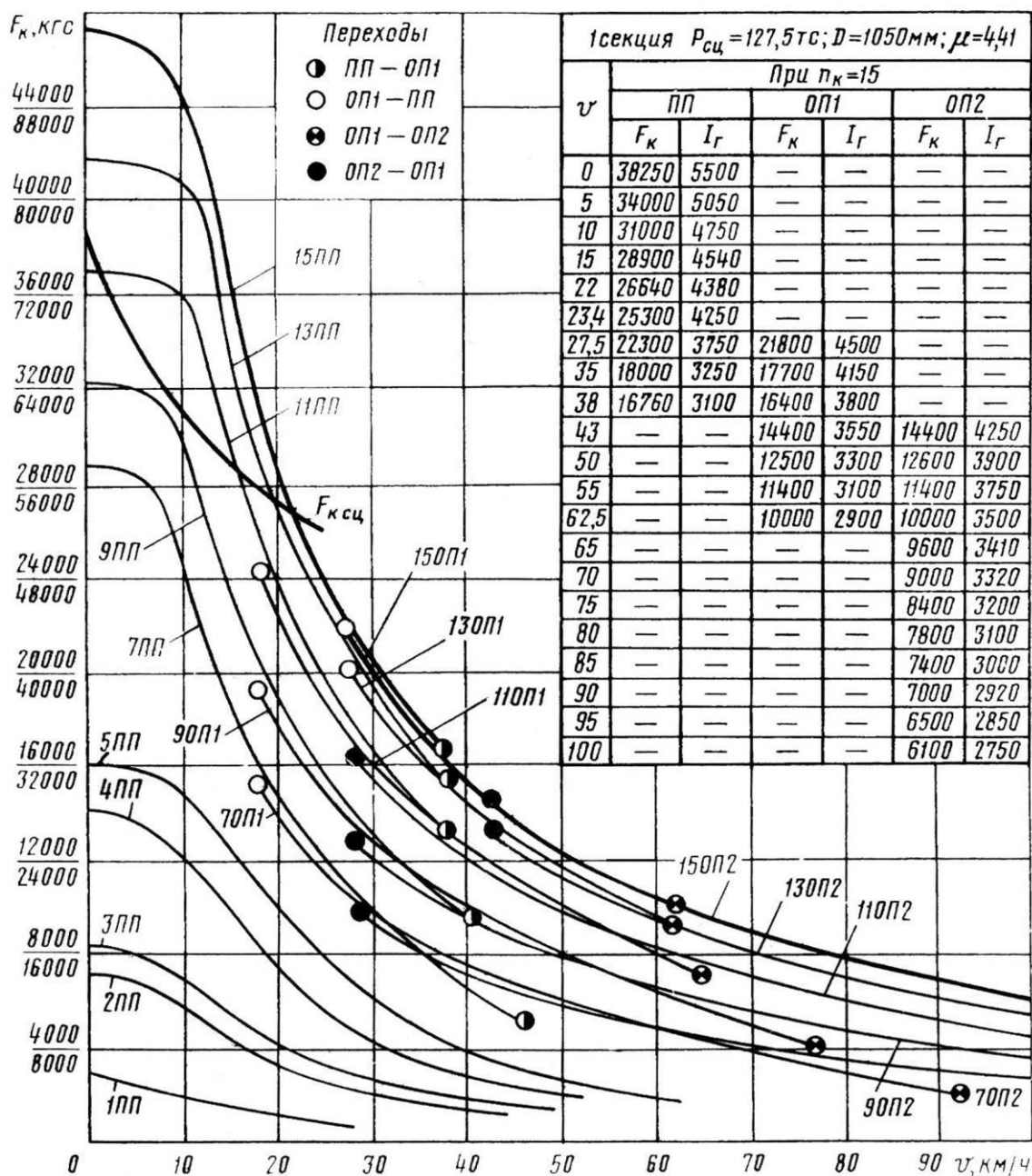


Рис. П2.3. Тяговая характеристика тепловозов 2ТЭ10Л и ТЭ10
(числитель – 1 секция, знаменатель – 2 секции)

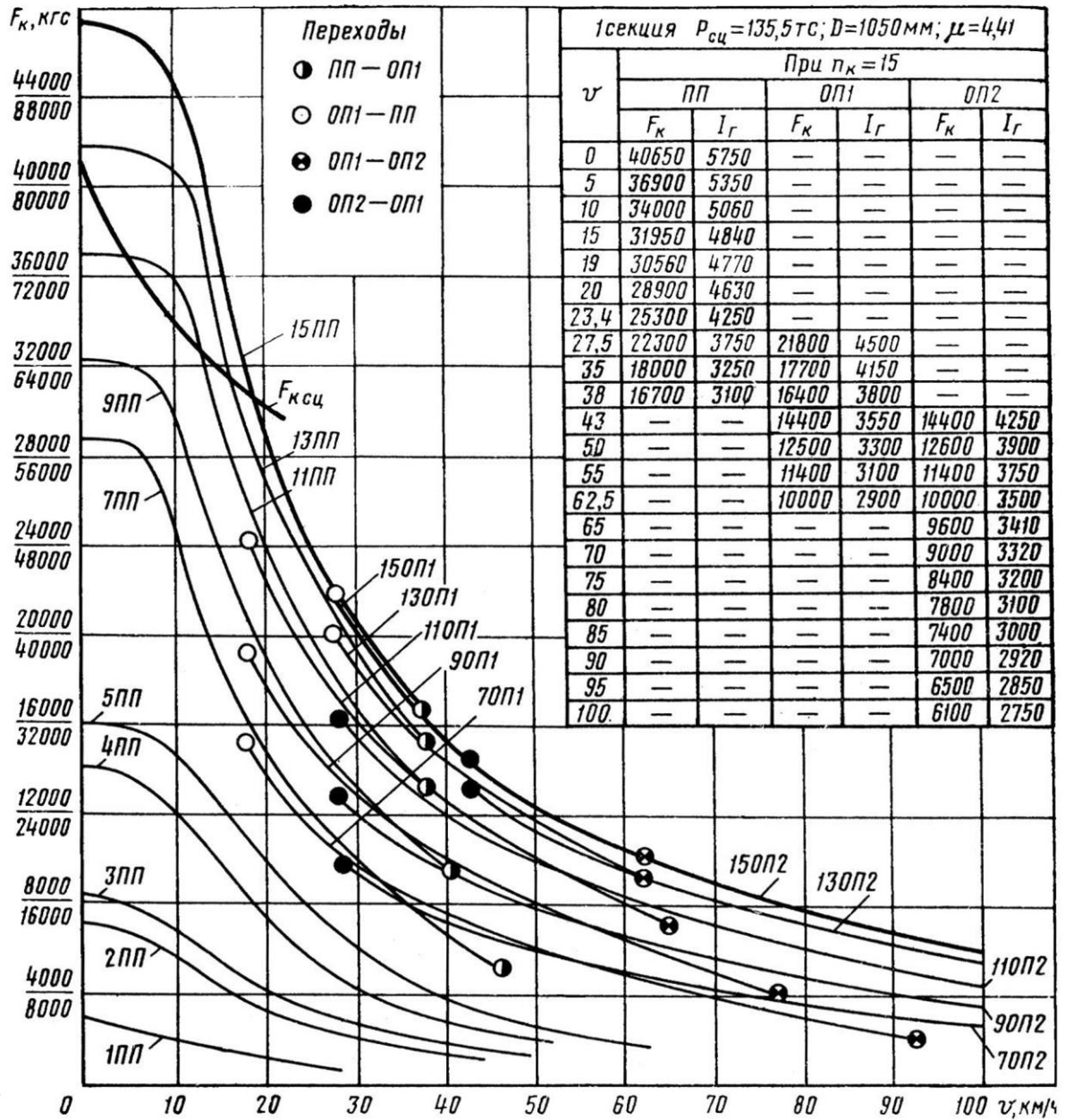


Рис. П2.4. Тяговая характеристика тепловозов 2ТЭ10В и 2ТЭ10М
(числитель — 1 секция, знаменатель — 2 секции)

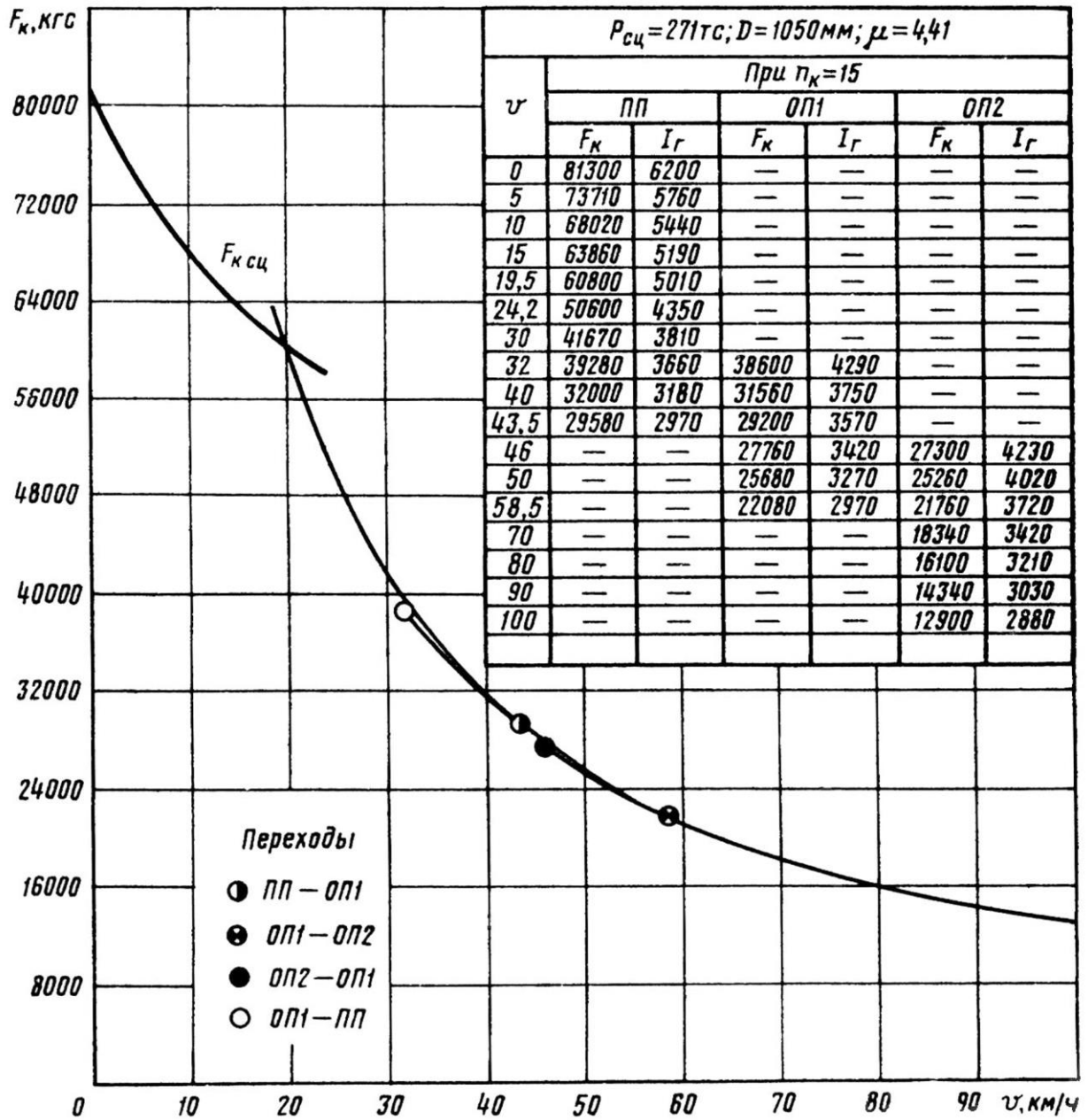


Рис. П2.5. Тяговая характеристика тепловоза 2ТЭ116

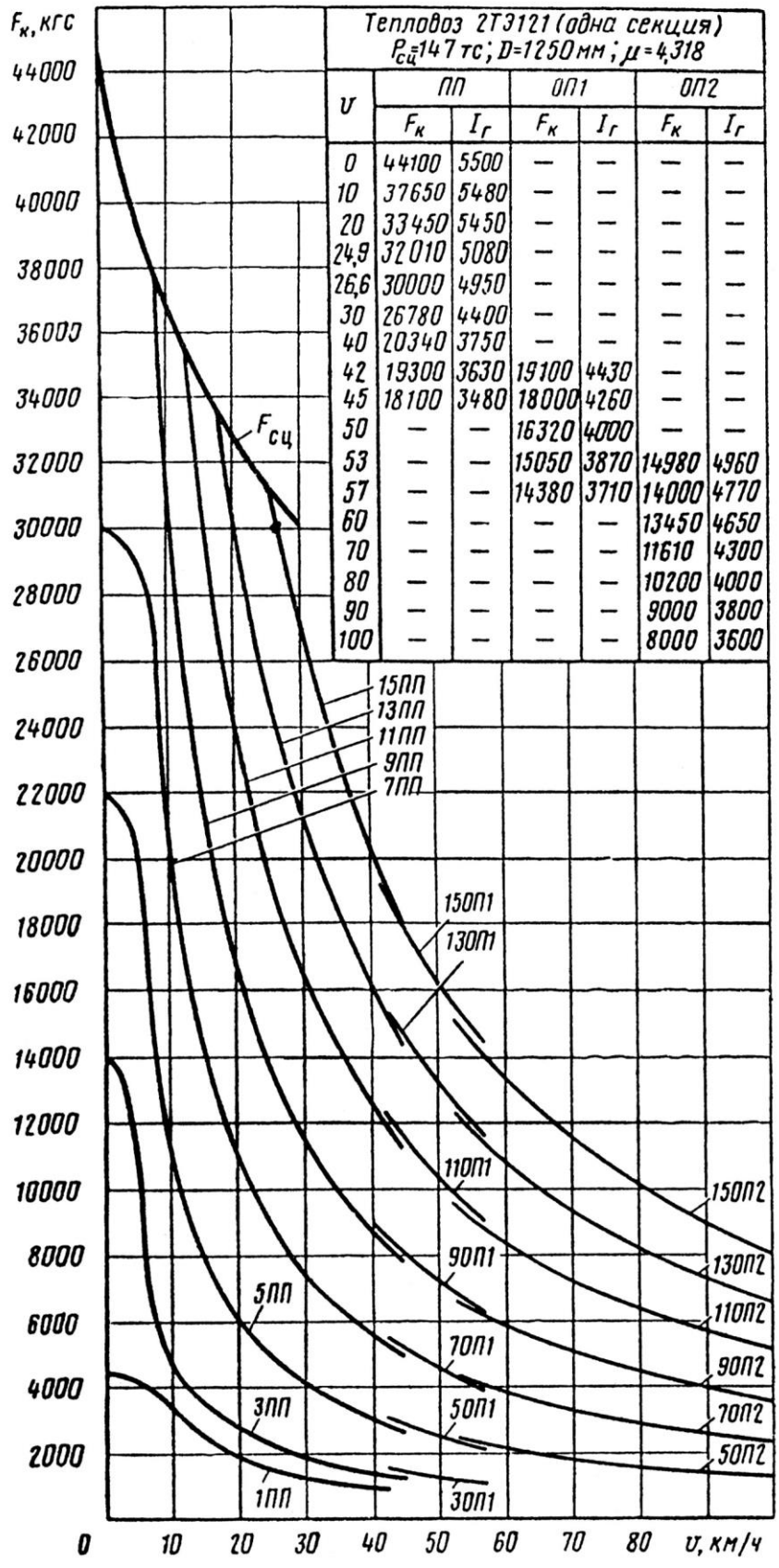


Рис. П2.6. Тяговая характеристика тепловоза 2ТЭ121 (одна секция)

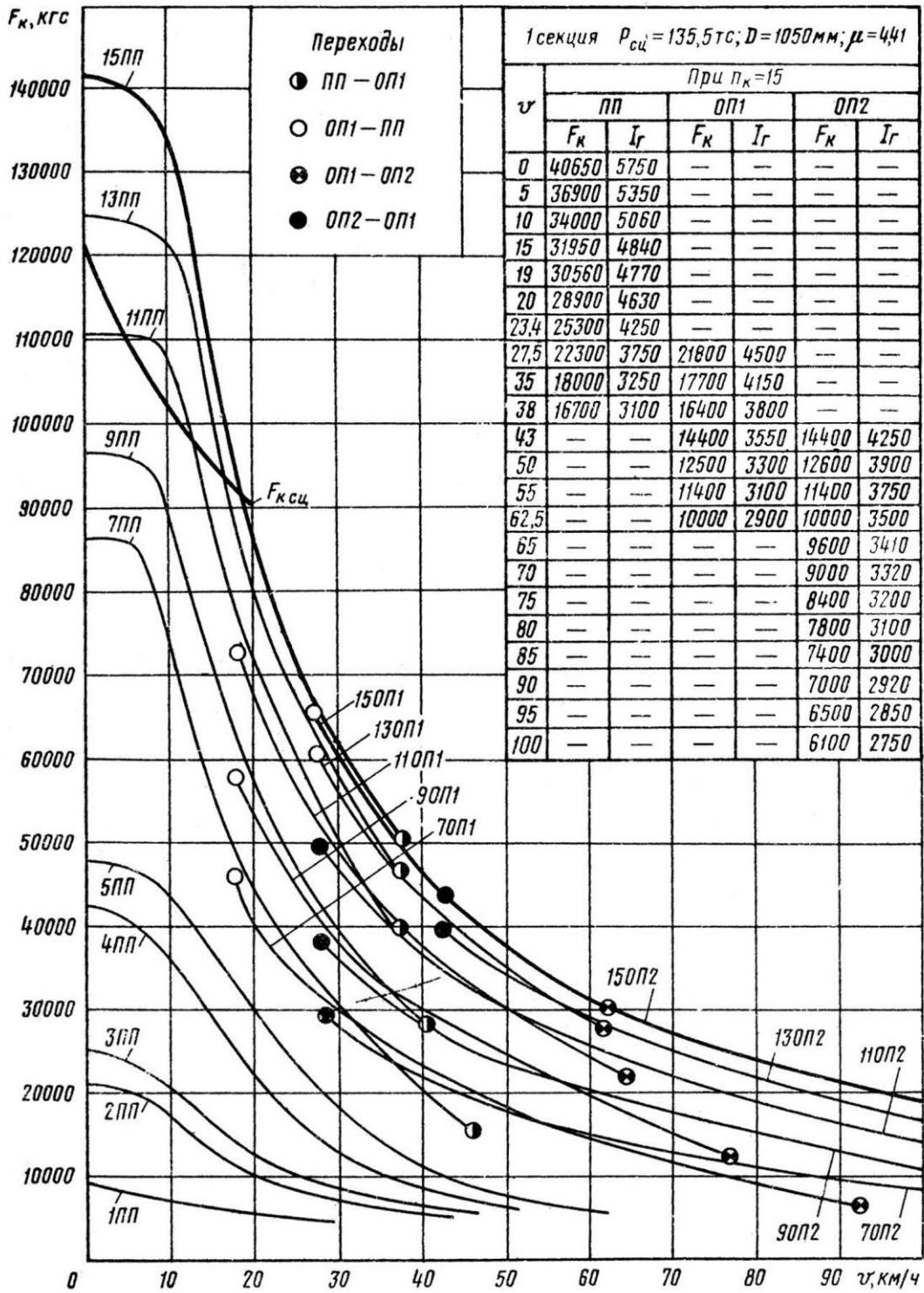


Рис. П2.7. Тяговая характеристика тепловоза 3ТЭ10М (одна секция)

Тепловые характеристики, характеристики нагревания и охлаждения обмоток тяговых электрических машин тепловозов

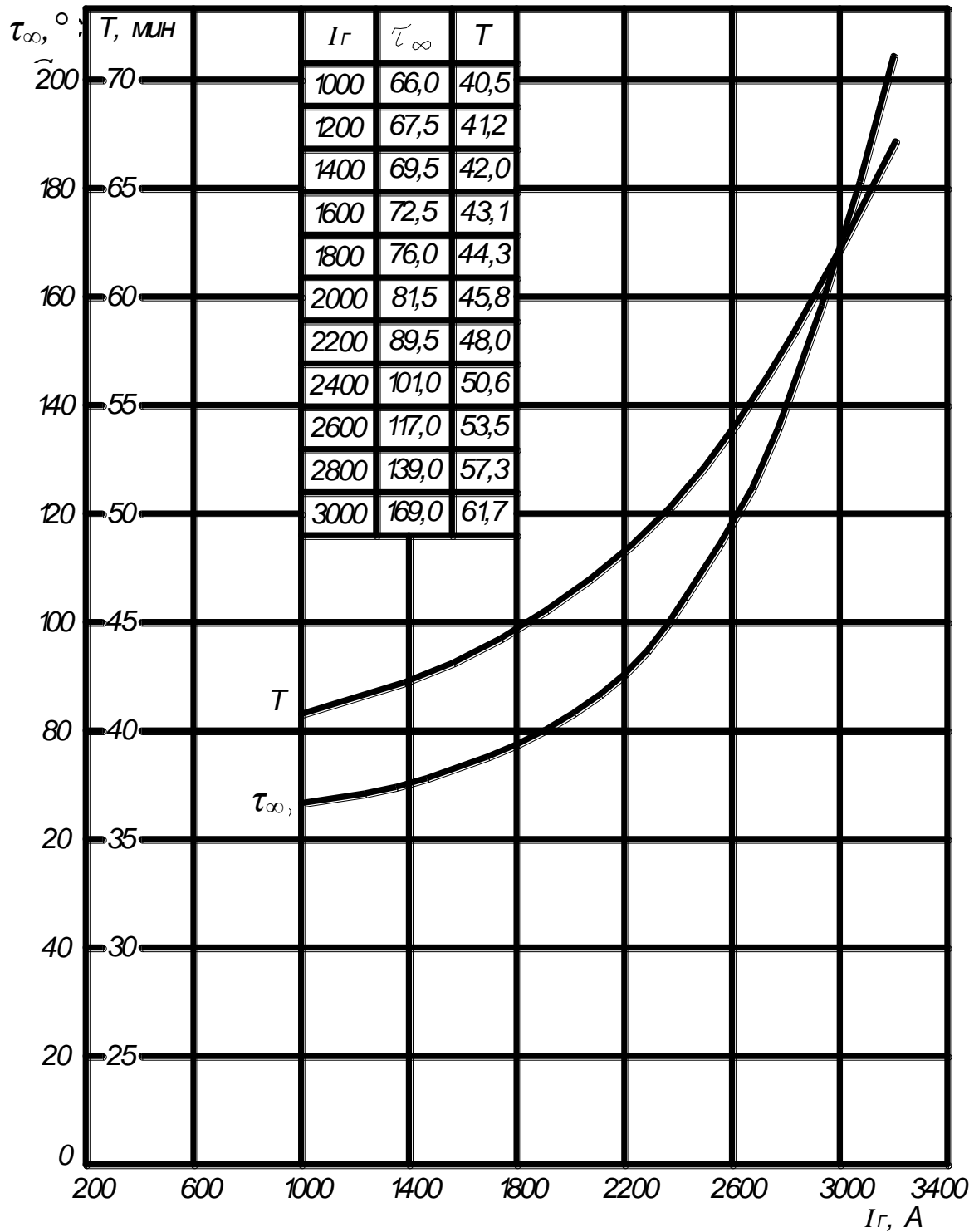


Рис. ПЗ.1. Тепловые характеристики главного генератора тепловоза ТЭ3 и ТЭ7

Продолжение прил. 3

$\tau_{\infty}, ^\circ\text{C}$

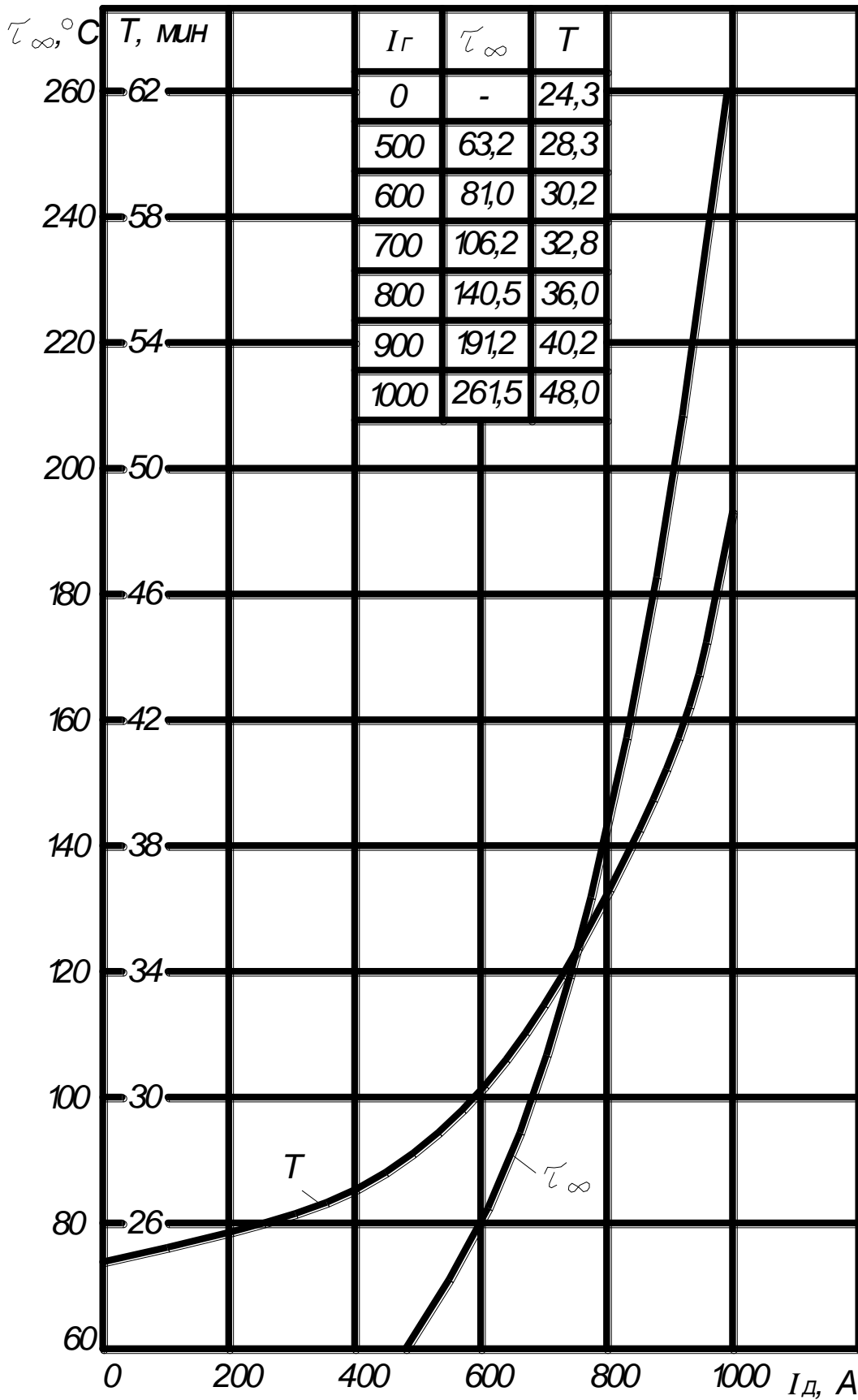
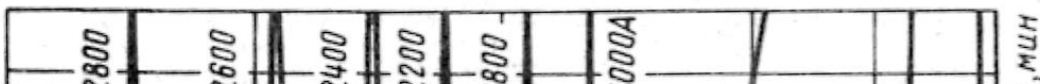


Рис. ПЗ.2. Тепловые характеристики тяговых электродвигателей ЭД107, ЭД107А, ЭД118А тепловозов М62, 2М62, ТЭ10, 2ТЭ10Л, 2ТЭ10В, 2ТЭ10М, 3ТЭ10М, 2ТЭ116, 2ТЭ121



Окончание прил. 3

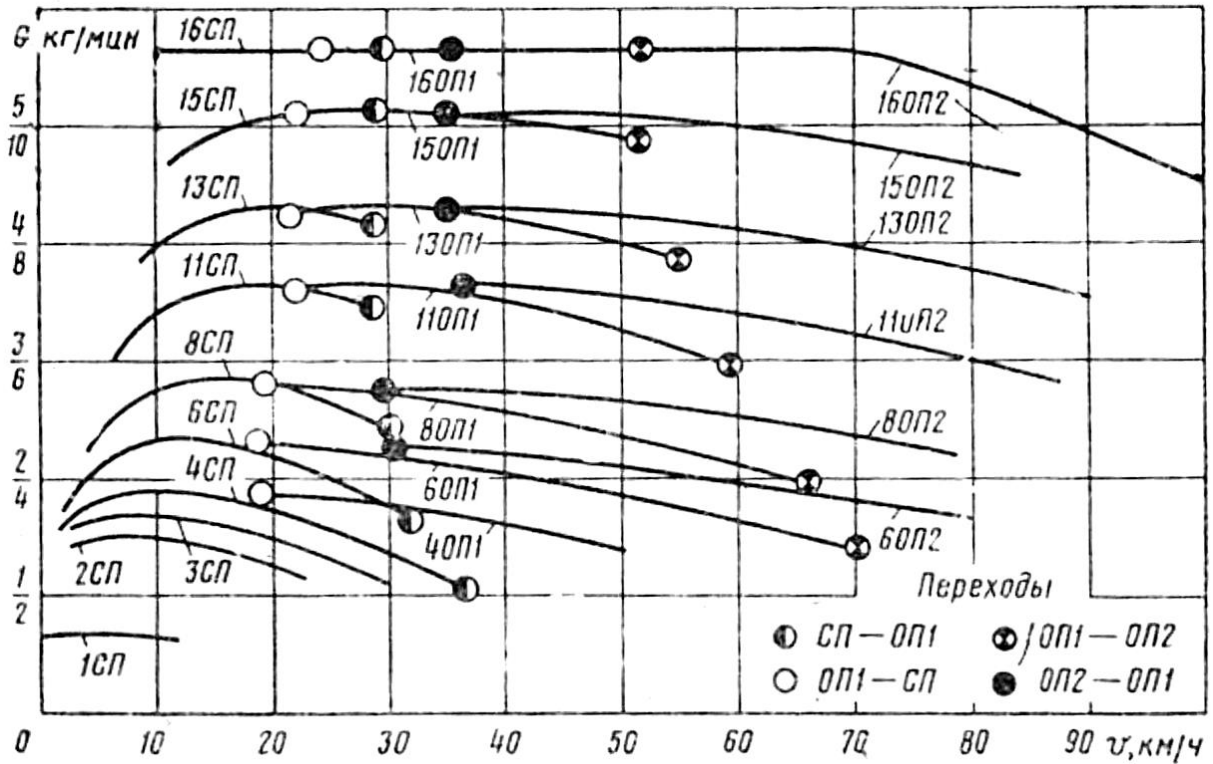
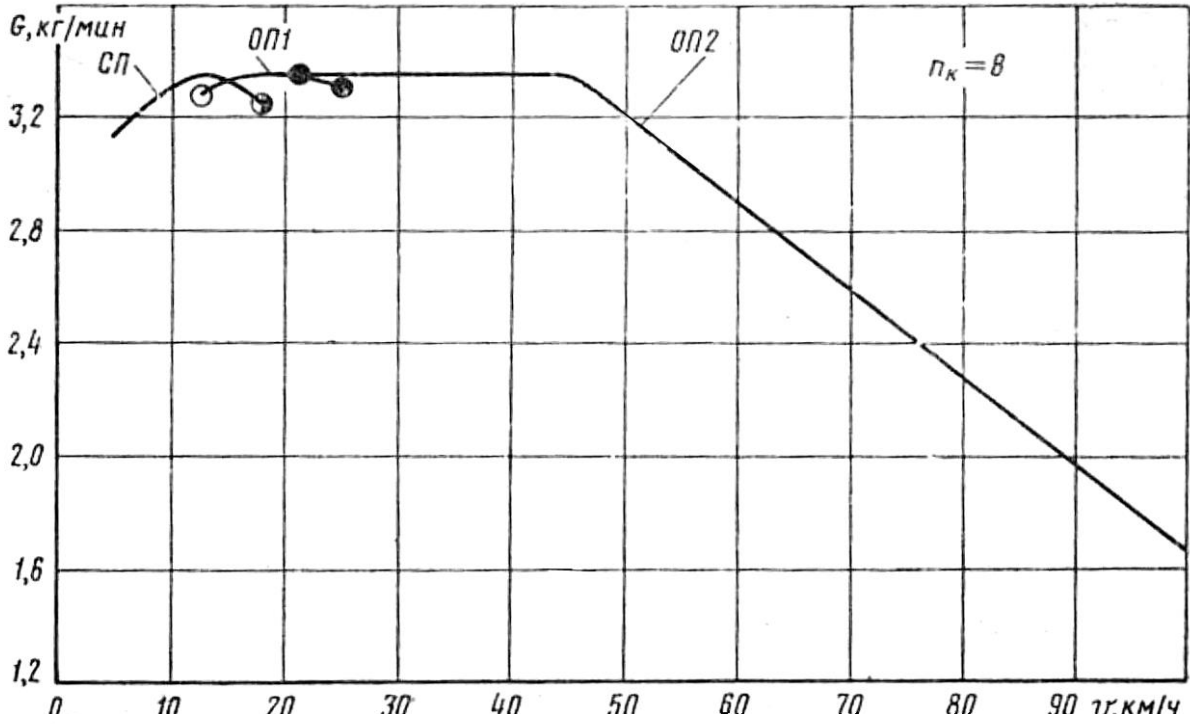
| | | | | | | | |
|--------------|--|--|--------|--|--|--|--|
| τ, °C 220 | | | 1000 A | | | | |
| | | | | | | | |

Рис. ПЗ.4. Характеристики нагревания и охлаждения обмотки якоря тягового электродвигателя тепловозов 2М62, ТЭ10, 2ТЭ10Л, 2ТЭ10В (М), 3ТЭ10М и 2ТЭ121

Приложение 4

Зависимость расхода топлива тепловоза в режиме тяги

и на холостом ходу



Продолжение прил. 4

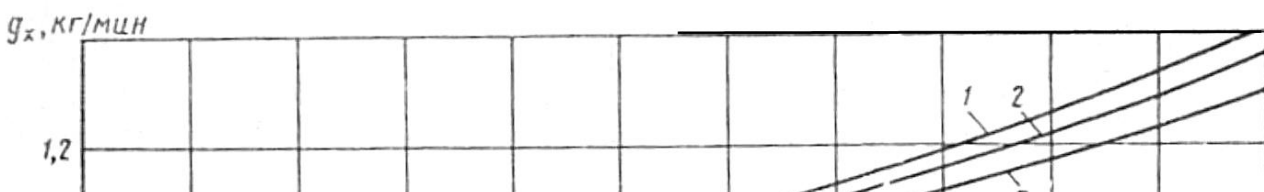


Рис. П4.3. Расход топлива на холостом ходу тепловозами ТЭ3 и ТЭ7 (один дизель, $n_k \geq 2$): 1 – вентилятор в летнем режиме; 2 – вентилятор в зимнем режиме; 3 – вентилятор выключен

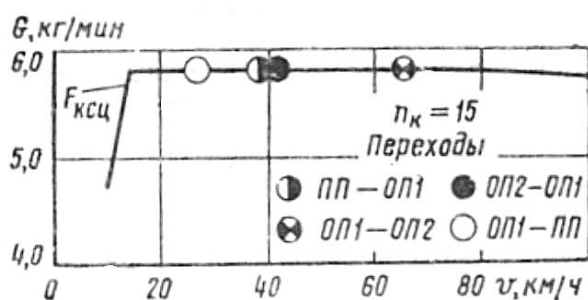


Рис. П4.4. Расход топлива в режиме тяги тепловозом М62

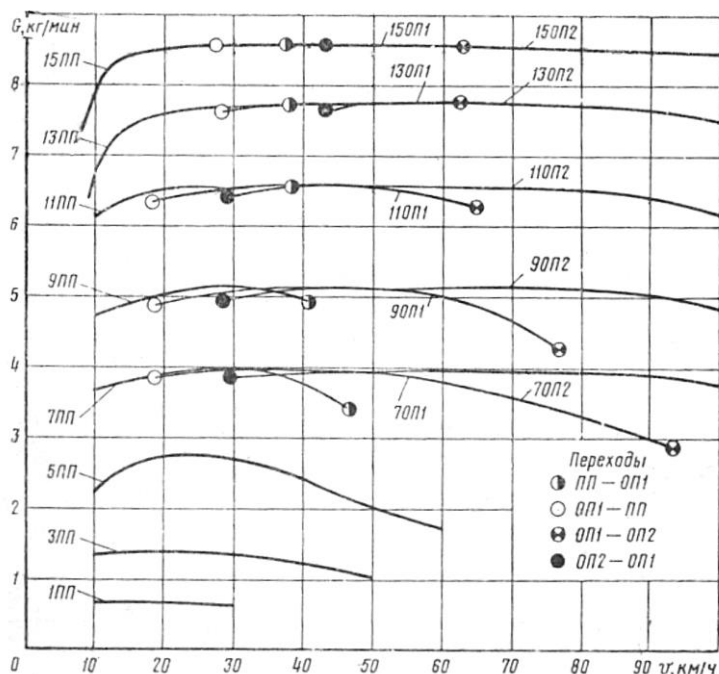


Рис. П4.5. Расход топлива в режиме тяги тепловозами 2ТЭ10Л, 2ТЭ10В, 2ТЭ10М, ТЭ10 и 3ТЭ10М (одной секцией)

Окончание прил. 4

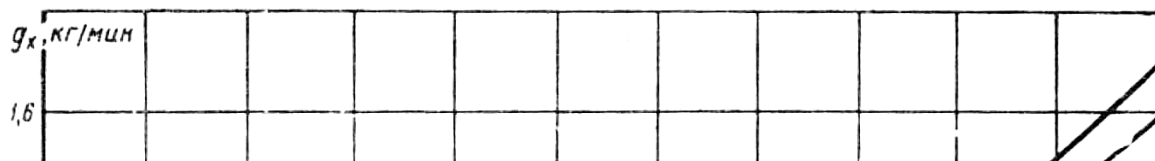


Рис. П4.6. Расход топлива на холостом ходу тепловозами 2ТЭ10Л, 2ТЭ10В, 2ТЭ10М, 3ТЭ10М, ТЭ10, ТЭП10 и ТЭП10Л (одной секцией):
 1 – вентилятор включен на вторую ступень; 2 – вентилятор включен на первую ступень;
 3 – вентилятор выключен

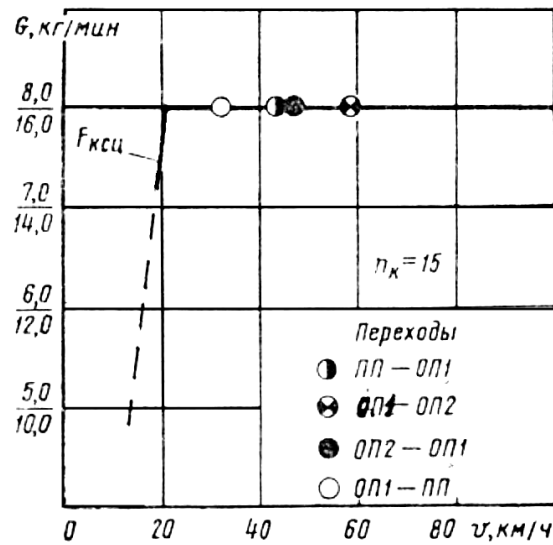


Рис. П4.7. Расход топлива в режиме тяги тепловозом 2ТЭ116
 (в числителе – одной секцией; в знаменателе – двумя секциями)

6 «ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ» («ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА»)

6.1 Методические указания к практическим занятиям

Введение. Локомотиворемонтный завод является основной индустриальной базой транспорта и предназначен для заводского ремонта локомотивов, для обеспечения запасными частями линейных предприятий, а также для ремонта оборудования и изготовления нестандартной оснастки.

Производственный процесс представляет собой совокупность действий по производству материальных благ и складывается из процессов труда и естественных процессов.

Принципы организации производства на предприятиях по ремонту подвижного состава вытекают из основного положения хозяйственной деятельности локомотиворемонтных предприятий – получение наибольшего эффекта при наименьших затратах.

Наиболее важные принципы организации производства:

Принцип технико-экономического и правового единства. Он заключается в соблюдении соответствия между поставленной целью, юридическими правами предприятия, наличными или возможными техническими, денежными и трудовыми ресурсами.

Принцип максимальной экономии времени и согласованности во времени.

Принцип параллельности. Он заключается в такой организации производства, при которой выполняются одновременно несколько различных процессов. Применение этого принципа зависит от способности к расчленению объекта на части, при этом время ремонта объекта будет равно продолжительности ремонта самой трудоемкой детали.

Принцип прямой точности. Он обеспечивает прохождение объекта ремонта кратчайшим путем по всем фазам и операциям технологического процесса. Этот принцип обеспечивается правильным расположением зданий, производственных участков и расстановкой оборудования.

Принцип специализации. Представляет собой форму разделения труда, где за каждым цехом, участком, рабочим местом закрепляется строго определенная номенклатура работ или минимально-возможное количество операций.

Принцип взаимозаменяемости. Он характерен для массового производства и относится к таким деталям и узлам электровоза, которые отвечают требованиям идентичности. Этот принцип распространяется и на технологическое оборудование, инструмент, профессии работ.

Принцип непрерывности. Он предусматривает устранение перерывов в процессе ремонта или изготовления. Это достигается совершенствованием организации производства.

Принцип ритмичности. В одинаковые промежутки времени выпускается одинаковое количество продукции.

Принцип внешнего кооперирования. Он является принципом развития специализации. Заключается в том, что какому-либо предприятию поручается выпуск какой-нибудь одной детали в массовом количестве.

Практическое занятие № 1

Режим работы локомотиворемонтного завода

Режимы работы завода рассчитываются исходя из условий:

а) пятидневной рабочей недели;

б) 2-х сменной работы.

Годовой фонд времени ремонтной позиции

Годовой фонд времени ремонтной позиции определяется по формуле:

$$\Phi_{\text{год}} = \Phi_{\text{яв}} \cdot m_{\text{см}} = [(D_{\text{к}} - d_{\text{пр}}) \cdot t_{\text{см}} - d_{\text{ск}} \cdot t_{\text{ск}}] \cdot m_{\text{см}},$$

где $\Phi_{\text{год}}$ – годовой фонд рабочего времени явочного рабочего, ч;

$m_{\text{см}}$ – количество рабочих смен в цехе – 2;

$D_{\text{к}}$ – количество календарных дней в году – 365;

$d_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году – 52;

$t_{\text{см}}$ – нормированная продолжительность рабочей смены – 8,2 ч;

$d_{\text{ск}}$ – количество дней в году с сокращенной на 1 час продолжительностью рабочей смены – 7;

$t_{\text{ск}}$ – величина сокращения продолжительности смены – 8 ч;

$D_{\text{р}}$ – количество рабочих дней в году;

$d_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году – 13 дней.

Годовой фонд времени работы оборудования

Годовой фонд времени работы оборудования определяется по формуле:

$$D' = [(D_{\text{к}} - d_{\text{пр}} - d_{\text{вых}} - d_{\text{ск}}) \times 8,2 + 7 \times 7,2] \times 2 \times 0,96,$$

где 0,96 – коэффициент, учитывающий простой оборудования во время ремонта.

Годовой фонд времени рабочего холодного цеха

Годовой фонд времени рабочего холодного цеха

$$B = [(365 - 52 - 52 - 13 - 7) \cdot 8,2 + 7 \cdot 7,2 - 196,8] \cdot 0,96 = 1756,6 \text{ ч}$$

где $24 \cdot 8,2 = 196,8$ ч – трудовой отпуск рабочего «холодного цеха»;

0,96 – коэффициент, учитывающий перерывы по уважительным причинам.

Годовой фонд рабочего горячего цеха (изолировщик, сварщик)

Годовой фонд рабочего горячего цеха (изолировщик, сварщик) определяется по формуле:

$$B' = [(365 - 52 - 52 - 13 - 7) \cdot 8,2 + 7 \cdot 7,2 - 221,4] \cdot 0,96 = 1733 \text{ ч}$$

Годовой фонд времени с вредными условиями труда (маляры, аккумуляторщики и т.д.)

Годовой фонд времени с вредными условиями труда (маляры, аккумуляторщики и т.д.) определяется по формуле:

$$B'' = [(365 - 52 - 52 - 13 - 7) \cdot 8,2 + 7 \cdot 7,2 - 324] \cdot 0,96 = 1634,5 \text{ ч}$$

Практическое занятие № 2

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 | $П_1 \times t_1$ | $П_2 \times t_2$ | | | | |
| 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 локомотива | | | 22 | 44 | | | | | | |
| 8 | Холодная обкатка и экипировка | | | 8 | 8 | | | | | | |
| 9 | Испытание локомотива | | | 21 | 21 | | | | | | |
| 10 | Горячая обкатка | | | 14 | 14 | | | | | | |
| 11 | Осмотри отделка после обкатки | | | 14 | 14 | | | | | | |
| 12 | Окраска эл-за | | | 36 | 86 | | | | | | |
| Итого | | | | | | | | | | | |

Практическое занятие № 3

Расчет необходимого количества технологического оборудования

Расчет производится по формуле

$$N = N_1 + N_2 = \frac{П_1 \cdot t_1''}{D'} + \frac{П_2 \cdot t_2''}{D'}$$

где N – количество оборудования;

$П_1, П_2$ – годовая программа, соответственно I-го и II-го объемов;

t_1'', t_2'' – норма станко-часов на единицу ремонта;

D' – годовой фонд времени работы оборудования.

Обычно в сборочном цехе эксплуатируются от 4 до 6 единиц металлорежущего оборудования.

В работе в таблицы заносится только то оборудование, на которое есть нормы, т.е. «Принимается без расчета».

Если потребность стандартного оборудования 0,4 и меньше, то оно не принимается.

Нестандартное оборудование принимается всегда.

Например, при $N = 0,15$ балансировочный станок в электромашином цехе нужен, т.к. эту работу нельзя сделать где-то в другом цехе.

Таблица 2. Расчёт технологического оборудования

| № п/п | Наименование оборудования | Годовая программа | | Норма, станко-часы | | Годовые затраты, станко-часы | | Годовой фонд времени, ч | Количество оборудования | | |
|-------|------------------------------|-------------------|-------|--------------------|---------|------------------------------|-------------------|-------------------------|-------------------------|-------|----|
| | | $П_1$ | $П_2$ | t_1'' | t_2'' | $П_1 \cdot t_1''$ | $П_2 \cdot t_2''$ | | N_1 | N_2 | N |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 1 | Токарно-винторезный станок | | | 43 | 78 | | | | | | |
| 2 | Токарно-карусельный станок | | | 4 | 4 | | | | | | |
| 3 | Радиально-сверлильный станок | | | 12 | 17 | | | | | | |
| 4 | Долбёжный станок | | | 1 | 1 | | | | | | |
| 5 | Вертикально-фрезерный станок | | | 18 | 32 | | | | | | |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|----|----------------------------------|---|---|----|----|---|---|---|----|----|----|
| 6 | Горизонтально-фрезерный станок | | | 14 | 16 | | | | | | |
| 7 | Заточной станок | | | 23 | 25 | | | | | | |
| 8 | Сварочный трансформатор | | | 27 | 31 | | | | | | |
| 9 | Сварочный преобразователь | | | 14 | 17 | | | | | | |
| 10 | Газовая горелка | | | 15 | 17 | | | | | | |
| 11 | Газорезочный аппарат | | | 15 | 17 | | | | | | |
| 12 | Устройство для очистки кузова | | | 8 | 8 | | | | | | |
| 13 | Стенд для испытания вентиляторов | | | 12 | 12 | | | | | | |
| 14 | Передвижной покрасочный портал | | | 7 | 7 | | | | | | |
| 15 | Сушильная установка | | | 6 | 6 | | | | | | |
| 16 | Переносной калорифер | | | 6 | 6 | | | | | | |
| 17 | Пневматическая машинка | | | 21 | 21 | | | | | | |

Из таблицы следует, что в цехе имеется только один сварочный трансформатор, но также в цехе должны быть специальные станки и аппараты: переносной калорифер, передвижной покрасочный портал, устройство для очистки кузова, газорезочный аппарат, газовая горелка, сварочный преобразователь.

Практическое занятие № 4

Определение количества производственных рабочих

Определение количества производственных рабочих производится по формуле:

$$P = P_1 + P_2 = \frac{\Pi_1 \cdot t'_1}{B} + \frac{\Pi_2 \cdot t'_2}{B},$$

где t'_1, t'_2 – нормы человеко-часов на единицу ремонта для рассчитываемой продукции.

Результаты расчётов занесены в таблицу 3.

Таблица 3. Определение количества производственных рабочих

| п/п | Наименование отделений профессий | Годовая программа | | Норма затрат, чел. ч | | Годовые затраты, ч | | Годовой фонд времени, ч | Количество рабочих | |
|---|----------------------------------|-------------------|--|----------------------|-------|--------------------|--|-------------------------|--------------------|--|
| | | | | t_1 | t_2 | | | | P_2 | |
| I Разборочное, ремонтное и сборочное отделения (главный пролет) | | | | | | | | | | |
| | Слесарь по разборке | | | 4,6 | 0,6 | | | | | |
| | Слесарь по ремонту | | | 7,6 | 22 | | | | | |
| | Слесарь по сборке | | | 8,3 | 18 | | | | | |
| | Слесарь-электрик по разборке | | | 104,5 | 04 | | | | | |
| | Слесарь-электрик по ремонту | | | 39 | 2,6 | | | | | |
| | Слесарь-электрик по сборке | | | 208 | 53 | | | | | |
| | Слесарь-автоматчик по разборке | | | 20,5 | 7,4 | | | | | |
| | Чистильщик | | | 15,9 | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | |
|--|-------------------------------------|--|------|------|--|--|--|--|--|--|--|
| | | | | 7,8 | | | | | | | |
| | Столяры | | 76 | 11 | | | | | | | |
| 0 | Электро- сварщик | | 15,3 | 1,2 | | | | | | | |
| 1 | Газорезчик | | 1,5 | ,6 | | | | | | | |
| 2 | Слесарь- автоматчик по сборке | | 5,5 | 15 | | | | | | | |
| | ИТОГО | | | | | | | | | | |
| II Гарнитурное отделение | | | | | | | | | | | |
| | Сле- сари | | 7,3 | 173 | | | | | | | |
| | Эл.сварщи- к | | 1,5 | 69,5 | | | | | | | |
| | Газосвар- щик | | 2,5 | 71,5 | | | | | | | |
| | ИТОГО | | | | | | | | | | |
| III Электроремонтный участок | | | | | | | | | | | |
| | Слесарь- электрик | | 7,3 | 104 | | | | | | | |
| IV Слесарно-замочный участок | | | | | | | | | | | |
| | Слесари- замочники | | 1,5 | 34,7 | | | | | | | |
| V Отделение травления труб | | | | | | | | | | | |
| | Слесари- трубники | | 2,5 | 38,7 | | | | | | | |
| VI Участок ремонта воздушных резервуаров | | | | | | | | | | | |
| | Слесари- ремонтни- ки | | 5,7 | 35,7 | | | | | | | |
| | Эл.сварщи- к | | ,6 | 9,8 | | | | | | | |
| VII Автотормозное отделение | | | | | | | | | | | |
| | Слесарь- ав- томатчик | | 8,3 | 72 | | | | | | | |
| VIII Трубное отделение | | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|--|--|------|------|--|--|--|--|--|--|--|
| Слесари-трубники | | | 9,3 | 69 | | | | | | | |
| IX Участок ремонта секций радиаторов | | | | | | | | | | | |
| Слесарь-ремонтник | | | 5,3 | 73 | | | | | | | |
| X Механический участок | | | | | | | | | | | |
| Станочники | | | 5,7 | 84,7 | | | | | | | |
| XI Испытательная станция | | | | | | | | | | | |
| Машинист | | | 40 | 70,3 | | | | | | | |
| Пом. машин. | | | 40 | 70,3 | | | | | | | |
| XII Малярное отделение | | | | | | | | | | | |
| Маляры | | | 47,7 | 188 | | | | | | | |
| ИТОГО | | | | | | | | | | | |

Проверка количества рабочих сборочного цеха проводится по коэффициенту:

$$\Pi = \frac{P}{P_1 + P_2} = \text{(должно быть } 0,88 \dots 0,89\text{)}.$$

Если $\Pi \geq 0,9$, то необходимо скорректировать величину P (см. табл. 2) в сторону уменьшения по каждой специальности и к столбцу P добавить столбец $P_{\text{фактич.}}$.

В сборочном цехе работают:

- по холодной сетке (1756,4 ч) – чел.
- по горячей сетке (1733 ч) – чел.
- вредными условиями труда (1634,5 ч) – чел.

Итого: чел.

Практическое занятие № 5

Распределение производственных рабочих по сменам. Определение общего количества работников в цехе

Распределение производится с учетом 2-сменной работы цеха и одинаковых по производительности смен (табл. 4).

При распределении рабочих по сменам необходимо учитывать то, что в первую смену должно работать большее количество рабочих, чем во вторую.

Таблица 4. Распределение рабочих по сменам

| № п/п | Наименование отделений и участков | Количество рабочих | Распределение по сменам | |
|-------|--|--------------------|-------------------------|---|
| | | | 1 | 2 |
| 1 | Разборочное, ремонтное и сборочное отделения | | | |
| 2 | Гарнитурное отделение | | | |
| 3 | Электроремонтный участок | | | |
| 4 | Слесарно-замочный участок | | | |
| 5 | Отделение травления труб | | | |
| 6 | Участок ремонта воздушных резервуаров | | | |
| 7 | Автотормозное отделение | | | |
| 8 | Трубное отделение | | | |
| 9 | Участок ремонта секций радиатора | | | |
| 1 | Механический участок | | | |
| 1 | Испытательная станция | | | |
| 1 | Малярное отделение | | | |
| | ИТОГО | | | |

Определение общего количества работников в цехе. Количество вспомогательных рабочих:

- стропальщики;
- крановщицы;
- водители электрокара;
- слесари-электрики по ремонту электрооборудования;
- уборщицы производственных помещений.

Инженерно-технические работники ИТР, счетно-конторский персонал (СКП) и младший обслуживающий персонал (МОП) – уборщицы, гардеробщицы, комплектовщицы берутся в %-ном отношении от производственных рабочих.

Таблица 5. Распределение по сменам ИТР, СКП, МОП

| № п/п | Наименование контингента рабочих | Процентное отношение | Общее количество | Распределение по сменам | |
|-------|----------------------------------|----------------------|------------------|-------------------------|---|
| | | | | 1 | 2 |
| 1 | Производственные рабочие | 100% | | | |
| 2 | Вспомогательные рабочие | 18% | | | |
| 3 | ИТР | 10% | | | |
| 4 | СКП | 2,5% | | | |
| 5 | МОП | 1,5% | | | |
| | ВСЕГО | | | | |

Практическое занятие № 6**Расчет площади цеха**

Площадь цеха рассчитывается по нормам площади на измеритель.

Таблица 6. Расчёт площади цеха

| №п/п | Наименование отделений, участков | Измеритель | Кол-во измерителей | Норма площади на измеритель, м ² | Общая площадь, м ² |
|-------------------------------|---|----------------------------|--------------------|---|-------------------------------|
| Главный пролёт | | | | | |
| 1 | Разборочное, ремонтное, сборочное отделение | позиция | | 310 | |
| | ИТОГО | | | | |
| Вспомогательный пролёт | | | | | |
| 1 | Гарнитурное отделение | позиция ремонта кузова | | 100 | |
| 2 | Электроремонтный участок | участок | 1 | 120 | |
| 3 | Участок ремонта воздушных резервуаров | позиция ремонта кузова | | 40 | |
| 4 | Трубное отделение | год. программа локомотивов | | 0,85 | |
| 5 | Слесарно-замочный участок | - " - | | 0,11 | |
| 6 | Участок травления труб | участок | 1 | 250 | |
| 7 | Автотормозное отделение | год. программа локомотивов | | 0,17 | |
| 8 | Участок ремонта секций радиатора | - " - | | 0,5 | |
| 9 | Механический участок | участок | 1 | 100 | |
| 10 | Столярный участок | участок | 1 | 70 | |
| 11 | Комплектовочная кладовая | год. программа локомотивов | | 0,25 | |
| 12 | Инструментально-раздаточная кладовая | - " - | | 0,16 | |
| | ИТОГО | | | | |
| | Испытательная станция | позиция | | 270 | |
| | Малярное отделение | позиция | | 336 | |

Всего в цехе:

Планировка цеха

При планировке цеха определяются его длина, ширина и принимаются размеры транспортных проездов.

Главный пролет

Технико-экономические расчеты из условия расположения трех ниток рельсовых путей показывают

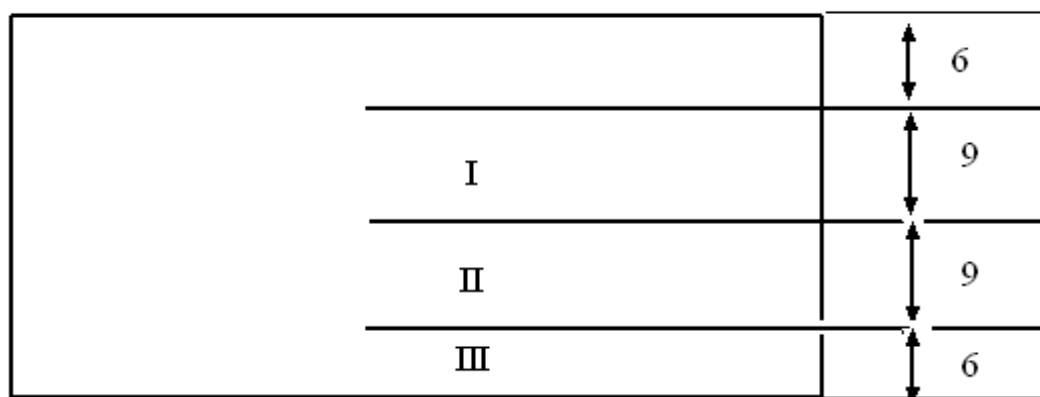


Рисунок 1 – Схема расположения трех ниток рельсовых путей главного пролета

Наилучшей шириной сборочного цеха является

$$B_{\text{гл.пр}} = 30 \text{ м}$$

На длине главного пролета по его торцам принимаются транспортные проезды по 6 м.

Тогда технологическая длина главного пролета

$$L_{\text{Гл.Пр.}}^{\text{Технол.}} = \frac{F^{\text{Технол.}}}{B_{\text{Гл.Пр.}}}$$

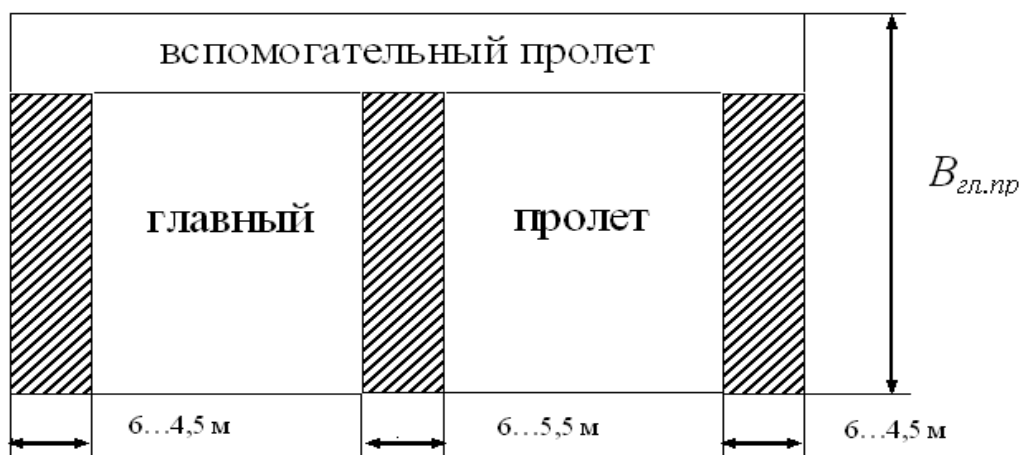


Рисунок 2 – Схема размещения средней части главного пролета

А в средней части главного пролета – пожарный проезд на 5,5 ... 6 м.

Тогда

$$L_{\text{Гл.пр.}}^{\text{расч.}} = L_{\text{Гл.Пр.}}^{\text{Техн.}} + \sum b$$

где b – ширина проезда.

Длина любого пролета должна быть кратна 12-ти из условия расположения колонн и применения стандартных строительных перекрытий.

Вспомогательный пролет

Вспомогательный пролет примыкает к главному. Ширина вспомогательного пролета

$$B_{\text{Вспом.Пр.}}^{\text{расч.}} = \frac{F_{\text{Вспом.}}^{\text{Техн.}}}{L_{\text{Гл.Пр.}}^{\text{Действ.}} - \sum b}$$

Ширина любого пролета должна быть кратна **6-ти** из условия применения стандартных крановых средств и стандартных строительных перекрытий.

Принимаем $B_{\text{ВСПОМ.ПР}}^{\text{ДЕЙСТВ}} = 18 \text{ м}$.

1. Действительная площадь главного пролета составит

$$F_{\text{Гл.Пр.}}^{\text{Действ.}} = L_{\text{Гл.Пр.}}^{\text{Действ.}} \times B_{\text{Гл.Пр.}} \cdot \text{м}^2$$

2. Действительная площадь вспомогательного пролета составит

$$F_{\text{Вспом.Пр.}}^{\text{Действ.}} = L_{\text{Вспом.Пр.}}^{\text{Действ.}} \times B_{\text{Вспом.Пр.}} \cdot \text{м}^2$$

Площадь цеха

$$F_{\text{Цеха}}^{\text{Действ.}} = F_{\text{Гл.Пр.}}^{\text{Действ.}} + F_{\text{Вспом.Пр.}}^{\text{Действ.}} \cdot \text{м}^2$$

Размеры высот пролетов определяются по нормативам:

1. Высота пролета от пола (пролет главного зала)

$$H_{\text{ГЛ.ПР}} = 16,2 \text{ м, при ширине пролета } 30 \text{ м.}$$

2. Высота вспомогательного пролета

$$H_{\text{ВСПОМ.ПР}} = 10,8 \text{ м.}$$

Объем:

$$V_{\text{Гл.Пр.}} = F_{\text{Гл.Пр.}}^{\text{Действ.}} \times H_{\text{Гл.Пр.}}$$

$$V_{\text{Вспом.Пр.}} = F_{\text{Вспом.Пр.}}^{\text{Действ.}} \times H_{\text{Вспом.Пр.}} \cdot \text{м}^3$$

Практическое занятие № 7

Расчет площади служебных помещений

Расчет производится по единым санитарным нормам на измеритель. Учитывается процент женщин, работающих в цехе (для сборочного цеха 20 % женщин, электромашинного – 40 %). При расчете гардеробных исходят из условия, что если в 1-ю смену работает более 100 человек одного пола, то принимается открытый способ хранения одежды (на крючках) с нормой площади 0,32 м² на измеритель.

Если менее 100 чел., то применяется закрытый способ хранения одежды с нормой площади 0,92 м² на измеритель.

При расчете душевых норма на измеритель 0,52 м², и норма включает размещение душевой сетки, проходов и раздевалки.

На каждый душ необходимо три места в раздевалке. Курительная комната должна быть не менее 8 м² и не более 40 м². Расчет представляется в виде таблицы 7.

Для таблицы:

| | | |
|--------------------------|---------|------|
| Производственные рабочие | | чел. |
| из них: | | |
| женщины | | чел. |
| мужчины | | чел. |
| Вспомогательные рабочие | | чел. |
| женщины | | чел. |
| мужчины | | чел. |
| ИТР | мужчины | чел. |
| СКП | женщины | чел. |
| МОП | женщины | чел. |
| | женщины | чел. |
| ИТОГО | мужчины | чел. |

Таблица 7. Расчёт площади служебных помещений

| № п/п | Наименование помещения | Измеритель | Норма площади на измеритель, м ² | Кол-во измерителей | Площадь, м ² | |
|----------------------------|-------------------------------------|------------|---|--------------------|-------------------------|----------|
| | | | | | Расчётная | Принятая |
| <i>Служебные помещения</i> | | | | | | |
| 1 | Кабинет начальника цеха | Кабинет | 15-40 | | | |
| 2 | Кабинет заместителя начальника цеха | Кабинет | 15-40 | | | |
| 3 | Техническое бюро | 1-я смена | 5 | | | |
| 4 | Контора цеха | 1-я смена | 3 | | | |
| | ИТОГО | | | | | |
| <i>Бытовые помещения</i> | | | | | | |
| 1 | Гардеробная | Мужская | Рабочие | 0,32 | | |
| | | Женская | | 0,92 | | |
| 2 | Умывальная | Мужская | Рабочие | 0,052 | | |
| | | Женская | | 0,052 | | |
| 3 | Туалет | Мужская | Рабочие | 0,14 | | |
| | | Женская | | 0,14 | | |
| 4 | Душевая | Мужская | Рабочие | 0,52 | | |
| | | Женская | | 0,52 | | |
| 5 | Комната принятия пищи | Комната | 40-100 | | | |
| 6 | Курительная комната | Работники | 0,02 | | | |
| 7 | Комната гигиены женщины | Комната | 20 | | | |
| 8 | ИТОГО | | | | | |
| | ВСЕГО | | | | | |

Итак, всего –

Высота служебно-бытовых помещений

$$H_{\text{служ.быт}} = 3 \text{ м.}$$

Тогда объем

$$V_{\text{Служ.быт.}} = F_{\text{Служ.быт.}} \times H_{\text{Служ.быт.}}$$

Целью экономического расчета считается определение себестоимости продукции, накладных расходов, оптовой цены, прибыли и рентабельности.

Для определения этих показателей необходимо составить смету производства, для чего нужно знать ряд значений и величин.

Практическое занятие № 8

Стоимость основного производственного оборудования

По технико-экономическим показателям для проектируемых ТРЗ определяют: строится интерполяционный график, если известны данные:

$\Pi = 100$ локомотивов $R_{\text{ОБОР.ЛОК.}} = 195$ тыс. руб;

$\Pi = 150$ локомотивов $R_{\text{ОБОР.ЛОК.}} = 180$ тыс. руб;

$\Pi = 300$ локомотивов $R_{\text{ОБОР.ЛОК.}} = 130$ тыс. руб.

где $\Pi = \Pi_1 + \Pi_2$

По графику рисунка 3 Находим $R_{\text{Обор.ЛОК.}}$

Стоимость всего оборудования

$$R_{\text{ОБОР.}} = R_{\text{ОБОР.ЛОК.}} \times \Pi$$

$R_{\text{Обор. 1 лок.}}$ тыс. руб

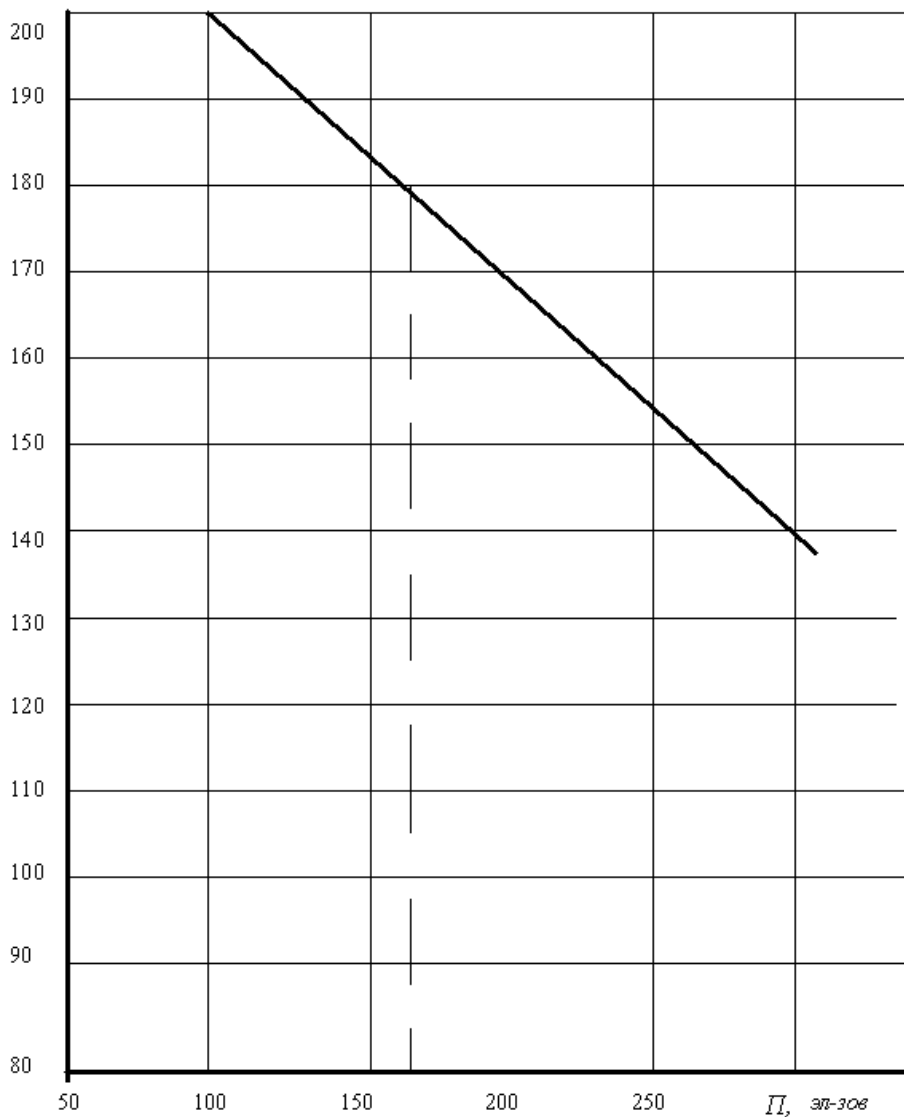


Рисунок 3 – Интерполяционный график зависимости затрат на основное оборудование от годовой программы ремонта локомотивов

Мощность привода основного оборудования

По технико-экономическим показателям находим энерговооруженность одного рабочего 1-ой смены:

$$P=300 \text{ локомотивов } \mathcal{E}_{1РАБ} = 16,2 \text{ кВт} ;$$

$$P=450 \text{ локомотивов } \mathcal{E}_{1РАБ} = 15,4 \text{ кВт} ;$$

$$P=600 \text{ локомотивов } \mathcal{E}_{1РАБ} = 14,6 \text{ кВт} ;$$

На основании вышеприведенных данных строим интерполяционный график и по интерполяционному графику определяем энерговооруженность привода на ремонт одного локомотива.

Тогда энерговооруженность привода на программу ремонта

$$\mathcal{E}_{ПРИВ.} = \mathcal{E}_{1РАБ.} \times R_{ПР.РАБ.}^{1СМЕНЫ}$$

Экономический расчет цеха

Определение стоимости основных фондов цеха

Основные фонды – те средства, которые переносят свою стоимость на предметы труда постепенно.

Оборотные фонды же делают это сразу.

Таблица 8. Определение стоимости основных фондов

| № п/п | Наименование основных фондов | Единица измерения | Кол-во единиц | Остаточная стоимость единицы измерения, тыс. руб. | Общая стоимость, тыс. руб. | Примечания |
|----------------------------|------------------------------|-------------------|---------------|---|----------------------------|--------------|
| <i>Здания и сооружения</i> | | | | | | |
| 1 | Производственные здания | м ³ | | 5 | | |
| 2 | Служебно-бытовые помещения | м ³ | | 6 | | |
| ИТОГО | | | | | | |
| <i>Оборудование</i> | | | | | | |
| 1 | Основное производственное | % | 100 | - | | От основного |
| 2 | Его монтаж | % | 5 | - | | От основного |
| 3 | Вспомогательное | % | 15 | - | | От основного |
| 4 | Его монтаж | % | 2 | - | | |
| 5 | Транспортное оборудование | % | 10 | - | | |

| | | | | | | |
|---|--|-----|----|---|--|--------------|
| 6 | Его монтаж | % | 5 | - | | |
| 7 | Электрооборудование | кВт | | 3 | | п.2.2 |
| 8 | Его монтаж | % | 15 | - | | п. 2.2 |
| | ИТОГО | | | | | |
| 1 | Производственный хозяйственный инвентарь | % | 1 | - | | От основного |
| 2 | Инструмент и приспособления | % | 8 | - | | |
| | ВСЕГО | | | | | |

Стоимость текущего ремонта

Сумма затрат за год берется в процентном отношении от стоимости основных фондов по соответствующим статьям в *тыс. руб.*:

а) здания и сооружения – 3 %

$$P_{\text{ТР.Здпн.и Соор.}} = 0,03 \times P_{\text{Здан.и Соор.}}$$

б) оборудование – 7%

$$P_{\text{ТР.Оборуд.}} = 0,07 \times P_{\text{Оборуд.}}$$

в) инструмент и приспособления – 3%

$$P_{\text{ТР.Инструм.}} = 0,03 \times P_{\text{Инструм.}}$$

$$\text{ИТОГО } \sum P_{\text{ТР.}} =$$

Определение годовых амортизационных отчислений
(даются на восстановление и капитальный ремонт)

Они берутся в процентном отношении от стоимости в *тыс. руб.*:

а) здания и сооружения – 5 %

$$P_{\text{АМ.Здан.и Сооруж.}} = 0,05 \times P_{\text{Здан.и Сооруж.}}$$

б) оборудование – 11,5%

$$P_{\text{АМ.Оборуд.}} = 0,115 \times P_{\text{Оборуд.}}$$

в) инструмент и приспособления – 12,4%

$$P_{\text{АМ.Инстр.и Присп.}} = 0,124 \times P_{\text{Инстр.и Присп.}}$$

г) хозяйственный инвентарь – 13%

$$P_{AM, \text{Хоз.и Инвен.}} = 0,13 \times P_{\text{Хоз.и Инвен.}}$$

$$\text{ВСЕГО } \sum P_{AM} =$$

Определение стоимости энергетических ресурсов цеха

Нормы расхода энергоресурсов берутся по известным стандартным нормам расхода энергии на работу оборудования и вспомогательные нужды предприятия.

Таблица 9. Определение стоимости энергетических ресурсов цеха

| № п/п | Наименование энергоресурсов | Единица измерения | Годовая программа | | Норма расхода | | Годовой расход | Стоимость единицы расхода, руб. | Общая стоимость, тыс. руб. |
|-------|-------------------------------|-------------------|-------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------------------------|----------------------------|
| | | | П ₁ | П ₂ | q ₁ | q ₂ | | | |
| 1 | Техническая вода | м ³ | | | 19,1 | 19,1 | | 20 | |
| 2 | Расход производственного пара | м ³ | | | 12,2 | 12,2 | | 320 | |
| 3 | Расход сжатого воздуха | м ³ | | | 5503 | 5503 | | 4 | |
| 4 | Расход кислорода | м ³ | | | 4,5 | 8,5 | | 100 | |
| 5 | Расход ацетилена | м ³ | | | 1,9 | 3,2 | | 540 | |
| 6 | Силовая электроэнергия | кВтч | | | 3500 | 3500 | | 4 | |
| ИТОГО | | | | | | | | | |

Стоимость электроэнергии на освещение

Рассчитывается из условия расхода 35 кВт·ч в год на 1 м² площади цеха и стоимости 1 кВт·ч 4,9 руб. в тыс. руб.:

Тогда

$$P_{\text{Освещ., Эл.Энерг.}} = 35 \times (F_{\text{Произв.Цеха}} + F_{\text{Служебн.Бытов.}}) \times 4,9;$$

Стоимость материалов, запасных частей, вспомогательных материалов и покупных изделий

Стоимость материалов, запасных частей, вспомогательных материалов и покупных изделий принимается по нормам расхода в тыс. руб.:

$$P_{\text{Мат.}} = 512 \times П_1 + 970 \times П_2;$$

Стоимость пара для отопления

Расход пара принимается по норме (для всех цехов) $q = 0,088 \frac{т}{м^3}$ помещения в тыс. руб.:

$$P_{\text{Отопл.и Пар}} = 0,088 \times (V_{\text{Произв.Цех и Быт.Помещ.}} + V_{\text{Служебн.и Бытов.}}) \times 320;$$

Годовые фонды заработной платы и определение начислений

Таблица 10. Годовые фонды зарплаты для ИТР, СКП и МОП

| № п/п | Наименование профессий и должностей | Количество людей | Месячный оклад, тыс. руб. | Месячный фонд зарплаты, тыс. руб. | Годовой фонд зарплаты, тыс. руб. |
|------------|-------------------------------------|------------------|---------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| <i>ИТР</i> | | | | | |
| 1 | Начальник цеха | | 22,00 | | |
| 2 | Заместитель начальника цеха | | 20,00 | | |
| 3 | Начальник смены | | 16,00 | | |
| 4 | Старший мастер | | 16,00 | | |
| 5 | Ведущий технолог | | 18,00 | | |
| 6 | Инженер-технолог | | 14,00 | | |
| 8 | Техник-технолог | | 9,00 | | |
| 9 | Экономист | | 11,00 | | |
| 10 | Механик | | 14,00 | | |
| 11 | Инженер-нормировщик | | 12,00 | | |
| 12 | Инженер испытательной станции | | 14,00 | | |
| 13 | Мастер производства | | 14,50 | | |
| | ВСЕГО | | - | - | |
| <i>СКП</i> | | | | | |
| 1 | Старший бухгалтер | | 9,00 | | |
| 2 | Бухгалтер | | 8,00 | | |
| 3 | Табельщик | | 7,00 | | |
| 4 | Нарядчик | | 7,00 | | |
| | ВСЕГО СКП | | - | - | |
| <i>МОП</i> | | | | | |
| 1 | Уборщицы и гардеробщики | | 7,00 | | |
| | ИТОГО | | - | - | |

Начисления для ИТР, СКП и МОП

Сумма начислений на премию для СКП и МОП – 10%, тогда

$$P_{\text{СКП.МОП.Премия}} = 0,1 \times (P_{\text{СКП.Зарп.}} + P_{\text{МОП.Зарп.}})$$

Начисление ЕСН (единый социальный налог) составляет 36,6% от фонда заработной платы:

$$P_{\text{ЕСНФБ}} = 0,366 \times (P_{\text{СКП.Зарп.}} + P_{\text{МОП.Зарп.}})$$

Начисление пенсионных взносов на страховую часть пенсии (20%):

$$P_{\text{ЕСНПенс.}} = 0,2 \times (P_{\text{СКПЗарп.}} + P_{\text{МОПЗарп.}})$$

Начисления в Федеральный фонд обязательного медицинского страхования (3,1%):

$$P_{\text{ФМС}} = 0,031 \times (P_{\text{СКПЗарп.}} + P_{\text{МОПЗарп.}})$$

Начисления в Федеральный фонд социального страхования (2,9 %):

$$P_{\text{ФСС}} = 0,029 \times (P_{\text{СКПЗарп.}} + P_{\text{МОПЗарп.}})$$

Начисления для производственных и вспомогательных рабочих

Данные расчёта приведены в таблице 11.

Таблица 11. Годовые фонды зарплаты для производственных и вспомогательных рабочих

| № п/п | Наименование контингента рабочих | Кол-во рабочих | Средний тарифный разряд | Часовая тарифная ставка, руб. | Кэф-нт премиальных | Годовой фонд времени работы, ч. | Годовой фонд зарплаты, тыс. руб. |
|---------------------------------|----------------------------------|----------------|-------------------------|-------------------------------|--------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| <i>Производственные рабочие</i> | | | | | | | |
| 1 | Холодного цеха | | 2,9 | 47,6 | 1,15 | | |
| 2 | Горячего цеха | | 2,9 | 50,8 | 1,15 | | |
| 3 | С вредными условиями труда | | 3,2 | 58,6 | 1,15 | | |
| | ИТОГО | | - | - | - | | |
| 1 | Вспомогательные рабочие | | 2,7 | 47,4 | 1,15 | | |
| | ВСЕГО | | - | - | - | - | |

Начисление на отпуск для производственных рабочих составляет 4 % от фонда зарплаты:

$$P_{\text{ОТП.Произв.}} = 0,04 \times P_{\text{Зарп.Произв.}}$$

Начисление пенсионных взносов (22 %):

$$P_{\text{ПФ}} = 0,22 \times P_{\text{Зарп.Произв.}}$$

Начисление в фонд обязательного медицинского страхования (3,1 %):

$$P_{\text{ФОМС}} = 0,031 \times P_{\text{Зарпл.Произв.}}$$

Начисление в фонд социального страхования (2,9 %):

$$P_{\text{ФСС}} = 0,029 \times P_{\text{Зарп.Произв.}}$$

Начисление в Федеральный бюджет (6 %):

$$P_{\text{ФБ}} = 0,06 \times P_{\text{Зарп.Произв.}}$$

Итого сумма начислений от заработной платы производственных рабочих составляет:

$$P_{\text{Соц.п.}} = P_{\text{ОТП.Произв.}} + P_{\text{ПФ}} + P_{\text{ФОМС}} + P_{\text{ФСС}} + P_{\text{ФБ}}$$

Начисления от фонда заработной платы для вспомогательных рабочих производятся аналогично, как и для производственных рабочих.

Итого начислений:

$$\begin{aligned} \sum P_{\text{Нач.Произв.}} &= P_{\text{ОТП}} + P_{\text{Соц.}} \\ \sum P_{\text{Нач.Вспом.}} &= P_{\text{ОТП}} + P_{\text{Соц.}} \end{aligned}$$

Расходы на содержание инструмента, приспособлений и оборудования

Расходы на содержание инструмента, приспособлений и оборудования берутся из расчета 15 тыс. руб. в год на одного производственного рабочего

$$P_{\text{Сод.}} = 15 \times P_{\text{Произв.Раб.}}$$

Затраты на усовершенствование производства и изобретательство

Затраты на усовершенствование производства и изобретательство составляют 2 % в год от фонда зарплаты производственных рабочих

$$P_{\text{Изобрет.}} = 0,02 \times P_{\text{Зарп.Произв.Раб.}}$$

Затраты на охрану труда

Затраты на охрану труда составляют 10 % от фонда зарплаты производственных и вспомогательных рабочих

$$P_{\text{Охр.Труда}} = 0,1 \times (P_{\text{Зарп.Произв.Раб.}} + P_{\text{Зарп.Вспом.Раб.}})$$

Прочие расходы

Командировки, канцтовары, выписка литературы составляют 3 % от фонда зарплаты ИТР, СКП, МОП, производственных и вспомогательных рабочих

$$P_{\text{Прочие}} = 0,03 \times (P_{\text{Зарп.ИТР.СКП.МОП.}} + P_{\text{Зарп.Произв.Раб.}} + P_{\text{Зарп.Вспом.Раб.}})$$

Таблица 12. Основные и цеховые накладные расходы

| №п /п | Наименование статей расходов | Сумма, тыс. руб. | Примечание ¹ |
|--|--|------------------|-------------------------|
| <i>Основные расходы</i> | | | |
| 1 | Материалы и запчасти | | |
| 2 | Энергетические ресурсы | | |
| 3 | Зарплата производственных рабочих | | |
| | ИТОГО | | |
| <i>Основные распределяемые расходы</i> | | | |
| 1 | Начисление на зарплату производственных рабочих | | |
| 2 | Расходы на охрану труда | | |
| 3 | Амортизационные отчисления | | |
| | ИТОГО | | |
| | ВСЕГО | | |
| <i>Цеховые накладные расходы</i> | | | |
| 1 | Текущий ремонт | | |
| 2 | Содержание оборудования | | |
| 3 | Зарплата ИТР, СКП, МОП | | |
| 4 | Начисление на премию для СКП, МОП | | |
| 5 | Начисление на социальное страхование ИТР, СКП, МОП | | |
| 6 | Зарплата вспомогательных рабочих | | |
| 7 | Начисление на зарплату вспомогательных рабочих | | |
| 8 | Электроэнергия для освещения | | |
| 9 | Пар для отопления | | |
| 10 | Усовершенствование производства и изобретательство | | |
| 11 | Прочие расходы | | |
| | ИТОГО | | |
| | ВСЕГО | | |

1–В столбце табл. 12 «Примечание» указывать пункт статей расходов

Смета производства

Смета производства – Э_р (табл. № 12) состоит из суммы основных и цеховых накладных расходов.

Определение цеховой себестоимости единицы ремонта

$$C_{\text{цех.}} = \frac{Э_{\text{р}}}{\Pi_1 + \Pi_2}$$

$$n_{\text{Накл.}} = \frac{P_{\text{Цех.}} \times 100}{P_{\text{Зарп.Произв.Раб.}}}$$

Чем меньше цеховые накладные расходы, тем лучше.

(рекомендуется $80 \geq n_{\text{Накл.}} \leq 150$ %).

Определение оптовой цены единицы продукции по цеху

При программах по интерполяционному графику (построить):

$$III + II_2 — 100 \text{ локомотивов} \rightarrow q = 46 \%;$$

$$III + II_2 — 150 \text{ локомотивов} \rightarrow q = 48 \%;$$

$$III + II_2 — 300 \text{ локомотивов} \rightarrow q = 57 \%;$$

где q – превышение оптовой цены над себестоимостью.

Тогда оптовая цена

$$\text{Ц} = (1 + q) \times C_{\text{Цех}}$$

Плановая годовая прибыль цеха

Плановая годовая прибыль – разность между оптовой ценой и себестоимостью

$$\text{П}_{\text{План.Приб.}} = (\text{Ц} - C_{\text{Цех.}}) \times (\text{П}_1 + \text{П}_2)$$

Определение стоимости фондов цеха

Определение стоимости фондов цеха определяется по формуле:

$$\Phi_{\text{Цеха}} = \Phi_{\text{Осн.}} + \frac{\text{Ц} \times (\text{П}_1 + \text{П}_2)}{K}$$

где K – коэффициент оборотных средств принимается 9;

$\Phi_{\text{Осн.}}$ – принимаем из табл. № 8.

Определение выплаты за использование фондов цеха

Ежегодные отчисления составляют 6 % от стоимости фондов

$$B_{\text{Цеха}} = \frac{\Phi_{\text{Цеха}} \times K_0}{100}$$

где $K_0 = 6$ – установочный коэффициент;

Определение рентабельности производства цеха

Определение рентабельности производства производится по формуле:

$$R_{\text{Цеха}} = \frac{\text{П}_{\text{Пл.Год.}} - B_{\text{Цеха}}}{\Phi_{\text{Цеха}}} \times 100\%$$

$R_{\text{Цеха}}$ – должна быть 20...40 %.

Определение выработки товарной продукции на одного работающего в цехе

в год

$$T_P = \frac{\text{Ц} \times (\text{П}_1 + \text{П}_2)}{P_{\text{Раб.}}}$$

Выработка товарной продукции на один квадратный метр площади цеха

$$T_F = \frac{\text{Ц} \times (\text{П}_1 + \text{П}_2)}{F_{\text{Действ.Цеха}}}, \text{ тыс. руб./м}^2$$

Результаты расчетов сводятся в итоговую таблицу 13.

Таблица 13. Результаты расчётов

| № п/п | Наименование показателей | Обозначение | Единица измерения | Величина |
|-------|--|------------------------|--------------------------|----------|
| 1 | Годовая программа | P_1/P_2 | шт. | |
| 2 | Годовой выпуск в итоговых ценах | $C \times (P_1 + P_2)$ | тыс. руб. | |
| 3 | Количество производственных рабочих | P | чел. | |
| 4 | Цеховая себестоимость | $C_{цех}$ | тыс. руб. | |
| 5 | Процент цеховых накладных расходов | $n_{цех}$ | %. | |
| 6 | Рентабельность | $R_{цеха}$ | % | |
| 7 | Выработка товарного продукта на одного рабочего | T_p | тыс. руб. | |
| 8 | Выработка товарной продукции на один квадратный метр площади | T_F | тыс. руб./м ² | |

Заключение

В заключении указать:

1 Общую площадь локомотивосборочного цеха, что является реальным расчетом на заданную годовую программу ремонта локомотивов.

2 Рентабельность производства ремонта локомотивов спланированным цехом это производство будет **рентабельным** или **не рентабельным**.

3 Накладные расходы, что является **оптимальным** или **не оптимальным** для такого производства.

4 Полученное количество рабочих вполне **соответствует** или **не соответствует** выполнению заданной годовой программы ремонта локомотивов в спланированном локомотивосборочном цехе ЛРЗ.

РЕКОМЕНДОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1 Организация производства и управление предприятием: учебник / под ред. О.Г. Туровца. – М.: ИНФРА-М, 2002.

2 Организация и планирование радиотехнического производства. Управление предприятием радиопромышленности: учебник для радиотехнических специальностей вузов / под ред. А.И. Кноля, Г.М. Лапшина. – М.: Высш. школа, 2015.

3 Билибин Н.Ф., Улицкий М.П., Миротин А.Б. Организация, планирование и управление автотранспортными предприятиями. – М.: Высш. Школа, 2014. – 312 с.

4 Малозёмов Н.А., Каплунов М.П. Тепловозоремонтные предприятия. Организация, планирование и управление. – М.: Транспорт, 2014. – 295 с.

5 Коротков В.М. Организация производства на железнодорожном транспорте: учеб. пособие для подготовки по специальности 23.05.03 «Подвижной состав железных дорог». – Ростов н/Д: Рост. гос. ун-т путей сообщения., 2017. – 112 с.

6.2 Методические указания к выполнению расчетно-графической работы

Введение. Локомотиворемонтный завод является основной индустриальной базой транспорта и предназначен для заводского ремонта локомотивов, для обеспечения запасными частями линейных предприятий, а также для ремонта оборудования и изготовления нестандартной оснастки.

Производственный процесс представляет собой совокупность действий по производству материальных благ и складывается из процессов труда и естественных процессов.

Принципы организации производства на предприятиях по ремонту подвижного состава вытекают из основного положения хозяйственной деятельности локомотиворемонтных предприятий – получение наибольшего эффекта при наименьших затратах.

Наиболее важные принципы организации производства:

Принцип технико-экономического и правового единства. Он заключается в соблюдении соответствия между поставленной целью, юридическими правами предприятия, наличными или возможными техническими, денежными и трудовыми ресурсами.

Принцип максимальной экономии времени и согласованности во времени.

Принцип параллельности. Он заключается в такой организации производства, при которой выполняются одновременно несколько различных процессов. Применение этого принципа зависит от способности к расчленению объекта на части, при этом время ремонта объекта будет равно продолжительности ремонта самой трудоемкой детали.

Принцип прямой точности. Он обеспечивает прохождение объекта ремонта кратчайшим путем по всем фазам и операциям технологического процесса. Этот принцип обеспечивается правильным расположением зданий, производственных участков и расстановкой оборудования.

Принцип специализации. Представляет собой форму разделения труда, где за каждым цехом, участком, рабочим местом закрепляется строго определенная номенклатура работ или минимально-возможное количество операций.

Принцип взаимозаменяемости. Он характерен для массового производства и относится к таким деталям и узлам электровоза, которые отвечают требованиям идентичности. Этот принцип распространяется и на технологическое оборудование, инструмент, профессии работ.

Принцип непрерывности. Он предусматривает устранение перерывов в процессе ремонта или изготовления. Это достигается совершенствованием организации производства.

Принцип ритмичности. В одинаковые промежутки времени выпускается одинаковое количество продукции.

Принцип внешнего кооперирования. Он является принципом развития специализации. Заключается в том, что какому-либо предприятию поручается выпуск какой-нибудь одной детали в массовом количестве.

ЗАДАНИЯ

на расчетно-графическую работу

| Предпоследняя цифра варианта | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | Последняя цифра варианта |
|------------------------------|-----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------------------|
| | П 1 (СР) | | | | | | | | | | |
| | 46 | 57 | 51 | 55 | 62 | 40 | 39 | 66 | 74 | 43 | |
| П 2 (КР) | 62 | 63 | 77 | 58 | 81 | 65 | 74 | 83 | 58 | 35 | 0 |
| | 34 | 56 | 89 | 75 | 66 | 81 | 52 | 73 | 61 | 60 | 1 |
| | 46 | 77 | 68 | 57 | 89 | 36 | 79 | 43 | 82 | 55 | 2 |
| | 92 | 91 | 37 | 84 | 82 | 62 | 66 | 74 | 54 | 61 | 3 |
| | 44 | 42 | 57 | 53 | 65 | 68 | 70 | 77 | 34 | 39 | 4 |
| | 26 | 37 | 41 | 60 | 71 | 74 | 66 | 46 | 38 | 22 | 5 |
| | 66 | 78 | 45 | 63 | 70 | 59 | 36 | 34 | 30 | 63 | 6 |
| | 40 | 68 | 74 | 80 | 83 | 50 | 56 | 49 | 43 | 28 | 7 |
| | 48 | 72 | 12 | 44 | 68 | 19 | 28 | 71 | 49 | 91 | 8 |
| 41 | 86 | 79 | 37 | 63 | 99 | 23 | 46 | 58 | 112 | 9 | |

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Заводской ремонт локомотивов может быть 1-го (средний ремонт Π_1) и 2-го (капитальный ремонт Π_2) объемов.

Простой локомотивов в ремонте задается в сутках, например, для среднего ремонта

$$T_1 = 12 \text{ суток} = 12 \cdot 2 \cdot 8,2 = 196,8 \text{ ч.}$$

Произвести расчет локомотивосборочного цеха завода с годовой программой:

Π_1 = см. задание;

Π_2 = см. задание,

и простоями в ремонте

$$T_1 = 12 \text{ суток};$$

$$T_2 = 16 \text{ суток}.$$

В работе необходимо выполнить и описать:

- 1 Назначение цеха.
- 2 Состав цеха (отделения, участки, пролеты).
- 3 Технологический процесс работы цеха.
- 4 Расчет режимов работы цеха.
- 5 Расчет количества ремонтных позиций
- 6 Определение количества производственных рабочих.
- 7 Распределение производственных рабочих по сменам.
- 8 Определение общего количества работающих в цехе (с учетом ИТР и обслуживающего персонала).
- 9 Расчет необходимого технологического оборудования.
- 10 Расчет площади цеха.
- 11 Планировка цеха.
- 12 Расчет площади служебно-бытовых помещений.
- 13 Экономический расчет цеха (определение себестоимости, рентабельности и т.д.).

1 РЕЖИМЫ РАБОТЫ ЛОКОМОТИВОРЕМОНТНОГО ЗАВОДА

Режимы работы завода рассчитываются исходя из условий:

- а) пятидневной рабочей недели;
- б) 2-сменной работы.

1.1 Годовой фонд времени ремонтной позиции

Годовой фонд времени ремонтной позиции определяется по формуле:

$$\Phi_{год} = \Phi_{яв} \times m_{см} = [(D_K - d_{пр}) \times t_{см} - d_{СК} \times t_{СК}] \times m_{см}, \quad (1.1)$$

- где $\Phi_{год}$ – годовой фонд рабочего времени явочного рабочего, ч;
 $m_{см}$ – количество рабочих смен в цехе – 2;
 D_K – количество календарных дней в году – 365;
 $d_{вых}$ – количество выходных дней в году – 52;
 $t_{см}$ – нормированная продолжительность рабочей смены, – 8,2 ч;
 $d_{СК}$ – количество дней в году с сокращенной на 1 час продолжительностью рабочей смены – 7;
 $t_{СК}$ – величина сокращения продолжительности смены, – 8 ч;
 D_p – количество рабочих дней в году;
 $d_{пр}$ – количество праздничных дней в году – 13 дней.

1.2 Годовой фонд времени работы оборудования

Годовой фонд времени работы оборудования определяется по формуле:

$$D' = [(D_K - d_{пр} - d_{вых} - d_{СК}) \times 8,2 + 7 \times 7,2] \times 2 \times 0,96, \quad (1.2)$$

- где 0,96 – коэффициент, учитывающий простой оборудования во время ремонта.

1.3 Годовой фонд времени рабочего холодного цеха

Годовой фонд времени рабочего холодного цеха

$$B = [(365 - 52 - 52 - 13 - 7) \cdot 8,2 + 7 \cdot 7,2 - 196,8] \cdot 0,96 = 1756,6 \text{ ч}, \quad (1.3)$$

- где $24 \cdot 8,2 = 196,8$ ч – трудовой отпуск рабочего «холодного цеха»;
0,96 – коэффициент, учитывающий перерывы по уважительным причинам.

1.4 Годовой фонд рабочего горячего цеха (изолировщик, сварщик)

Годовой фонд рабочего горячего цеха (изолировщик, сварщик) определяется по формуле:

$$B' = [(365 - 52 - 52 - 13 - 7) \cdot 8,2 + 7 \cdot 7,2 - 221,4] \cdot 0,96 = 1733 \text{ ч}. \quad (1.4)$$

1.5 Годовой фонд времени с вредными условиями труда (маляры, аккумуляторщики и т.д.)

Годовой фонд времени с вредными условиями труда (маляры, аккумуляторщики и т.д.) определяется по формуле:

$$B'' = [(365 - 52 - 52 - 13 - 7) \cdot 8,2 + 7 \cdot 7,2 - 324] \cdot 0,96 = 1634,5 \text{ ч.} \quad (1.5)$$

1.6 Расчет количества ремонтных позиций

Расчет количества ремонтных позиций производится по формуле:

$$\Phi = \Phi_1 + \Phi_2 = \frac{П_1 \cdot t_1}{Д} + \frac{П_2 \cdot t_2}{Д}, \quad (1.6)$$

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 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 1 | Разоборудование 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 | | | | | | |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|-------|----------------------------------|---|---|----|----|---|---|---|----|----|----|
| 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 | | | | | | | | | | | |

1.7 Определение количества производственных рабочих

Определение количества производственных рабочих производится по формуле:

$$P = P_1 + P_2 = \frac{\Pi_1 \cdot t'_1}{B} + \frac{\Pi_2 \cdot t'_2}{B}, \quad (1.7)$$

где t'_1, t'_2 – нормы человеко-часов на единицу ремонта для рассчитываемой продукции.

Результаты расчётов занесены в таблицу 2.

Таблица 2

Определение количества рабочих

| № п/п | Наименования отделений, профессий | Годовая программа | | Норма затрат, чел. ч | | Годовые затраты, ч | | Годовой фонд вре м. ч | Количество рабочих | | | |
|---|-----------------------------------|-------------------|---------|----------------------|-------|--------------------|--------------------|-----------------------|--------------------|-------|-----|------------------|
| | | Π_1 | Π_2 | t_1 | t_2 | $\Pi_1 \times t_1$ | $\Pi_2 \times t_2$ | | P_1 | P_2 | P | $P_{\text{окр}}$ |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| I Разборочное, ремонтное и сборочное отделения (главный пролет) | | | | | | | | | | | | |
| 1 | Слесарь по разборке | | | 34,6 | 50,6 | | | | | | | |
| 2 | Слесарь по ремонту | | | 47,6 | 122 | | | | | | | |
| 3 | Слесарь по сборке | | | 78,3 | 118 | | | | | | | |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
|--|--------------------------------|---|---|-------|------|---|---|---|----|----|----|----|
| 4 | Слесарь-электрик по разборке | | | 104,5 | 204 | | | | | | | |
| 5 | Слесарь-электрик по ремонту | | | 39 | 72,6 | | | | | | | |
| 6 | Слесарь-электрик по сборке | | | 208 | 353 | | | | | | | |
| 7 | Слесарь-автоматчик по разборке | | | 20,5 | 37,4 | | | | | | | |
| 8 | Чистильщик | | | 15,9 | 17,8 | | | | | | | |
| 9 | Столяры | | | 76 | 211 | | | | | | | |
| 10 | Электро-сварщик | | | 15,3 | 21,2 | | | | | | | |
| 11 | Газорезчик | | | 1,5 | 3,6 | | | | | | | |
| 12 | Слесарь-автоматчик по сборке | | | 75,5 | 115 | | | | | | | |
| | ИТОГО | | | | | | | | | | | |
| II Гарнитурное отделение | | | | | | | | | | | | |
| 1 | Слесари | | | 47,3 | 173 | | | | | | | |
| 2 | Эл.сварщик | | | 31,5 | 69,5 | | | | | | | |
| 3 | Газосварщик | | | 32,5 | 71,5 | | | | | | | |
| | ИТОГО | | | | | | | | | | | |
| III Электроремонтный участок | | | | | | | | | | | | |
| 1 | Слесарь-электрик | | | 47,3 | 104 | | | | | | | |
| IV Слесарно-замочный участок | | | | | | | | | | | | |
| 1 | Слесари-замочники | | | 31,5 | 34,7 | | | | | | | |
| V Отделение травления труб | | | | | | | | | | | | |
| 1 | Слесари-трубники | | | 32,5 | 38,7 | | | | | | | |
| VI Участок ремонта воздушных резервуаров | | | | | | | | | | | | |
| 1 | Слесари-ремонтники | | | 15,7 | 35,7 | | | | | | | |
| 2 | Эл.сварщик | | | 5,6 | 9,8 | | | | | | | |
| VII Автотормозное отделение | | | | | | | | | | | | |
| 1 | Слесарь-автоматчик | | | 48,3 | 72 | | | | | | | |
| VIII Трубное отделение | | | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|-------------------|---|---|-------|------|---|---|---|----|----|----|----|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| 1 | Слесари-трубники | | | 49,3 | 69 | | | | | | | |
| IX Участок ремонта секций радиаторов | | | | | | | | | | | | |
| 1 | Слесарь-ремонтник | | | 45,3 | 73 | | | | | | | |
| X Механический участок | | | | | | | | | | | | |
| 1 | Станочники | | | 55,7 | 84,7 | | | | | | | |
| XI Испытательная станция | | | | | | | | | | | | |
| 1 | Машинист | | | 40 | 70,3 | | | | | | | |
| 2 | Пом. машин. | | | 40 | 70,3 | | | | | | | |
| XII Малярное отделение | | | | | | | | | | | | |
| 1 | Маляры | | | 147,7 | 188 | | | | | | | |
| | ИТОГО | | | | | | | | | | | |

Проверка количества рабочих сборочного цеха проводится по коэффициенту:

$$\Pi = \frac{P}{\Pi_1 + \Pi_2} \quad (\text{должно быть } 0,88 \dots 0,89).$$

Если $\Pi \geq 0,9$, то необходимо скорректировать величину P (см. табл. 2) в сторону уменьшения по каждой специальности и к столбцу P добавить столбец $P_{\text{фактич.}}$.

В сборочном цехе работают:

- по холодной сетке (1756,4 ч) – чел.
- по горячей сетке (1733 ч) – чел.
- вредными условиями труда (1634,5 ч) – чел.

Итого: чел.

1.8 Распределение производственных рабочих по сменам

Распределение производится с учетом 2-сменной работы цеха и одинаковых по производительности смен (табл. 3).

При распределении рабочих по сменам необходимо учитывать то, что в первую смену должно работать большее количество рабочих, чем в первую.

Таблица 3

Распределение рабочих по сменам

| № п/п | Наименование отделений и участков | Количество рабочих | Распределение по сменам | |
|-------|--|--------------------|-------------------------|---|
| | | | 1 | 2 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | Разборочное, ремонтное и сборочное отделения | | | |
| 2 | Гарнитурное отделение | | | |
| 3 | Электроремонтный участок | | | |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|----|---------------------------------------|---|---|---|
| 4 | Слесарно-замочный участок | | | |
| 5 | Отделение травления труб | | | |
| 6 | Участок ремонта воздушных резервуаров | | | |
| 7 | Автотормозное отделение | | | |
| 8 | Трубное отделение | | | |
| 9 | Участок ремонта секций радиатора | | | |
| 10 | Механический участок | | | |
| 11 | Испытательная станция | | | |
| 12 | Малярное отделение | | | |
| | ИТОГО | | | |

1.9 Определение общего количества работников в цехе

Количество вспомогательных рабочих:

- стропальщики.
- крановщицы.
- водители электрокара.
- слесари-электрики по ремонту электрооборудования.
- уборщицы производственных помещений.

Инженерно-технические работники ИТР, счетно-конторский персонал (СКП) и младший обслуживающий персонал (МОП) – уборщицы, гардеробщицы, комплектовщицы берутся в %-ном отношении от производственных рабочих.

Таблица 4

Распределение по сменам ИТР, СКП, МОП

| № п/п | Наименование контингента рабочих | Процентное отношение | Общее количество | Распределение по сменам | |
|-------|----------------------------------|----------------------|------------------|-------------------------|---|
| | | | | 1 | 2 |
| 1 | Производственные рабочие | 100 % | | | |
| 2 | Вспомогательные рабочие | 18 % | | | |
| 3 | ИТР | 10 % | | | |
| 4 | СКП | 2,5 % | | | |
| 5 | МОП | 1,5 % | | | |
| | ВСЕГО | | | | |

1.10 Расчет необходимого количества технологического оборудования

Расчет производится по формуле

$$N = N_1 + N_2 = \frac{П_1 \cdot t_1''}{D'} + \frac{П_2 \cdot t_2''}{D'}, \quad (1.8)$$

где N – количество оборудования;

$П_1, П_2$ – годовая программа, соответственно I-го и II-го объемов;

t_1'', t_2'' – норма станко-часов на единицу ремонта;

D' – годовой фонд времени работы оборудования.

Обычно в сборочном цехе эксплуатируются от 4 до 6 единиц металлорежущего оборудования.

В работе в таблицы заносится только то оборудование, на которое есть нормы, т.е. «Принимается без расчета».

Если потребность стандартного оборудования 0,4 и меньше, то оно не принимается.

Нестандартное оборудование принимается всегда.

Например, при $N = 0,15$ балансировочный станок в электромашинном цехе нужен, т.к. эту работу нельзя сделать где-то в другом цехе.

Таблица 5

Расчёт технологического оборудования

| № п/п | Наименование оборудования | Годовая программа | | Норма, станко-часы | | Годовые затраты, станко-часы | | Годовой фонд времени, ч | Количество оборудования | | |
|-------|--------------------------------|-------------------|-------|--------------------|---------|------------------------------|-------------------|-------------------------|-------------------------|-------|----|
| | | P_1 | P_2 | t_1'' | t_2'' | $P_1 \cdot t_1''$ | $P_2 \cdot t_2''$ | | N_1 | N_2 | N |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 1 | Токарно-винторезный станок | | | 43 | 78 | | | | | | |
| 2 | Токарно-карусельный станок | | | 4 | 4 | | | | | | |
| 3 | Радиально-сверлильный станок | | | 12 | 17 | | | | | | |
| 4 | Долбежный станок | | | 1 | 1 | | | | | | |
| 5 | Вертикально-фрезерный станок | | | 18 | 32 | | | | | | |
| 6 | Горизонтально-фрезерный станок | | | 14 | 16 | | | | | | |
| 7 | Заточной станок | | | 23 | 25 | | | | | | |
| 8 | Сварочный трансформатор | | | 27 | 31 | | | | | | |
| 9 | Сварочный преобразователь | | | 14 | 17 | | | | | | |

Окончание табл. 5

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|----|----------------------------------|---|---|----|----|---|---|---|----|----|----|
| 10 | Газовая горелка | | | 15 | 17 | | | | | | |
| 11 | Газорезочный аппарат | | | 15 | 17 | | | | | | |
| 12 | Устройство для очистки кузова | | | 8 | 8 | | | | | | |
| 13 | Стенд для испытания вентиляторов | | | 12 | 12 | | | | | | |
| 14 | Передвижной покрасочный портал | | | 7 | 7 | | | | | | |
| 15 | Сушильная установка | | | 6 | 6 | | | | | | |
| 16 | Переносной калорифер | | | 6 | 6 | | | | | | |
| 17 | Пневматическая машинка | | | 21 | 21 | | | | | | |

Из таблицы следует, что в цехе имеется только один сварочный трансформатор, но также в цехе должны быть специальные станки и аппараты: переносной калорифер, передвижной покрасочный портал, устройство для очистки кузова, газорезочный аппарат, газовая горелка, сварочный преобразователь.

1.11 Расчет площади цеха

Площадь цеха рассчитывается по нормам площади на измеритель.

Таблица 6

Расчёт площади цеха

| № п/п | Наименование отделений, участков | Измеритель | Кол-во измерителей | Норма площади на измеритель, м ² | Общая площадь, м ² |
|------------------------|---|------------|--------------------|---|-------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Главный пролёт | | | | | |
| 1 | Разборочное, ремонтное, сборочное отделение | позиция | | 310 | |
| | ИТОГО | | | | |
| Вспомогательный пролёт | | | | | |

Окончание табл. 6

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|----|---------------------------------------|----------------------------|---|------|---|
| 1 | Гарнитурное отделение | позиция ремонта кузова | | 100 | |
| 2 | Электроремонтный участок | участок | 1 | 120 | |
| 3 | Участок ремонта воздушных резервуаров | позиция ремонта кузова | | 40 | |
| 4 | Трубное отделение | год. программа локомотивов | | 0,85 | |
| 5 | Слесарно-замочный участок | - “ - | | 0,11 | |
| 6 | Участок травления труб | участок | 1 | 250 | |
| 7 | Автотормозное отделение | год. программа локомотивов | | 0,17 | |
| 8 | Участок ремонта секций радиатора | - “ - | | 0,5 | |
| 9 | Механический участок | участок | 1 | 100 | |
| 10 | Столярный участок | участок | 1 | 70 | |
| 11 | Комплектовочная кладовая | год. программа локомотивов | | 0,25 | |
| 12 | Инструментально-раздаточная кладовая | - “ - | | 0,16 | |
| | ИТОГО | | | | |
| | Испытательная станция | позиция | | 270 | |
| | Малярное отделение | позиция | | 336 | |

Всего в цехе:

1.12 Планировка цеха

При планировке цеха определяются его длина, ширина и принимаются размеры транспортных проездов.

1.12.1 Главный пролет

Технико-экономические расчеты из условия расположения трех ниток рельсовых путей представлены на рисунке 1.1.

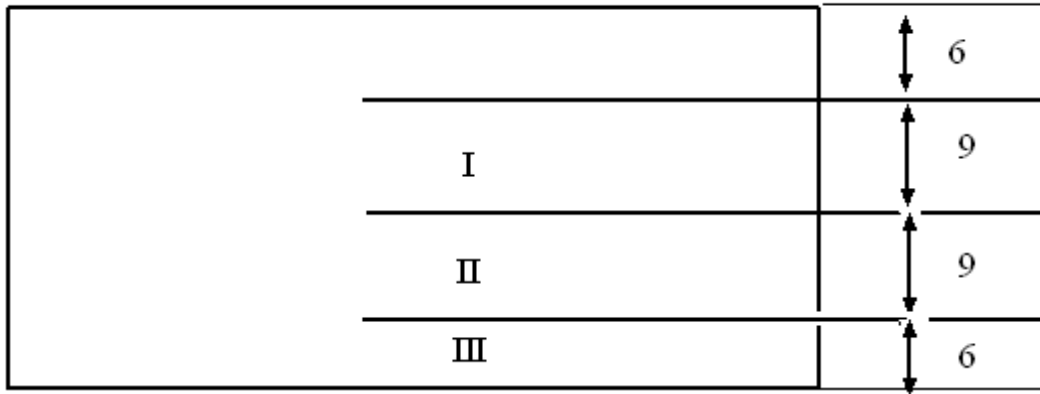


Рисунок 1.1 – Схема расположения трех ниток рельсовых путей главного пролета

Наилучшей шириной сборочного цеха является

$$B_{\text{гл.пр.}} = 30 \text{ м.}$$

На длине главного пролета по его торцам принимаются транспортные проезды по 6 м.

Тогда технологическая длина главного пролета

$$L_{\text{гл.пр.}}^{\text{технол.}} = \frac{F^{\text{технол.}}}{B_{\text{гл.пр.}}} \quad (1.9)$$

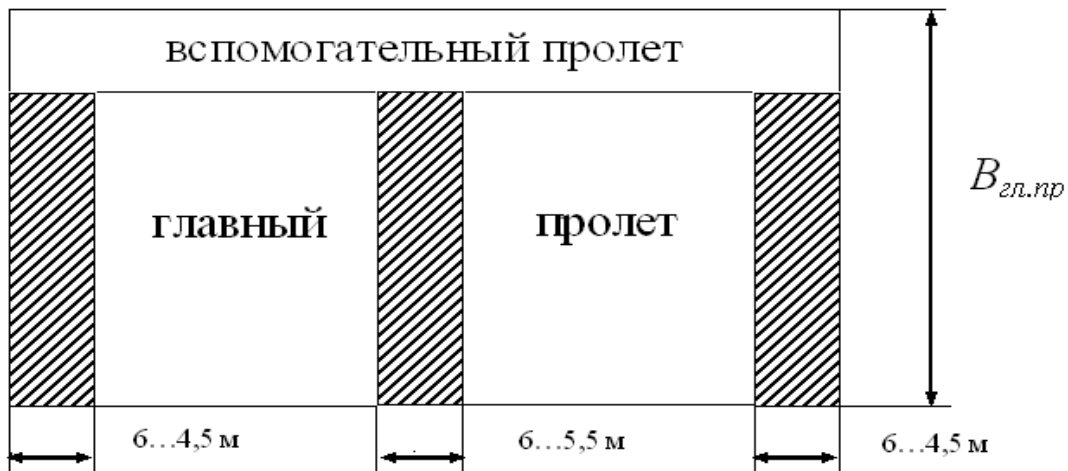


Рисунок 1.2 – Схема размещения средней части главного пролета

А в средней части главного пролета – пожарный проезд на 5,5...6 м.

Тогда

$$L_{\text{гл.пр.}}^{\text{расч.}} = L_{\text{гл.пр.}}^{\text{техн.}} + \sum b, \quad (1.10)$$

где b – ширина проезда.

Длина любого пролета должна быть кратна 12 из условия расположения колонн и применения стандартных строительных перекрытий.

1.12.2 Вспомогательный пролет

Вспомогательный пролет примыкает к главному. Ширина вспомогательного пролета

$$B_{\text{Вспом.Пр.}}^{\text{расч.}} = \frac{F_{\text{Вспом.}}^{\text{Техн.}}}{L_{\text{Гл.Пр.}}^{\text{Действ.}} - \sum b}. \quad (1.11)$$

Ширина любого пролета должна быть кратна 6 из условия применения стандартных крановых средств и стандартных строительных перекрытий.

Принимаем $B_{\text{ВСПОМ.ПР}}^{\text{ДЕЙСТВ}} = 18$ м.

3. Действительная площадь главного пролета составит

$$F_{\text{Гл.Пр.}}^{\text{Действ.}} = L_{\text{Гл.Пр.}}^{\text{Действ.}} \cdot B_{\text{Гл.Пр.}}. \quad (1.12)$$

4. Действительная площадь вспомогательного пролета составит

$$F_{\text{Вспом.Пр.}}^{\text{Действ.}} = L_{\text{Вспом.Пр.}}^{\text{Действ.}} \cdot B_{\text{Вспом.Пр.}}. \quad (1.13)$$

Площадь цеха

$$F_{\text{Цеха}}^{\text{Действ.}} = F_{\text{Гл.Пр.}}^{\text{Действ.}} + F_{\text{Вспом.Пр.}}^{\text{Действ.}}. \quad (1.14)$$

Размеры высот пролетов определяются по нормативам:

3. Высота пролета от пола (пролет главного зала)

$H_{\text{ГЛ.ПР}} = 16,2$ м, при ширине пролета 30 м.

4. Высота вспомогательного пролета

$$H_{\text{ВСПОМ.ПР}} = 10,8 \text{ м.}$$

Объем:

$$V_{\text{Гл.Пр.}} = F_{\text{Гл.Пр.}}^{\text{Действ.}} \cdot H_{\text{Гл.Пр.}}. \quad (1.15)$$

$$V_{\text{Вспом.Пр.}} = F_{\text{Вспом.Пр.}}^{\text{Действ.}} \cdot H_{\text{Вспом.Пр.}}. \quad (1.16)$$

1.13 Расчет площади служебных помещений

Расчет производится по единым санитарным нормам на измеритель. Учитывается процент женщин, работающих в цехе (для сборочного цеха 20 % женщин, электромашиного – 40 %). При расчете гардеробных исходят из условия, что если в 1-ю смену работает более 100 человек одного пола, то принимается открытый способ хранения одежды (на крючках) с нормой площади $0,32 \text{ м}^2$ на измеритель.

Если менее 100 чел., то применяется закрытый способ хранения одежды с нормой площади $0,92 \text{ м}^2$ на измеритель.

При расчете душевых норма на измеритель $0,52 \text{ м}^2$, и норма включает размещение душевой сетки, проходов и раздевалки.

На каждый душ необходимо три места в раздевалке. Курительная комната должна быть не менее 8 м² и не более 40 м². Расчет представляется в виде таблицы 7.

Для таблицы:

| | | |
|--------------------------|---------|------|
| Производственные рабочие | | чел. |
| из них: | | |
| женщины | | чел. |
| мужчины | | чел. |
| Вспомогательные рабочие | | чел. |
| женщины | | чел. |
| мужчины | | чел. |
| ИТР | | чел. |
| СКП | женщины | чел. |
| МОП | женщины | чел. |
| | женщины | чел. |
| ИТОГО | мужчины | чел. |

Таблица 7

Расчёт площади служебных помещений

| № п/п | Наименование помещения | Измеритель | Норма площади на измеритель, м ² | Кол-во измерителей | Площадь, м ² | |
|----------------------------|-------------------------------------|------------|---|--------------------|-------------------------|----------|
| | | | | | Расчётная | Принятая |
| <i>Служебные помещения</i> | | | | | | |
| 1 | Кабинет начальника цеха | Кабинет | 15–40 | | | |
| 2 | Кабинет заместителя начальника цеха | Кабинет | 15–40 | | | |
| 3 | Техническое бюро | 1-я смена | 5 | | | |
| 4 | Контора цеха | 1-я смена | 3 | | | |
| | ИТОГО | | | | | |
| <i>Бытовые помещения</i> | | | | | | |
| 1 | Гардеробная | Мужская | Рабочие | 0,32 | | |
| | | Женская | | | | |
| 2 | Умывальная | Мужская | Рабочие | 0,052 | | |
| | | Женская | | | | |
| 3 | Туалет | Мужская | Рабочие | 0,14 | | |
| | | Женская | | | | |
| 4 | Душевая | Мужская | Рабочие | 0,52 | | |
| | | Женская | | | | |
| 5 | Комната принятия пищи | Комната | 40–100 | | | |
| 6 | Курительная комната | Работники | 0,02 | | | |
| 7 | Комната гигиены женщины | Комната | 20 | | | |
| 8 | ИТОГО | | | | | |
| | ВСЕГО | | | | | |

Итак, всего –

Высота служебно-бытовых помещений

$$H_{\text{служ.быт}} = 3 \text{ м.}$$

Тогда объем

$$V_{\text{Служ.быт.}} = F_{\text{Служ.быт.}} \cdot H_{\text{Служ.быт.}} \quad (1.17)$$

2 ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ЦЕХА

Целью экономического расчета считается определение себестоимости продукции, накладных расходов, оптовой цены, прибыли и рентабельности.

Для определения этих показателей необходимо составить смету производства, для чего нужно знать ряд значений и величин.

2.1 Стоимость основного производственного оборудования

По технико-экономическим показателям для проектируемых ТРЗ определяют: строится интерполяционный график, если известны данные:

$$П = 100 \text{ локомотивов } РОБОР.1ЛОК. = 195 \text{ тыс. руб.};$$

$$П = 150 \text{ локомотивов } РОБОР.1ЛОК. = 180 \text{ тыс. руб.};$$

$$П = 300 \text{ локомотивов } РОБОР.1ЛОК. = 130 \text{ тыс. руб.},$$

где $П = П_1 + П_2$

По графику рисунка 2.1 находим $P_{\text{Обор.1ЛОК.}}$

Стоимость всего оборудования

$$P_{\text{ОБОР.}} = P_{\text{ОБОР.1ЛОК.}} \cdot П. \quad (2.1)$$

2.2 Мощность привода основного оборудования

По технико-экономическим показателям находим энерговооруженность одного рабочего 1-й смены:

$$П=300 \text{ локомотивов } \mathcal{E}_{1РАБ} = 16,2 \text{ кВт};$$

$$П=450 \text{ локомотивов } \mathcal{E}_{1РАБ} = 15,4 \text{ кВт};$$

$$П=600 \text{ локомотивов } \mathcal{E}_{1РАБ} = 14,6 \text{ кВт}.$$

На основании вышеприведенных данных строим интерполяционный график и по интерполяционному графику определяем энерговооруженность привода на ремонт одного локомотива.

Тогда энерговооруженность привода на программу ремонта

$$\mathcal{E}_{\text{ПРИВ.}} = \mathcal{E}_{1РАБ.} \cdot \frac{P_{\text{СМЕНЫ}}}{P_{\text{РАБ.}}} \quad (2.2)$$

Робор. 1 лок. тыс. руб

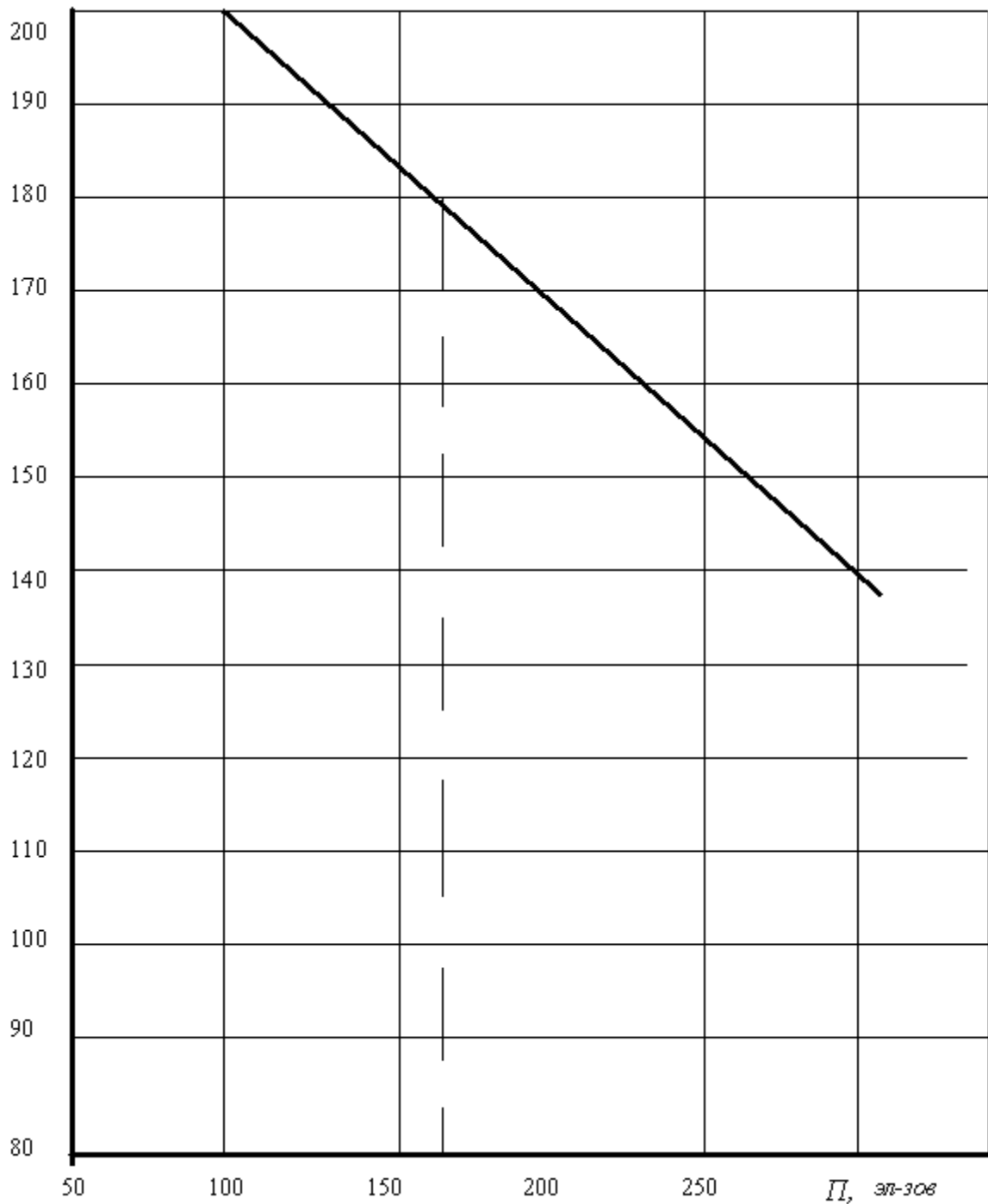


Рисунок 2.1 – Интерполяционный график зависимости затрат на основное оборудование от годовой программы ремонта локомотивов

2.3 Определение стоимости основных фондов цеха

Основные фонды – те средства, которые переносят свою стоимость на предметы труда постепенно.

Оборотные фонды же делают это сразу.

| № п/п | Наименование основных фондов | Единица измерения | Кол-во единиц | Остаточная стоимость единицы измерения, тыс. руб. | Общая стоимость, тыс. руб. | Примечания |
|----------------------------|---|-------------------|---------------|---|----------------------------|--------------|
| <i>Здания и сооружения</i> | | | | | | |
| 1 | Производственные здания | м ³ | | 5 | | |
| 2 | Служебно-бытовые помещения | м ³ | | 6 | | |
| ИТОГО | | | | | | |
| <i>Оборудование</i> | | | | | | |
| 1 | Основное производственное | % | 100 | - | | От основного |
| 2 | Его монтаж | % | 5 | - | | От основного |
| 3 | Вспомогательное | % | 15 | - | | От основного |
| 4 | Его монтаж | % | 2 | - | | |
| 5 | Транспортное оборудование | % | 10 | - | | |
| 6 | Его монтаж | % | 5 | - | | |
| 7 | Электрооборудование | кВт | | 3 | | п.2.2 |
| 8 | Его монтаж | % | 15 | - | | п. 2.2 |
| ИТОГО | | | | | | |
| 1 | Производственно-хозяйственный инвентарь | % | 1 | - | | От основного |
| 2 | Инструмент и приспособления | % | 8 | - | | |
| ВСЕГО | | | | | | |

2.4 Стоимость текущего ремонта

Сумма затрат за год берется в процентном отношении от стоимости основных фондов по соответствующим статьям в тыс. руб.:

а) здания и сооружения – 3 %

$$P_{\text{ТР.Здпн.и Соор.}} = 0,03 \cdot P_{\text{Здан.и Соор.}}; \quad (2.3)$$

б) оборудование – 7 %

$$P_{\text{ТР.Оборуд.}} = 0,07 \cdot P_{\text{Оборуд.}}; \quad (2.4)$$

в) инструмент и приспособления – 3 %

$$P_{\text{ТР.Инструм.}} = 0,03 \cdot P_{\text{Инструм.}}; \quad (2.5)$$

ИТОГО $\sum P_{\text{ТР.}} =$

2.5 Определение годовых амортизационных отчислений (даются на восстановление и капитальный ремонт)

Они берутся в процентном отношении от стоимости в *тыс. руб.*:

а) здания и сооружения – 5 %

$$P_{AM.Здан.и Сооруж.} = 0,05 \cdot P_{Здан.и Сооруж.}; \quad (2.6)$$

б) оборудование – 11,5 %

$$P_{AM.Оборуд.} = 0,115 \cdot P_{Оборуд.}; \quad (2.7)$$

в) инструмент и приспособления – 12,4 %

$$P_{AM.Инстр.и Присп.} = 0,124 \cdot P_{Инстр.и Присп.}; \quad (2.8)$$

г) хозяйственный инвентарь – 13 %

$$P_{AM.Хоз.и Инвен.} = 0,13 \cdot P_{Хоз.и Инвен.}; \quad (2.9)$$

ВСЕГО $\sum P_{AM.} = .$

2.6 Определение стоимости энергетических ресурсов цеха

Нормы расхода энергоресурсов берутся по известным стандартным нормам расхода энергии на работу оборудования и вспомогательные нужды предприятия.

Таблица 9

Определение стоимости энергетических ресурсов цеха

| № п/п | | Наименование энергоресурсов | Единица измерения | Годовая программа | | Норма расхода | | Годовой расход | Стоимость единицы расхода, руб. | Общая стоимость, тыс. руб. |
|-------|--|-------------------------------|-------------------|-------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------------------------|----------------------------|
| | | | | П ₁ | П ₂ | q ₁ | q ₂ | | | |
| 1 | | Техническая вода | м ³ | | | 19,1 | 19,1 | | 20 | |
| 2 | | Расход производственного пара | м ³ | | | 12,2 | 12,2 | | 320 | |
| 3 | | Расход сжатого воздуха | м ³ | | | 5503 | 5503 | | 4 | |
| 4 | | Расход кислорода | м ³ | | | 4,5 | 8,5 | | 100 | |
| 5 | | Расход ацетилена | м ³ | | | 1,9 | 3,2 | | 540 | |
| 6 | | Силовая электроэнергия | кВтч | | | 3500 | 3500 | | 4 | |
| | | ИТОГО | | | | | | | | |

2.7 Стоимость электроэнергии на освещение

Рассчитывается из условия расхода 35 кВт·ч в год на 1 м² площади цеха и стоимости 1 кВт·ч 4,9 руб. в тыс. руб.

Тогда

$$P_{\text{Освещ., Эл. Энерг.}} = 35 \cdot (F_{\text{Произв. Цеха}} + F_{\text{Служебн. Бытов.}}) \cdot 4,9. \quad (2.10)$$

2.8 Стоимость материалов, запасных частей, вспомогательных материалов и покупных изделий

Стоимость материалов, запасных частей, вспомогательных материалов и покупных изделий принимается по нормам расхода в тыс. руб.:

$$P_{\text{Мат.}} = 512 \cdot П_1 + 970 \cdot П_2. \quad (2.11)$$

2.9 Стоимость пара для отопления

Расход пара принимается по норме (для всех цехов) $q = 0,088 \frac{m}{m^3}$ помещения в тыс. руб.:

$$P_{\text{Отопл. и Пар}} = 0,088 \cdot (V_{\text{Произв. Цех и Быт. Помещ.}} + V_{\text{Служебн. и Бытов.}}) \cdot 320. \quad (2.12)$$

2.10 Годовые фонды заработной платы и определение начислений

Таблица 10

Годовые фонды зарплаты для ИТР, СКП и МОП

| № п/п | Наименование профессий и должностей | Количество людей | Месячный оклад, тыс. руб. | Месячный фонд зарплаты, тыс. руб. | Годовой фонд зарплаты, тыс. руб. |
|------------|-------------------------------------|------------------|---------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| <i>ИТР</i> | | | | | |
| 1 | Начальник цеха | | 22,00 | | |
| 2 | Заместитель начальника цеха | | 20,00 | | |
| 3 | Начальник смены | | 16,00 | | |
| 4 | Старший мастер | | 16,00 | | |
| 5 | Ведущий технолог | | 18,00 | | |
| 6 | Инженер-технолог | | 14,00 | | |
| 8 | Техник-технолог | | 9,00 | | |
| 9 | Экономист | | 11,00 | | |
| 10 | Механик | | 14,00 | | |
| 11 | Инженер-нормировщик | | 12,00 | | |
| 12 | Инженер испытательной станции | | 14,00 | | |
| 13 | Мастер производства | | 14,50 | | |
| | ВСЕГО | | - | - | |
| <i>СКП</i> | | | | | |
| 1 | Старший бухгалтер | | 9,00 | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |

| | | | | | |
|------------|-------------------------|--|------|---|--|
| 2 | Бухгалтер | | 8,00 | | |
| 3 | Табельщик | | 7,00 | | |
| 4 | Нарядчик | | 7,00 | | |
| | ВСЕГО СКП | | - | - | |
| <i>МОП</i> | | | | | |
| 1 | Уборщицы и гардеробщики | | 7,00 | | |
| | ИТОГО | | - | - | |

2.10.1 Начисления для ИТР, СКП и МОП

Сумма начислений на премию для СКП и МОП – 10%, тогда

$$P_{\text{СКП.МОП.Премия}} = 0,1 \cdot (P_{\text{СКП.Зарп.}} + P_{\text{МОП.Зарп.}}). \quad (2.13)$$

Начисление ЕСН (единый социальный налог) составляет 36,6 % от фонда заработной платы:

$$P_{\text{ЕСНФБ}} = 0,366 \cdot (P_{\text{СКП.Зарп.}} + P_{\text{МОП.Зарп.}}). \quad (2.14)$$

Начисление пенсионных взносов на страховую часть пенсии (20 %):

$$P_{\text{ЕСНПенс.}} = 0,2 \cdot (P_{\text{СКП.Зарп.}} + P_{\text{МОП.Зарп.}}). \quad (2.15)$$

Начисления в Федеральный фонд обязательного медицинского страхования (3,1 %):

$$P_{\text{ФМС}} = 0,031 \cdot (P_{\text{СКП.Зарп.}} + P_{\text{МОП.Зарп.}}). \quad (2.16)$$

Начисления в Федеральный фонд социального страхования (2,9 %):

$$P_{\text{ФСС}} = 0,029 \cdot (P_{\text{СКП.Зарп.}} + P_{\text{МОП.Зарп.}}). \quad (2.17)$$

2.10.2 Начисления для производственных и вспомогательных рабочих

Данные расчёта приведены в таблице 11.

Таблица 11

Годовые фонды зарплаты для производственных и вспомогательных рабочих

| № п/п | Наименование контингента рабочих | Кол-во рабочих | Средний тарифный разряд | Часовая тарифная ставка, руб. | Коэф-нт премиальных | Годовой фонд времени работы, ч. | Годовой фонд зарплаты, тыс. руб. |
|---------------------------------|----------------------------------|----------------|-------------------------|-------------------------------|---------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| <i>Производственные рабочие</i> | | | | | | | |
| 1 | Холодного цеха | | 2,9 | 47,6 | 1,15 | | |
| 2 | Горячего цеха | | 2,9 | 50,8 | 1,15 | | |
| 3 | С вредными условиями труда | | 3,2 | 58,6 | 1,15 | | |
| | ИТОГО | | - | - | - | | |
| 1 | Вспомогательные рабочие | | 2,7 | 47,4 | 1,15 | | |
| | ВСЕГО | | - | - | - | - | |

Начисление на отпуск для производственных рабочих составляет 4% от фонда зарплаты:

$$P_{\text{ОТП.Произв.}} = 0,04 \cdot P_{\text{Зарп.Произв.}} \quad (2.18)$$

Начисление пенсионных взносов (22 %):

$$P_{\text{ПФ}} = 0,22 \cdot P_{\text{Зарп.Произв.}} \quad (2.19)$$

Начисление в фонд обязательного медицинского страхования (3,1 %):

$$P_{\text{ФОМС}} = 0,031 \cdot P_{\text{Зарп.Произв.}} \quad (2.20)$$

Начисление в фонд социального страхования (2,9 %):

$$P_{\text{ФСС}} = 0,029 \cdot P_{\text{Зарп.Произв.}} \quad (2.21)$$

Начисление в Федеральный бюджет (6 %):

$$P_{\text{ФБ}} = 0,06 \cdot P_{\text{Зарп.Произв.}} \quad (2.22)$$

Итого сумма начислений от заработной платы производственных рабочих составляет:

$$P_{\text{Соц.п.}} = P_{\text{ОТП.Произв.}} + P_{\text{ПФ}} + P_{\text{ФОМС}} + P_{\text{ФСС}} + P_{\text{ФБ}} \quad (2.23)$$

Начисления от фонда заработной платы для вспомогательных рабочих производятся аналогично, как и для производственных рабочих.

Итого начислений:

$$\sum P_{\text{Нач.Произв.}} = P_{\text{ОТП}} + P_{\text{Соц.}} \quad (2.24)$$

$$\sum P_{\text{Нач.Вспом.}} = P_{\text{ОТП}} + P_{\text{Соц.}} \quad (2.25)$$

2.11 Расходы на содержание инструмента, приспособлений и оборудования

Расходы на содержание инструмента, приспособлений и оборудования берутся из расчета 15 тыс. руб. в год на одного производственного рабочего

$$P_{\text{Сод.}} = 15 \cdot P_{\text{Произв.Раб.}} \quad (2.26)$$

2.12 Затраты на усовершенствование производства и изобретательство

Затраты на усовершенствование производства и изобретательство составляют 2 % в год от фонда зарплаты производственных рабочих

$$P_{\text{Изобрет.}} = 0,02 \cdot P_{\text{Зарп.Произв.Раб.}} \quad (2.27)$$

2.13 Затраты на охрану труда

Затраты на охрану труда составляют 10 % от фонда зарплаты производственных и вспомогательных рабочих

$$P_{\text{Охр.Труда}} = 0,1 \cdot (P_{\text{Зарп.Произв.Раб.}} + P_{\text{Зарп.Вспом.Раб.}}) \quad (2.28)$$

2.14 Прочие расходы

Командировки, канцтовары, выписка литературы составляют 3 % от фонда заработной платы ИТР, СКП, МОП, производственных и вспомогательных рабочих

$$P_{\text{Прочие}} = 0,03 \cdot (P_{\text{Зарп.ИТР.СКП.МОП.}} + P_{\text{Зарп.Произв.Раб.}} + P_{\text{Зарп.Вспом.Раб.}}). \quad (2.29)$$

Таблица 12

Основные и цеховые накладные расходы

| № п/п | Наименование статей расходов | Сумма, тыс. руб. | Примечание ¹ |
|--|--|------------------|-------------------------|
| <i>Основные расходы</i> | | | |
| 1 | Материалы и запчасти | | |
| 2 | Энергетические ресурсы | | |
| 3 | Зарплата производственных рабочих | | |
| | ИТОГО | | |
| <i>Основные распределяемые расходы</i> | | | |
| 1 | Начисление на зарплату производственных рабочих | | |
| 2 | Расходы на охрану труда | | |
| 3 | Амортизационные отчисления | | |
| | ИТОГО | | |
| | ВСЕГО | | |
| <i>Цеховые накладные расходы</i> | | | |
| 1 | Текущий ремонт | | |
| 2 | Содержание оборудования | | |
| 3 | Зарплата ИТР, СКП, МОП | | |
| 4 | Начисление на премию для СКП, МОП | | |
| 5 | Начисление на социальное страхование ИТР, СКП, МОП | | |
| 6 | Зарплата вспомогательных рабочих | | |
| 7 | Начисление на зарплату вспомогательных рабочих | | |
| 8 | Электроэнергия для освещения | | |
| 9 | Пар для отопления | | |
| 10 | Усовершенствование производства и изобретательство | | |
| 11 | Прочие расходы | | |
| | ИТОГО | | |
| | ВСЕГО | | |

1–В столбце табл.12 «Примечание» указывать пункт статей расходов

2.15 Смета производства

Смета производства – Эр (табл. 12) состоит из суммы основных и цеховых накладных расходов.

2.16 Определение цеховой себестоимости единицы ремонта

$$C_{\text{цех.}} = \frac{\text{ЭР}}{П_1 + П_2}. \quad (2.30)$$

2.17 Процент цеховых накладных расходов

$$n_{\text{Накл.}} = \frac{P_{\text{Цех.}} \times 100}{P_{\text{Зарп.Прозв.Раб.}}}. \quad (2.31)$$

Чем меньше цеховые накладные расходы, тем лучше (рекомендуется $80 \geq n_{\text{Накл.}} \leq 150$ %).

2.18 Определение оптовой цены единицы продукции по цеху

При программах по интерполяционному графику (построить):

$П1 + П2$ — 100 локомотивов $\rightarrow q = 46$ %;

$П1 + П2$ — 150 локомотивов $\rightarrow q = 48$ %;

$П1 + П2$ — 300 локомотивов $\rightarrow q = 57$ %,

где q – превышение оптовой цены над себестоимостью.

Тогда оптовая цена

$$Ц = (1 + q) \cdot C_{\text{Цех.}} \quad (2.32)$$

2.19 Плановая годовая прибыль цеха

Плановая годовая прибыль – разность между оптовой ценой и себестоимостью

$$П_{\text{План.Приб.}} = (Ц - C_{\text{Цех.}}) \cdot (П_1 + П_2). \quad (2.33)$$

2.20 Определение стоимости фондов цеха

Определение стоимости фондов цеха определяется по формуле:

$$\Phi_{\text{Цеха}} = \Phi_{\text{Осн.}} + \frac{Ц \cdot (П_1 + П_2)}{K}, \quad (2.34)$$

где K – коэффициент оборотных средств принимается 9;

$\Phi_{\text{Осн.}}$ – принимаем из табл. 8.

2.21 Определение выплаты за использование фондов цеха

Ежегодные отчисления составляют 6 % от стоимости фондов

$$B_{\text{Цеха}} = \frac{\Phi_{\text{Цеха}} \cdot K_0}{100}, \quad (2.35)$$

где $K_0 = 6$ – установочный коэффициент.

2.22 Определение рентабельности производства цеха

Определение рентабельности производства определяется по формуле:

$$R_{\text{Цеха}} = \frac{\Pi_{\text{Пл.Год}} - B_{\text{Цеха}}}{\Phi_{\text{Цеха}}} \cdot 100 \% \quad (2.36)$$

$R_{\text{Цеха}}$ — должна быть 20...40 %.

2.23 Определение выработки товарной продукции на одного работающего в цехе в год

$$T_P = \frac{\text{Ц} \cdot (\Pi_1 + \Pi_2)}{P_{\text{Раб.}}} \quad (2.37)$$

2.24 Выработка товарной продукции на один квадратный метр площади цеха

$$T_F = \frac{\text{Ц} \cdot (\Pi_1 + \Pi_2)}{F_{\text{Действ.Цеха}}} \quad (2.38)$$

Результаты расчетов сводятся в итоговую таблицу (табл. 13).

Таблица 13

Результаты расчётов

| № п/п | Наименование показателей | Обозначение | Единица измерения | Величина |
|-------|--|-----------------------------------|--------------------------|----------|
| 1 | Годовая программа | Π_1/Π_2 | шт. | |
| 2 | Годовой выпуск в итоговых ценах | $\text{Ц} \times (\Pi_1 + \Pi_2)$ | тыс. руб. | |
| 3 | Количество производственных рабочих | P | чел. | |
| 4 | Цеховая себестоимость | $C_{\text{цех}}$ | тыс. руб. | |
| 5 | Процент цеховых накладных расходов | $n_{\text{цех}}$ | % | |
| 6 | Рентабельность | $R_{\text{Цеха}}$ | % | |
| 7 | Выработка товарного продукта на одного рабочего | T_P | тыс. руб. | |
| 8 | Выработка товарной продукции на один квадратный метр площади | T_F | тыс. руб./м ³ | |

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключении указать:

1 Общую площадь локомотивосборочного цеха, что является реальным расчетом на заданную годовую программу ремонта локомотивов.

2 Рентабельность производства ремонта локомотивов спланированным цехом, это производство будет **рентабельным** или **не рентабельным**.

3 Накладные расходы, что является **оптимальным** или **не оптимальным** для такого производства.

4 Полученное количество рабочих вполне **соответствует** или **не соответствует** выполнению заданной годовой программы ремонта локомотивов в спланированном локомотивосборочном цехе ЛРЗ.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1 Организация производства и управление предприятием: учебник / под ред. О.Г. Туровца. – М.: ИНФРА-М, 2015.

2 Организация и планирование радиотехнического производства. Управление предприятием радиопромышленности: учебник для радиотехнических специальностей вузов / под ред. А.И. Кноля, Г.М. Лапшина. – М.: Высш. школа, 2014.

3 *Билибин Н.Ф., Улицкий М.П., Миротин А.Б.* Организация, планирование и управление автотранспортными предприятиями. – М.: Высш. школа, 2016. – 312 с.

4 *Малозёмов Н.А., Каплунов М.П.* Тепловозоремонтные предприятия. Организация, планирование и управление. – М.: Транспорт, 2015. – 295 с.

5 *Коротков В.М.* Организация производства на железнодорожном транспорте: учеб. пособие для подготовки по специальности «Подвижной состав железных дорог». – Ростов н/Д: РГУПС, 2017. – 112 с.

7 «ЛОКОМОТИВНОЕ ХОЗЯЙСТВО»

7.1 Методические указания к практическим занятиям и выполнению курсового проекта (курсовой работы)

Введение. Главная задача транспорта состоит в полном и своевременном удовлетворении потребности народного хозяйства и населения в перевозках, повышении эффективности и качества работы всех звеньев транспортной системы. В транспортной системе России одно из ведущих мест занимают железные дороги.

Обеспечение конкурентоспособности железнодорожного транспорта на рынках транспортных услуг должны развиваться по пути:

- расширение транспортных услуг;
- развитие скоростных перевозок;
- повышение безопасности перевозок пассажиров и грузов;
- увеличение провозной способности железнодорожных направлений.

Научно-технический прогресс на железнодорожном транспорте неразрывно связан с развитием локомотивного хозяйства, в котором сосредоточена почти восьмая часть общей стоимости основных фондов железных дорог.

Помимо локомотивов, локомотивное хозяйство имеет развитую ремонтную базу, оснащённую механизированным и автоматизированным ремонтным оборудованием, диагностирующими установками и систему механизированных и автоматизированных экипировочных устройств.

Важнейшей задачей локомотивного хозяйства является повышение эффективности перевозочного процесса – увеличение скорости движения.

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

ОРГАНИЗАЦИЯ ДЕПОВСКОГО РЕМОНТА ТЕПЛОВЗОВ

Современные принципы организации деповского ремонта тепловозов

Совершенствование технической культуры в локомотивных депо целесообразно проводить за счет внедрения индустриальной системы ремонта.

Опыт работ передовых локомотивных депо сети дорог показывает, что внедрение индустриальной системы ремонта позволяет сократить простой локомотивов в ремонте, повысить производительность труда, снизить себестоимость ремонта, увеличить объем готовой продукции с одних и тех же производительных площадей, улучшить условия труда и т.д.

Индустриальная система деповского ремонта локомотивов предусматривает: стогоую специализацию депо по роду выполняемой работы, концентрацию ремонта в технически хорошо оснащенных депо, специализированных по видам ремонта и серии локомотивов; концентрацию ремонта узлов и деталей в крупных специализированных цехах ограниченного числа локомотивных депо; внедрение крупно агрегатного поточного метода; широкое использование систем сетевого планирования и управления (СПУ); максимальную механизацию и автоматизацию производственных процессов; широкое применение конвейерно-источных линий; применение АСУ ремонтной деятельности депо.

Организация среднего ремонта СР в депо экономически целесообразно, если годовой пробег приписанного парка составляет не менее 20...25 млн лок-км.

Важным фактором улучшения использования производственных мощностей депо является кооперирование ремонтных предприятий.

В настоящее время в локомотивных депо сети дорог применяются два метода ремонта:

1 Стационарный метод, при котором ремонтные операции на локомотиве выполняются за время его простоя на одной ремонтной позиции.

2 Поточный метод, при котором ремонтные операции на локомотиве выполняются последовательно на специализированных ремонтных позициях путем перестановки ремонтируемого локомотива.

Более прогрессивным является крупноагрегатный поточный метод ремонта. При установленных в настоящее время нормах простоя в ремонте применение поточного метода целесообразно в том случае, если программа ремонта составляет не менее 1-й секции/сутки, для ТР-3 и ТР-2 2 тепловоза/сутки для ТР и 6 тепловозов/сутки для ТО-3. В ремонтных отделениях и участках депо при большой ремонтной программе следует применять работы и, в частности, механические «руки» для перемещения ремонтируемых деталей и агрегатов с позиции на позицию.

В проектируемом депо применяем стационарный метод ремонта узлов и агрегатов тепловоза. Производим ТР-3 и ТР-2 только грузовых локомотивов. В целях наилучшего использования ремонтных позиций ТР-3 и ТР-2 предварительные операции по подготовке к ремонту – обшивка, обдувка, разэкипировка – выполняются вне ремонтной секции так же, как испытание и экипировка (после ремонта).

Определение годовой программы ремонта

Годовой пробег тепловозов определяется по формуле:

$$\square MS_{л} = 365 \cdot \square 2L_{ij} \cdot N_{ij},$$

где L_{ij} – длина i -го участка для j -го вида движения, км;

N_{ij} – размеры движения на i -м участке для j -го вида движения, п.п.;

Годовая программа ремонта локомотивов в объеме КР (капитального ремонта планового):

$$M_p^{KP} = \frac{\sum MS_{л}}{L_p^{KP}} \text{ лок.}$$

Годовая программа ремонта локомотивов в объеме СР (среднего ремонта):

$$M_p^{CP} = \frac{\sum MS_{л}}{L_p^{CP}} - M_p^{KP} \text{ лок.}$$

Годовая программа ремонта локомотивов в объеме ТР-3:

$$M_p^{TP-3} = \frac{\sum MS_{л}}{L_p^{TP-3}} - M_p^{KP} - M_p^{CP} \text{ лок.}$$

Годовая программа ремонта локомотивов в объеме ТР-2:

$$M_p^{TP-2} = \frac{\sum MS_{л}}{L_p^{TP-2}} - M_p^{KP} - M_p^{CP} - M_p^{TP-3} \text{ лок.}$$

Годовая программа ремонта локомотивов в объеме ТР-1:

$$M_p^{TP-1} = \frac{\sum MS_l}{L_p^{TP-1}} - M_p^{KP} - M_p^{CP} - M_p^{TP-3} - M_p^{TP-2} \text{ лок.}$$

Годовая программа ремонта локомотивов в объеме ТО-3 (технического обслуживания):

$$M_p^{TO-3} = \frac{\sum MS_l}{L_p^{TO-3}} - M_p^{KP} - M_p^{CP} - M_p^{TP-3} - M_p^{TP-2} - M_p^{TP-1} \text{ лок.}$$

Таблица 1 – Средние для ОАО «РЖД» нормы периодичности технического обслуживания и ремонта тепловозов магистральных серий, использующихся в грузовом и пассажирском движении

| Серии | Техническое обслуживание | | Текущий ремонт, тыс. км | | | Средний ремонт СР. тыс. км | Капитальный ремонт КР. тыс. км |
|---|--------------------------|---------------|-------------------------|------|------|----------------------------|--------------------------------|
| | ТО-2, ч, не более | ТО-3, тыс. км | ТР-1 | ТР-2 | ТР-3 | | |
| Тепловозы типа ТЭ10 всех серий с дизель-генератором 10Д100; тепловозы типа М62 всех серий с дизель-генератором 14Д40; ТЭП60 | 72 | 10 | 50 | 150 | 300 | 600 | 1200 |
| Тепловозы типа ТЭ10 всех серий с дизель-генератором 1А-9ДГ; тепловозы типа М62 всех серий с дизель-генератором 5-26ДГ; 2ТЭ116 | 72 | 15 | 50 | 200 | 400 | 800 | 1600 |
| ТЭП70 | 48 | 15 | 50 | 200 | 400 | – | 1200 |
| ТГ6 | 72 | 10 | 55 | 120 | 240 | 480 | 960 |
| ТГ21, ТГ22 | 72 | 15 | 75 | 150 | 300 | 600 | 1200 |

Простой локомотива в часах на ремонтных позициях в депо выражается формулой:

$$t'_p = T_p - (t_{nod} + t_{ucn}), \text{ сутки}$$

где T_p – общее время простоя локомотива в соответствующем виде ремонта, сутки.

Для грузовых тепловозов 2ТЭ116: $T_{TP3} = 10$ суток; $T_{TP2} = 8$ суток;

t_{nod} – простой локомотива при подготовке его к ремонту, сутки. Принимаем

$t_{nod} = 0,1$ суток;

t_{ucn} – простой локомотива при испытаниях и при экипировке, сутки. Принимаем

$t_{ucn} = 0,3$ суток;

Таблица 2 – Средние для ОАО «РЖД» нормы периодичности технического

обслуживания и ремонта магистральных локомотивов, используемых в маневровой работе. В хозяйственном, вывозном и передаточном движении, а также маневровых тепловозов

| Серии | Техническое обслуживание | | Текущий ремонт, мес. | | | Средний ремонт СР. лет | Капитальный ремонт КР лет |
|--|--------------------------|------------|----------------------|------|------|------------------------|---------------------------|
| | ТО-2. ч, не более | ТО-3, сут. | ТР-1 | ТР-2 | ТР-3 | | |
| Магистральные локомотивы, используемые в маневровой работе, в хозяйственном, вывозном и передаточном движении | 72 | 28 | 6 | 12 | 36 | 6 | 12 |
| ЧМЭ3 всех индексов с дизель-генераторами К6S310DR или 1-ПДГ4В, ТЭМ2 всех индексов с дизель-генераторами ПДГ1М или 1-ПДГ4А, ТЭМ3, ТЭМ16, ТЭМ17, ТЭМ18 | 120 | 40 | 9 | 18 | 36 | 6 | 12 |
| ЧМЭ3 всех индексов с дизель-генератором 4-36ДГ, ТЭМ2 всех индексов с дизель-генератором 1-ПДГ4Д, ТЭМ7, ТЭМ7А | 120 | 40 | 12 | 24 | 48 | 8 | 16 |
| ТГМ7, 1ТМЦ, ТГМПА | 96 | 30 | 5 | 15 | 30 | 7.5 | 15 |
| ТГМ1, ТГМ3, ТГМ4Б, ТГМ23 всех индексов, ТГК2 | 100 | 20 | 6 | 12 | 24 | 4 | – |

Таблица 3 – Средние для ОАО «РЖД» нормы продолжительности технического обслуживания и ремонта тепловозов

| Серия локомотива | Техническое обслуживание ТО-3, ч | Текущий ремонт | | | Средний ремонт (СР), сут |
|---|----------------------------------|----------------|-----------|-----------|--------------------------|
| | | ТР-1, ч | ТР-2, сут | ТР-3, сут | |
| Магистральные тепловозы всех серий, ТЭМ7, ТЭМ7А | 12 | 36 | 4 | 6 | 6 |
| ЧМЭ3 и ТЭМ2 в/и, ТЭМ3, ТЭМ16, ТЭМ17, ТЭМ18, ТГМ7, ТГМ11, ТГМ11А | 12 | 24 | 3 | 6 | 6 |
| ТГМ1, ТГМ3, ТГМ4Б ТГМ23 в/и, ТГК2 | 5 | 24 | 8 | 16 | 20 |

Окраска кузова локомотива при текущем ремонте ТР-3 может производиться в третьей смене на специальной позиции, расположенной в ремонтной секции, при условии наличия электростатического поля и применения специальных ширм, или в специальной окрасочной секции.

В локомотивных депо эффективно применяются поточные линии по ремонту: дизелей, тележек, букс и колесных пар, тяговых электродвигателей, вспомогательных машин, кожухов зубчатой передачи, шатунно-поршневой группы, секций холодильников, воздушных фильтров, аккумуляторных батарей, электроаппаратов. Поточные линии эффективны, если они загружены не менее чем на 70...80 % своей расчетной производительности.

Используя техническую диагностику, можно заранее, до постановки локомотивов в тот или иной вид ремонта, без разборки агрегатов определить работоспособность и решить вопрос о необходимости их разборки и ремонта.

Расчет 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 ТР-3 и ТР-2 $T_{ц} = 253$ дня;

Принимаем число бригад, занятых на ТР-3 – 2 бригады, на ТР-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:

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

А ТР-3 и ТР-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 ТР-1, ТО-3, ТО-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:

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

где M_p^{zod} – годовая программа данного вида ремонт ТР или ТО тепловозов с учетом приема в ремонт локомотивов других депо;

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

Φ_{zod} – годовой фонд рабочего времени одного работника, ч;

Таблица 4 – 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 |
| ЧМЭ3 | 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 :

$$M_{\text{ТР}}^{zod} = M_{\text{тр}}^{\text{зр}} + \alpha_{\text{тр}}^{\text{насс}} \cdot M_{\text{тр}}^{\text{насс}} + \alpha_{\text{тр}}^{\text{М}} \cdot M_{\text{тр}}^{\text{М}}$$

$$M_{\text{то3}}^{zod} = M_{\text{то3}}^{\text{зр}} + \alpha_{\text{то3}}^{\text{насс}} \cdot M_{\text{то3}}^{\text{насс}} + \alpha_{\text{то3}}^{\text{М}} \cdot M_{\text{то3}}^{\text{М}}$$

где $\alpha_{\text{тр}}^{\text{насс}} = \frac{a_{\text{тр}}^{\text{насс}}}{a_{\text{тр}}^{\text{зр}}}$; $\alpha_{\text{тр}}^{\text{М}} = \frac{a_{\text{тр}}^{\text{М}}}{a_{\text{тр}}^{\text{зр}}}$; $\alpha_{\text{то3}}^{\text{насс}} = \frac{a_{\text{то3}}^{\text{насс}}}{a_{\text{то3}}^{\text{зр}}}$; $\alpha_{\text{то3}}^{\text{М}} = \frac{a_{\text{то3}}^{\text{М}}}{a_{\text{то3}}^{\text{зр}}}$;

ПРОЕКТИРУЕМОЕ ДЕПО С МАСТЕРСКИМИ

Выбор типа депо и расчет количества ремонтных позиций

Для производства текущих ремонтов и техобслуживания локомотивов, ремонта деталей, узлов и агрегатов, строятся локомотивные здания (депо) состоящие из секций, вмещающих ремонтные позиции и мастерские.

При проектировании депо должны быть выполнены следующие условия: размеры ремонтных секций должны позволять постановку локомотивов и передвижение их при ремонте, обеспечивать рабочее место для ремонта, свободный переход и проезд для электрокар и тележек; удобный ввод и вывод локомотивов в депо, хорошее освещение, как естественное так и искусственное; чистота воздуха, надлежащая вентиляция и комфортные условия на рабочих местах; удобное взаиморасположение позиций для ремонта и отделений депо и сообщение между ними, удобное размещение рабочих мест; возможность дальнейшего развития депо, соблюдение требований охраны труда, пожарной безопасности и гражданской обороны.

При установлении размеров депо следует исходить из условий возможности ремонта перспективных локомотивов.

В соответствии с производственными работами в проектируемом депо должны быть предусмотрены ремонтные позиции для: текущих ремонтов ТР-3, ТР-2, ТР-1; техобслуживаний ТО-3 и ТО-2; одиночной выкатки колесных пар с ТЭД; обточки бандажей без выкатки колесных пар (ТО-4); испытание локомотивов, окраски кузовов локомотивов.

Ремонтные позиции размещаются в ремонтных секциях. Проектируемое депо ступенчатого типа.

При стационарном методе ремонта, требуемое количество ремонтных позиций рассчитывается по формуле:

$$A = \frac{M_p^{zod} \cdot t_p'}{T_u} \cdot \varphi_i$$

где t_p' – время простоя локомотива на ремонтной позиции в соответствующем виде ТО или ТР, сутки;

φ_i – коэффициент, учитывающий неравномерность подхода локомотивов в ТО или ТР-1. Для ТР-3 и ТР-2 – $\varphi_i=1$; для ТР-1 – $\varphi_i=1,25$; для ТО-3 – $\varphi_i=1,25$;

Количество ремонтных позиций для обточки колесных пар без выкатки из-под локомотива (ТО-4) следует принимать из условий обточки всех колесных пар одного местного локомотива за смену и круглосуточной и круглосуточной работы станка КЖ20М:

$$A_{mo4} = \frac{M_{mo4}^{zod} \cdot m \cdot t_{mo4}}{T_u} \cdot \varphi_{mo4}$$

где m – коэффициент, просчитывающий количество секций тепловоза для 2ТЭ-116, $m = 2$;

t_{mo4} – время простоя тепловоза на ТО-4, сутки. Принимаем на основании вышесказанного $t_{mo4} = 0,33$ суток;

φ_{mo4} – коэффициент, учитывающий время простоя в ожидании обточки колесных пар. По данным стр. 22 [6] $\varphi_{mo4} = 1,35$;

Таблица 5 – Потребность АУР и ИТР тепловозного депо

| Должность | Количество человек |
|---|--------------------|
| 1. Аппарат депо | |
| Начальник депо | 1 |
| Заместитель начальника депо по ремонту | 1 |
| Заместитель начальника депо по эксплуатации | 1 |
| Главный инженер | 1 |
| Начальник отдела кадров | 1 |
| Инспектор по кадрам | 2 |
| Секретарь – машинистка | 1 |
| Курьер – уборщица | 1 |
| 2. Производственно-технический отдел | |
| Начальник отдела | 1 |
| Старший инспектор – технолог | 1 |
| Старший инженер – экономист | 1 |
| Инженер по оборудованию | 1 |
| Инженер по техобучению | 1 |
| Инженер по МТО | 1 |
| Техник | 1 |
| Начальник восстановительного поезда | 1 |
| 3. Бухгалтерия | |
| Главный бухгалтер | 1 |
| Старший бухгалтер | 2 |
| Бухгалтеры | 3 |
| Счетоводы | 3 |
| Кассиры | 2 |
| 4. Прочие работники | |
| Табельщики | 1 |
| Заведующий кладовой | 1 |
| Сторожа | 3 |
| Итого | 35 |

Устройство для обточка колесных пар размещаем в секции выкатки КМБ.

Количество позиций для реостатных испытаний тепловозов определяем в зависимости от годовой программы ремонта ТР-3 и ТР-2:

$$A_{p.u} = \frac{(M_{CP}^{год} \cdot t_{CP} + M_{ТР*}^{год} \cdot t_{ТР*})}{T_u} \cdot \varphi_{p.u}$$

где t_{CP} , t_{mp*} – норма продолжительности реостатных испытаний соответственно ТР-3 и ТР-2, ч. $t_{mp-3} = 7$ ч; $t_{mp-2} = 5$ ч;

$\varphi_{p.u}$ – коэффициент, учитывающий неравномерность постановки на реостатных испытаниях. $\varphi_{p.u} = 1,35$;

Принимаем 2 позиции т.е. одна позиция для плановых видов ремонта, другая для весенне-осенних комиссионных осмотров.

Позиции для реостатных испытаний устраиваются на открытых площадках. Чтобы уменьшить вредное воздействие шума, позиции располагают на расстоянии от жилых помещений и зданий, ограждаем позиции зелеными насаждениями.

Расчет числа ремонтных позиций для устранения внезапных отказов выполняется исходя из количества часов простоя на внеплановых ремонтах и условия круглосуточного функционирования этих позиций.

Расчеты на основании статистических данных, полученных на ряде железных дорог за последние 5 лет, по затрате часов на выполнение внезапных отказов ремонтов показывают, что на каждый миллион км пробега дополнительно требуется 0,2 ремонтные позиции для устранения внезапных отказов, 7,5 млн км пробега. Учитывая, что получаемое количество позиций округляется в большую сторону, рекомендуется принимать 4 ремонтных позиции для устранения внезапных отказов на 7,5 млн км годового пробега всех локомотивов, следовательно, принимаем 4 ремонтных позиции для устранения внезапных отказов.

Размеры зданий ремонтных секций и мастерских

Исходя из требований унификации объемно-планировочных решений принимаем следующие размеры:

1) Участок ТР-3: длина – 96 м; ширина – 30 м; высота до перекрытия – 12,6 м; расстояние от стены до оси крайнего пути и междупутья – $6 + 9 + 9 + 6$ м; грузоподъемностью кранов – 30/5 тс, 10 тс, число путей 3. Мастерские: длина 96 м, ширина – 12 м; высота до перекрытия – 7,2 м; грузоподъемность кранов – 0,3, 5, 10 тс.

2) Участок ТР-2: длина – 72 м, ширина – 24 м, высота до перекрытия – 10,8 м; расстояние от стены до оси главного пути и междупутья – $5 + 7 + 7 + 5$ м; грузоподъемность кранов – 10 тс; число путей – 3. Мастерские: длина – 72 м; ширина 12 м; высота до перекрытия 7,2 м; грузоподъемность кранов – 0,5; 1; 3 тс.

3) Участок ТР-1 и ТО-3: длина – 84 м; ширина – 24 м, высота до перекрытия – 10,8 м; расстояние от стены до оси крайнего пути и междупутья – $5 + 7 + 7 + 5$ м; грузоподъемность кранов – 2 тс; число путей – 6.

4) Участок одиночной выкатки КМБ: длина – 72 м; ширина – 18 м; высота до перекрытия – 10,8 м; расстояние от стены до оси крайнего пути и междупутья – $5 + 7 + 7 + 5$; грузоподъемность кран – 10 тс; число путей – 3.

Секции оснащаем площадками высотой до уровня пола кабины машиниста тепловоза, пол делаем пониженным, чтобы рельсы ремонтных позиций были на 0,5...0,6 м выше уровня пола, что создает удобства при осмотре и ремонте ходовой части. Это производим в секциях ТР-1 и ТО-3.

Для крыш ремонтных секций используются прозрачные стеклопластиковые покрытия, для лучшего освещения производственных площадей депо, также устанавливаем зенитные фонари.

Разбивку оконных проемов производим с соблюдением следующих размеров по ширине: в ремонтных секциях окно – 4 м, в мастерских окно – 2 м, простенок – 1 м. При этом расположение окон по фасадам симметрично друг друга.

Унификация размеров зданий ремонтных секций и мастерских позволяет значительно удешевить постройку. Кроме того, унификация упрощает переоборудование депо при увеличении ремонтной программы или перехода с одного вида тяги на другой, сводя его только к замене части технологического оборудования.

Основные размеры ремонтных участков принимаются из условия установки на ремонтных позициях наибольших по длине локомотивов, размещение поточных механи-

зированных ремонтных линий и позиций, необходимого оборудования, соблюдения проходов и проездов.

Согласно санитарным требованиям, минимальная высота производственных помещений должна быть не менее 3,2 м до низа перекрытия, а помещений складского хозяйства не менее 3 м. В новых зданиях высота помещений участков, технологически связанных между собой и расположенных в одном здании, делается одинаковой. При наличии в мастерских кранов высота помещений увеличивается.

Размеры зданий ремонтных секций проектируются с учетом их расширения на перспективу.

Взаимная планировка производственных и вспомогательных помещений депо

Планировка участков и отделений депо должна соответствовать принятым технологическим процессам ремонта локомотивов и отдельных узлов, нормам и правилам охраны труда и техники безопасности, пожарной безопасности, минимальной протяженности путей транспортировки агрегатов, узлов, деталей.

Отделение по ремонту крупных узлов (тележечное, электромагнитное, колесоточное, по ремонту дизелей) лучше размещать в непосредственной близости с участками ТР-3, а в некоторых случаях в общем пролете.

Для соблюдения пожарной безопасности, кузнечное, сварочное, термическое отделение размещают в одном блоке, изолированном от остальных помещений капитальными стенами. Такие отделения, как пропиточно-сушильное, гальваническое, аккумуляторное, ремонта секций холодильника и т. д. Отделяются стенами от других помещений. Все эти помещения расположены рядом, и для них проектируем общую вентиляцию.

Отделения, в которых производятся точные работы (ремонт топливной аппаратуры, электроаппаратное, контрольно измерительных приборов, Приборов безопасности, автостопов и поездной радиосвязи и др.), размещаем в отдельных изолированных помещениях с хорошим естественным освещением.

Отделение по ремонту секций холодильника размещаем вблизи с газосварочным отделением, так как основные работы по ремонту секций (приварка трубных решеток, коллекторов и др.) производят газовой сваркой.

Газогенераторную установку размещаем в изолированном помещении, имеющим отдельный выход наружу и легкое перекрытие. Кладовую запасных частей и материалов и инструментальную депо размещаем вблизи секций ТР-3 и ТР-2.

Для уменьшения потерь давления воздуха в воздушной системе компрессорное отделение располагаем в средней части депо.

Проектируя депо, предусматриваем возможность расширения помещений при увеличении ремонтной программы депо.

Ремонтные участки и отделения мастерских

При разработке технологических процессов ремонта узлов тепловоза должны быть учтены прогрессивные приемы ремонта из опыта передовых депо, механизация и автоматизация процессов, использования современных методов контроля и др.

Выбирая оборудование участков и отделений депо, ориентируемся на образцы новейших технологий: работы, механизированные кантователи, моечные и обмывочные установки, испытательные стенды и др.

Количество каждого вида оборудования по отделениям определяется объемом работы проектируемого депо.

Потребность в станках, необходимых для ремонта локомотивов и выполнения хозяйственных работ, определяется по формуле:

$$A_{ст} = \frac{M_{pi}^{год} \cdot a_i \cdot \alpha_i}{\Phi_{ст}}, \text{ станков}$$

где $M_{pi}^{год}$ – годовая программа i – го вида ремонта или обслуживания локомотивов;
 a_i – затраты чел. – час на станочные работы для единицы i – го вида ремонта;
 α_i – доля станочных работ данного вида ремонта от общих затрат станкочасов для i – го вида ремонта;
 $\Phi_{ст}$ – годовой фонд станочного времени, ч;
 Годовой фонд станочного времени определяется так:

$$\Phi_{ст} = \Phi_{яв} \cdot K \cdot \varphi_3, \text{ ч}$$

где $\Phi_{яв}$ – годовой фонд рабочего времени станочника (явочный), ч;
 K – число смен работы станочного оборудования. Принимаем $K = 2$;
 φ_3 – коэффициент загрузки станочного оборудования. Величина $\Phi_{яв}$ составляет 2030ч.

Потребность в станках (по видам) будет:

$$A_{ст}^{ток} = \frac{M_{ср}^{год} \cdot a_{ср} \cdot \alpha_{ср} + M_{тр*}^{год} \cdot a_{тр*} \cdot \alpha_{тр*} + M_{тр}^{год} \cdot a_{тр} \cdot \alpha_{тр} + M_{то3}^{год} \cdot a_{то3} \cdot \alpha_{то3}}{\Phi_{ст}^{ток}}, \text{ станков,}$$

$$A_{ст}^{фр} = \frac{M_{тр-3}^{год} \cdot a_{тр-3} \cdot \alpha_{тр-3} + M_{тр-2}^{год} \cdot a_{тр-2} \cdot \alpha_{тр-2}}{\Phi_{ст}^{фр}}, \text{ станков,}$$

$$A_{ст}^{шлиф} = \frac{M_{тр-3р}^{год} \cdot a_{тр-3р} \cdot \alpha_{тр-3р} + M_{тр-2}^{год} \cdot a_{тр-2} \cdot \alpha_{тр-2}}{\Phi_{ст}^{шлиф}}, \text{ станков,}$$

$$A_{ст}^{св} = \frac{M_{тр-3}^{год} \cdot a_{тр-3} \cdot \alpha_{тр-3} + M_{тр-2}^{год} \cdot a_{тр-2} \cdot \alpha_{тр-2} + M_{тр-1}^{год} \cdot a_{тр-1} \cdot \alpha_{тр-1} + M_{то-3}^{год} \cdot a_{то-3} \cdot \alpha_{то-3}}{\Phi_{ст}^{св}}, \text{ станков,}$$

$$A_{ст}^{строг} = \frac{M_{ср}^{год} \cdot a_{ср} \cdot \alpha_{ср} + M_{тр*}^{год} \cdot a_{тр*} \cdot \alpha_{тр*}}{\Phi_{ст}^{строг}}, \text{ станков,}$$

$$A_{ст}^{долб} = \frac{M_{ср}^{год} \cdot a_{ср} \cdot \alpha_{ср} + M_{тр*}^{год} \cdot a_{тр*} \cdot \alpha_{тр*}}{\Phi_{ст}^{долб}}, \text{ станков}$$

Определяем общее количество станков, необходимых для ремонтов тепловозов:

$$\sum_1^6 A_{ст} = A_{ст}^{ток} + A_{ст}^{фрез} + A_{ст}^{шлиф} + A_{ст}^{св} + A_{ст}^{строг} + A_{ст}^{долб}, \text{ станков,}$$

Для механического отделения, кроме того, принимаются без расчёта заточной станок и разметочная плита. Тогда площадь механического отделения определяется так:

$$S_{мех} = \left(\sum_1^i A_{ст} + 2 \right) \cdot S_H, \text{ м}^2$$

где S_H – норма площади на единицу оборудования, м^2 . $S_H = 19 \text{ м}^2$;

| № п/п | Наименование помещений | Коли – че- ство | Площадь, м ² |
|----------|--|-----------------------|----------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | Кладовая запчастей и материалов | 1 | 720 |
| 2 | Инструментальное отделение | 1 | 132 |
| 3 | Ремонтно – хозяйственное отделение | 1 | 84 |
| 4 | Слесарно – заготовительное отделение | 1 | 100 |
| 5 | Столярное и малярное отделение | 1 | 105 |
| 6 | Полимерное отделение | 1 | 230 |
| 7 | Медницко – жестяничное отделение | 1 | 105 |
| 8 | Монтажное отделение ремонта букс и роликовых подшипников | 1 | 65 |
| 9 | Отделение комплектовки роликов | 1 | 65 |
| 10 | Отделение ремонта автотормозов | 1 | 100 |
| 11 | Отделение очистки и ремонта фильтров | 1 | 84 |
| 12 | Шерстемоечное отделение | 1 | 32 |
| 13 | Пропиточно – сушильное отделение | 1 | 110 |
| 14 | Отделение ремонта электромашин | 1 | 500 |
| 15 | Испытательная станция электромашин | 1 | 70 |
| 16 | Колесо – токарное отделение | 1 | 275 |
| 17 | Компрессорное | 1 | 70 |
| 18 | Отделение ремонта дизеля и вспомогательных агрегатов | 1 | 630 |
| 19 | Гальваническое отделение | 1 | 140 |
| 20 | Помещение для моечной машины колёсных пар | 1 | 140 |
| 21 | Термическое отделение | 1 | 7 |
| 22 | Кузнечное отделение | 1 | 110 |
| 23 | Сварочное отделение | 1 | 70 |
| 24 | Газогенераторное отделение | 1 | 12 |
| 25 | Отделение ремонта секций холодильника | 1 | 140 |
| 26 | Отделение ремонта аккумуляторных батарей | 1 | 180 |
| 27 | Отделение ремонта топливной аппаратуры | 1 | 140 |
| 28 | Механическое отделение | 1 | 324 |
| 29 | Отделение ремонта электроаппаратуры | 1 | 85 |
| 30 | Отделение ремонта КИП и скоростемеров | 1 | 70 |
| 31 | Отделение ремонта АЛСН, автостопа и поездной радиосвязи | 1 | 35 |
| 32 | Выварочное отделение | 1 | 35 |
| 33 | Помещение для мастеров ТР* и СР | 2 | 40 |
| 34 | Заместитель начальника депо по ремонту | 1 | 40 |
| 35 | Инженер по технике безопасности | 1 | 20 |
| 36 | Технолог | 1 | 55 |
| 37 | Главный механик | 1 | 30 |
| 38 | Приёмщики МПС | 1 | 40 |
| 39 | Помещение для мастеров ТР и ТО-3 | 2 | 40 |
| 40 | Отдел главного технолога | 1 | 40 |
| 41 | Кабинет производственного обучения | 1 | 70 |
| 42 | Табельное | 1 | 20 |
| 43 | Починочное | 1 | 40 |

Расчёт бытовых помещений

Бытовые помещения депо размещаются в 3-этажном здании, примыкающим к секции одиночной выкатки КМБ. При расчёте бытовых помещений учитываем требования производственной эстетики и охраны труда. При расчёте бытовых помещений принимаем 25 % женщин от общего количества рабочих и служащих.

Расчёт ведём для работающих в наиболее многочисленной смене, их количество определяем по формуле:

$$K = \frac{P_{\text{яв}}^{\text{ТР-3}} + P_{\text{яв}}^{\text{ТР-2}}}{2} + \frac{P_{\text{яв}}^{\text{ТР-1}} + P_{\text{яв}}^{\text{ТО-3}}}{4}, \text{ чел}$$

где $P_{\text{яв}}^{\text{ТР-3}}$, $P_{\text{яв}}^{\text{ТР-2}}$, $P_{\text{яв}}^{\text{ТР-1}}$, $P_{\text{яв}}^{\text{ТО-3}}$ – явочный контингент в цехах ТР-3, ТР-2, ТР-1, ТО-3, чел.;

2 – количество смен в цехах ТР-3 и ТР-2,

4 – количество смен в цехах ТР-1, ТО-3;

$$K = \frac{P_{\text{яв}}^{\text{ТР-3}} + P_{\text{яв}}^{\text{ТР-2}}}{2} + \frac{P_{\text{яв}}^{\text{ТР-1}} + P_{\text{яв}}^{\text{ТО-3}}}{4}, \text{ чел}$$

Расчёт бытовых помещений сводим в таблицу 7.

Таблица 7. Расчёт площадей бытовых помещений.

| Наименование помещения | Измеритель | Норма площади, м ² | Технические нормативы | Кол – во измерителей | Площадь помещений, м ² |
|------------------------|---------------|-------------------------------|---|----------------------|-----------------------------------|
| Гардероб мужской | 1 произ.раб. | 0,5 | - | | |
| Гардероб женский | 1 произ.раб. | 0,5 | - | | |
| Душевые мужские | кабина | 1,7 | 1душ.сетка на 7ч. | | |
| Душевая женская | кабина | 1,7 | 1душ.сетка на бч. | | |
| Раздевалка мужская | 1 душ.сетка | 0,64 | - | | |
| Раздевалка женская | 1 душ.сетка | 0,64 | - | | |
| Умывальник мужской | 1 кран | 1,0 | 1 кран на 10 чел. | | |
| Умывальник женский | 1 кран | 0,9 | 1 кран на 10 чел. | | |
| Туалет мужской | 1 сан. прибор | 2,8 | 1 санприбор на 15ч | | |
| Туалет женский | 1 сан. прибор | 2,16 | 1 санприбор на 15ч | | |
| Комната гигиены | комната | 4,5...6,0 | При кол. раб. жен. 15...100 | | |
| Комната приёма пищи | 1 посетитель | 1,0 | - | | |
| Здравпункт | | 80...100 | При спис. работ. 300 и более | | |
| Зал собраний | 1 посетитель | 0,9 | На 30 % наиболее многочисленной смены | | |
| Красный уголок | 1 посетитель | 36 | При кол. работ. в наиболее многочисленной смене | | |

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»)

8.1 Методические указания к практическим занятиям

1 Локальные и глобальные компьютерные сети. Использование компьютерных сетей на железнодорожном транспорте

Компьютерная сеть – это совокупность компьютеров и различных устройств, обеспечивающих информационный обмен в сети без использования каких-либо промежуточных носителей информации.

По территориальной распространенности сети обычно разделяют на локальные и глобальные.

Локальные компьютерные сети. Локальная сеть (*LAN – Local Area Network*) обычно объединяет компьютеры, установленные в одном помещении (например, компьютерный класс, состоящий из нескольких компьютеров) или в одном здании.

Компьютеры локальной сети могут быть либо равноправными (каждый пользователь сам определяет доступность ресурсов своего компьютера), либо объединенными в домены под управлением специального компьютера – **сервера**. Серверы позволяют определять и настраивать права и ограничения для пользователей, а также доступность тех или иных ресурсов компьютеров данного домена. На сервере могут быть установлены программы и приложения, необходимые для работы других компьютеров сети.

Для обеспечения совместного доступа к информации пользователям, находящимся на значительном удалении, организуют **региональные сети**, объединяющие компьютеры в пределах одного региона (города, страны, континента).

Существуют также **корпоративные** компьютерные сети, объединяющие компьютеры какой-либо организации. Они обеспечивают доступ к ресурсам и информации внутри сети по заданным правилам, а также защиту информации от несанкционированного доступа.

Глобальная компьютерная сеть. Глобальная компьютерная сеть (*WAN – Wide Area Network*) охватывает большие территории и включает в себя большое число компьютеров. Она служит для объединения разрозненных сетей так, чтобы пользователи и компьютеры, где бы они ни находились, могли взаимодействовать со всеми остальными участниками глобальной сети.

Глобальные сети отличаются от локальных тем, что рассчитаны на неограниченное число абонентов и используют, как правило, качественные каналы связи и высокую скорость передачи. Самой распространенной глобальной сетью является Интернет (англ. Internet от лат. inter – между и англ. net – сеть, паутина) – всемирная система объединённых компьютерных сетей для хранения и передачи информации. Работа этой сети построена на базе протоколов TCP/IP (Transmission Control Protocol – TCP, и Internet Protocol – IP). Для связи с компьютером в сети используются два равноценных формата адресов, которые различаются лишь по своей форме: IP-адрес и DNS-адрес (DNS – Domain Name System, доменная система имен).

Корпоративные компьютерные сети ОАО «РЖД». В процессе развития информатизации железнодорожного транспорта была создана автоматизированная система

управления железнодорожным транспортом (АСУЖТ), предназначенная для управления процессами перевозок и работой подразделений и линейных предприятий.

АСУЖТ построена на базе единой сети вычислительных центров ОАО «РЖД» (рис. 1). Для высшего уровня создан Главный вычислительный центр (ГВЦ), где решаются задачи управления в масштабе сети железных дорог с уточнением заданий по дорогам. На дорогах (средний уровень) – действуют информационно-вычислительные центры (ИВЦ), которые решают вопросы планирования и управления в пределах железной дороги. Все центры связаны между собой прямыми каналами связи, обеспечивающими качественную передачу информации с высокой скоростью. На уровне линейных предприятий, а также локальных автоматизированных систем, ограниченных территорией станций и узлов, создаются локальные вычислительные сети (ЛВС), выполняемые на базе персональных ЭВМ и стандартного сетевого оборудования.



Рис. 1. Информационная структура АСУЖТ

2 Кодирование объектов в АСУЖТ

На железнодорожном транспорте используют кодирование всех объектов с помощью специальных цифровых кодов, представляющих цепочки цифр. Это необходимо для обеспечения электронной обработки информации об объектах и обмена ей между подсистемами АСУЖТ.

Код объекта содержит информацию о его типе (тип и серия локомотива, тип вагона и т.д.), либо позволяет однозначно идентифицировать его среди других аналогичных объектов (железнодорожные станции).

Коды подвижного состава распределяются в соответствии со специальными классификаторами.

Коды станций присваиваются в соответствии с Единой сетевой разметкой (ЕСР), созданной для унификации перевозочных документов.

В кодах станций АСУЖТ основной код ЕСР состоит из пяти цифр и дополняется контрольной цифрой. Код построен по принципу:

NNYYZK,

где NN – номер сетевого района;

YY – порядковый номер станции в данном сетевом районе;

Z – дополнительная цифра;

K – контрольная цифра.

Номер сетевого района. Вся железнодорожная сеть стран СНГ и Балтии разбита на 99 районов по сплошной нумерации. Нумерация районов возрастает с запада на восток.

Порядковый номер станции. За каждым участком дороги, входящим в район, закрепляется ряд номеров. Станции на участках нумеруют, как правило, по возрастанию в чётном направлении.

Номер вагона кодируется цепочкой из восьми цифр: первые семь цифр составляют основной код, а восьмая цифра – контрольное число.

Номер вагона характеризует существенные для эксплуатационной работы технические и коммерческие характеристики вагона с использованием Системы нумерации вагонов грузового парка РЖД. Первая цифра номера определяет род вагона, вторая цифра – осьность и основную характеристику, третья цифра – дополнительную характеристику и т.д.

Наименование груза кодируется в АСУЖТ шестизначным цифровым кодом: две первые цифры кода – тарифная группа груза; третья цифра – номер позиции в тарифной группе; четвертая и пятая цифры – порядковый номер груза в тарифной позиции.

Серия локомотива кодируется трехзначными кодами в соответствии с классификатором.

Поезда кодируются четырехзначным числом (грузовые, пригородные) или трехзначным (пассажирские) в зависимости от типа и без контрольного знака.

Для поддержания информационной модели АСОУП необходимо полное отражение всех происходящих процессов. Это достигается путем ввода специальных сообщений, каждое из которых соответствует одной определенной операции. Изначально все сообщения имеют стандартную структуру и состоят из блоков, представляющих собой записи с поименованными полями, которые содержат цифровые или алфавитные коды.

Все сообщения подразделяются на информационные сообщения, запросы и корректировочные сообщения. Началом сообщения является комбинация символов «(:», концом сообщения является комбинация символов «:»).

Первый блок во всех сообщениях служебный, все остальные блоки информационные. Как правило, первое поле в служебном блоке содержит код сообщения, определяющий правила обработки сообщения в ЭВМ.

Основными информационными сообщениями об операциях с поездами являются:

с. 200 – сообщение об отправлении поезда;

с. 201 – сообщение о прибытии поезда;

с. 202 – сообщение о проследовании поезда через станцию без остановки поезда;

с. 203 – сообщение о расформировании поезда;

с. 204 – сообщение о временной остановке поезда;

с. 205 – сообщение о готовности поезда к отправлению;

с. 206 – сообщение об операциях с пассажирскими поездами;

с. 208 – сообщение об объединении, разъединении грузовых поездов;

с. 209 – сообщение об изменении индекса поезда.

Также используются сообщения:

02 – телеграмма-натурный лист (ТГНЛ);

09 – корректировка данных ТГНЛ;

555 – изменение сведений о вагоне;

и прочие.

Телеграмма-натурный лист поезда включает всю информацию о составе поезда. ТГНЛ передается сообщением 02 до отправления поезда на каждый сформированный состав.

Структура сообщения 02 состоит из служебного блока (сведения о поезде в целом) (рис. 2) и информационных блоков (сведения о каждом вагоне поезда) (рис. 3).

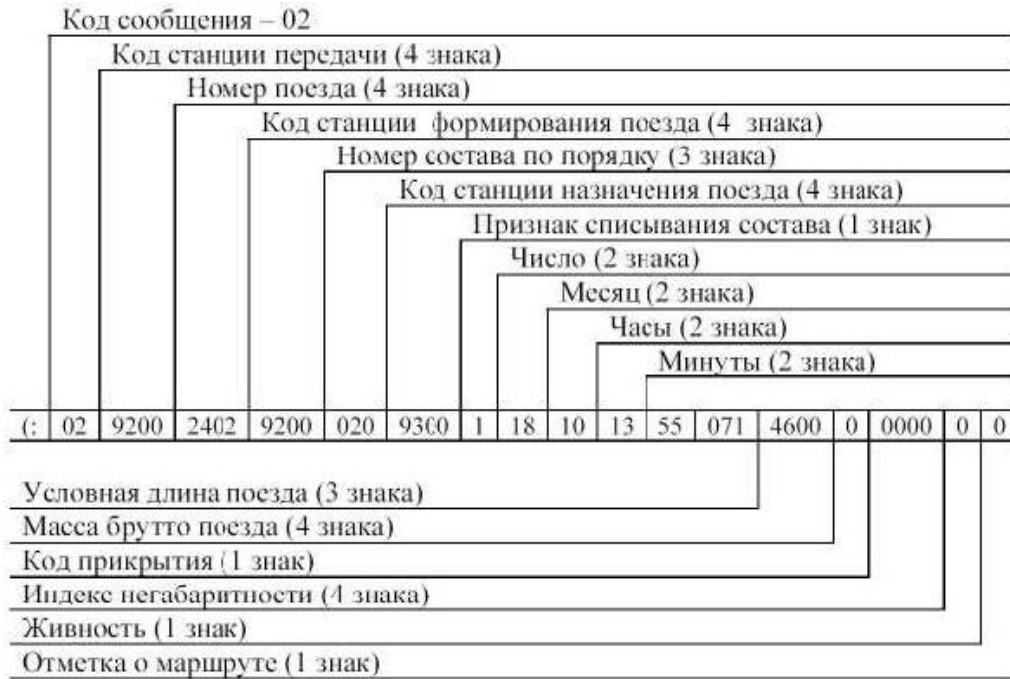


Рис. 2. Структура служебного блока



Рис. 3. Структура информационного блока

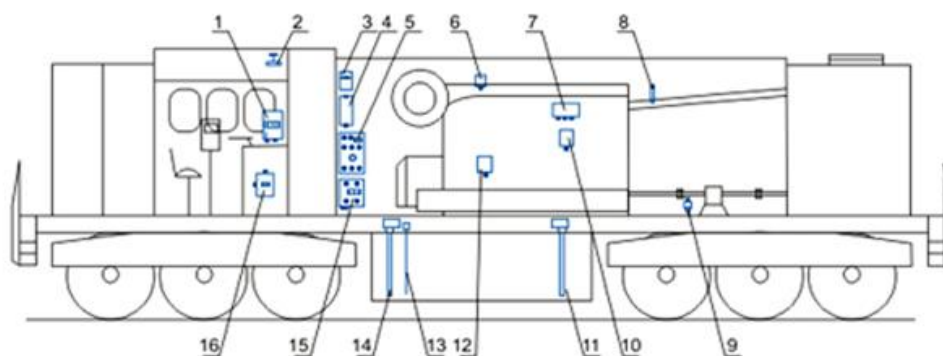
3 Локомотивные комплексы «Борт» и «РПРТ»

Аппаратно-программный комплекс АПК «Борт» был разработан ОАО «НИИТКД» г. Омск в 2008 году. Основной задачей системы является регистрация и хранение параметров работы тепловозов с последующим анализом накопленных данных. Комплекс позволяет:

- выявить несанкционированные сливы топлива;
- оценить состояние систем тепловоза как в режиме реального времени, так и при анализе накопленных данных;
- объективно нормировать расход топлива;
- отслеживать пробег тепловоза, горячего простоя, заглушенного состояния, работы тягового генератора.

АПК «Борт» предназначен для диагностирования и контроля теплотехнических состояний дизель-генераторных установок (ДГУ) маневровых тепловозов серии ЧМЭЗ, ЧМЭЗТ, ЧМЭЗЭ, ТЭМ2, ТЭМ2А, ТЭМ2К, ТЭМ2АК, ТЭМ2У, ТЭМ2М, ТЭМ2УМ, ТЭМ1, ТЭМ18, ТЭМ18Д, ТЭМ3, 2ТЭ10М (У), 3ТЭ10М-К, ТЭ10.

Состав оборудования АПК «Борт» приведен на рис. 4.



- | | |
|--|---|
| 1 - блок индикаторный; | 10 - датчик давления топлива; |
| 2 - приемная антенна системы GPS; | 11 - датчик уровня топлива правый; |
| 3 - высоковольтный делитель напряжения; | 12 - датчик давления масла; |
| 4 - датчик мощности; | 13 - датчик воды и температуры топлива; |
| 5 - кросс-блок; | 14 - датчик уровня топлива левый; |
| 6 - датчик турбонаддува; | 15 - блок питания импульсный; |
| 7 - распределительный модуль; | 16 - датчик контроллера машиниста. |
| 8 - датчик температуры контура охлаждения; | |
| 9 - датчик оборотов дизеля; | |

Рис. 4. Состав оборудования АПК «Борт»

Основные функции АПК «Борт»:

- непрерывный контроль технического состояния ДГУ;
- автоматический контроль расхода топлива при эксплуатации тепловоза и топлива, используемого системами подогрева дизеля. Определение несанкционированных его сливов;
 - создание статистической базы для формирования информации о расходе топлива на тягу поездов для конкретной подвижной единицы с учетом условий эксплуатации;
 - дублирование штатных бортовых систем контроля температуры контура охлаждения воды и масла, давления топлива и масла, оборотов дизеля и т.д.;
 - отображение на индикаторном табло измеряемых параметров;
 - получение в автоматическом режиме значения плотности дизельного топлива в момент экипировки при условии, что пункт экипировки оборудован постом контроля плотности, вязкости и температуры топлива.

– запись параметров в масштабе времени в энергонезависимое устройство памяти (карточку состояния локомотива или личную карточку машиниста) для их дальнейшей передачи на сервер в базу данных и/или по радиоканалу на тот же сервер, либо передачу параметров в режиме реального времени по радиоканалу на сервер.

Обработка информации осуществляется с помощью программного комплекса «KONTROL» (рис. 5).

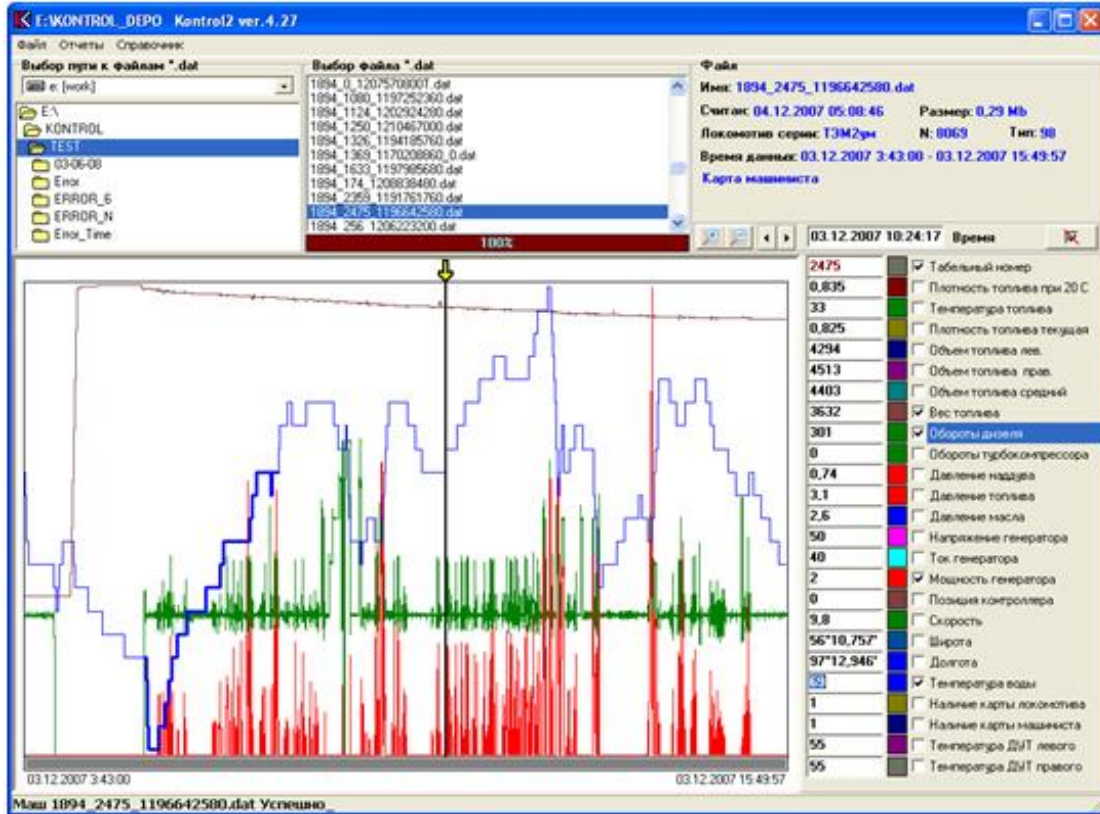


Рис. 5. Окно программного комплекса KONTROL

Регистратор параметров работы тепловоза РПРТ (регистратор параметров движения и автоведения РПДА-Т). Автоматизированная система учета, контроля и анализа расхода дизельного топлива тепловозами, получившая название регистратор параметров работы тепловоза (РПРТ) является совместной разработкой ЗАО «ОЦВ» и ВНИИЖТа. Регистратор предназначен для установки на маневровые тепловозы ЧМЭЗ. Однако он может применяться на всех тепловозах с доработкой документации по установке на конкретной серии и программного обеспечения по расшифровке регистрируемых параметров.

Регистраторы параметров работы тепловоза РПРТ измеряют:

- уровень и плотность топлива в топливном баке тепловоза;
- число импульсов датчика пути и скорости;
- силу тока и напряжение тягового генератора;

Вычисляют:

- массу и объём топлива;
- скорость и пройденный путь;
- время работы – полное и под нагрузкой;
- расход топлива на единицу выработанной энергии.

Подсистема аппаратных средств РПРТ на борту тепловоза включает (рис. 6):

- бортовой регистратор маневрового тепловоза РП-МТ;
- система измерения параметров топлива СИТ;

- комплект датчика угловых перемещений ДПС, включающий датчик-измеритель углового перемещения ДИУП и блок источника питания БИП.

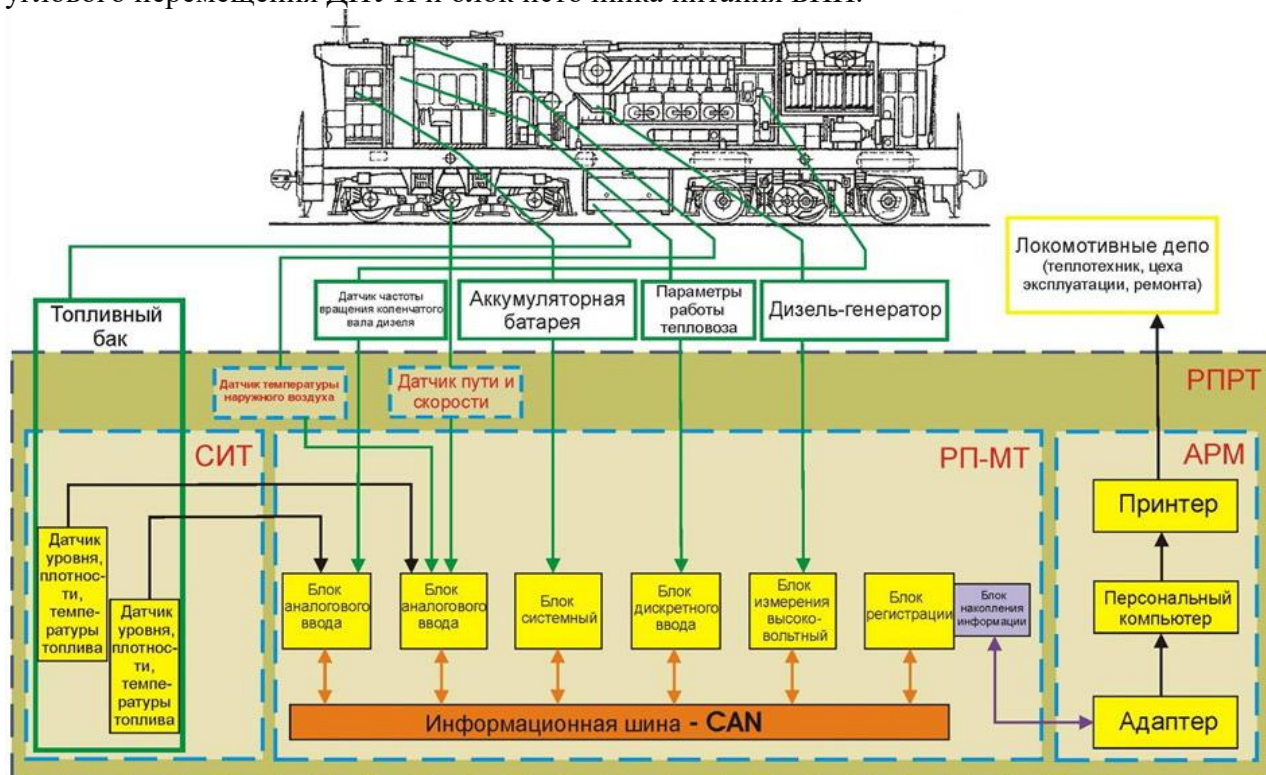


Рис. 6. Структура системы РПРТ

Подсистема аппаратных средств РПРТ в локомотивном депо (АРМ) включает автоматизированное рабочее место АРМ РПРТ с пакетом прикладных программ.

Система позволяет:

- достигнуть снижения до 5 % расхода дизельного топлива и производить корректировку норм за счет автоматизированного процесса регистрации массы топлива в баке, проведения анализа по использованию и загруженности локомотивов на участках работы, оценки их технического и теплотехнического состояния, регистрации ряда параметров;

- регистрировать случаи несанкционированного расхода дизельного топлива;
- формировать отчетные формы для ремонтного цеха, позволяющие дать оценку работы ДГУ тепловоза по тяговой характеристике и систем управления тепловоза.

4 Электронный маршрут машиниста (ЭММ)

Маршрут машиниста (ММ) представляет собой комплексный информационный документ, который отражает результаты работы локомотивов и локомотивных бригад. База данных, создаваемая в результате обработки ММ – основной и комплексный источник информации о работе депо. Обработка ММ непосредственно связана с расчетом заработной платы локомотивных бригад.

Изначально ММ существовал в виде маршрутного листа машиниста на бумажном носителе, который впоследствии обрабатывался группой учета локомотивного депо. С появлением и развитием АРМ в начале 2000-х годов данные ММ стали переносить в электронный вид – появилась система интегрированной обработки маршрута машиниста ИОММ, позволившая начать переход к безбумажным технологиям ведения ММ.

Однако, большое количество информации вводилось операторами группы учета вручную, что влекло за собой высокую вероятность ошибок, потребность в большом количестве времени на обработку данных, а наличие скоростемерных лент и необходимость их расшифровки в ручном режиме не позволяла автоматизировать процесс обработки ММ полностью и достоверно учитывать расход энергоресурсов.

С развитием информационных технологий, появлением устройств электронной регистрации параметров локомотива, заменой скоростемерных лент на электронные накопители в виде съемных картриджей появилась возможность создания электронного маршрута машиниста.

Электронный маршрут машиниста (ЭММ) создается как часть автоматизированной системы управления локомотивным хозяйством ОАО «РЖД» (АСУТ) и предназначен для перехода на безбумажную технологию учета эксплуатационной работы локомотивного хозяйства, повышения достоверности и оперативности информации об исполненной эксплуатационной работе железных дорог.

Процедура формирования электронного маршрута машиниста во многом аналогична процедуре последовательного заполнения бумажного маршрута машиниста. Однако, при формировании ЭММ соответствующие разделы маршрута заполняются в автоматизированном режиме в результате работы АРМ АСУТ цеха эксплуатации депо, регионального комплекса АСУТ-Т и АРМ станции.

Все операции по простановке подписи на бумажном носителе заменяются электронной цифровой подписью (ЭЦП). Все сертификаты ЭЦП сотрудников локомотивного депо хранятся на персональных картах доступа.

Формирование электронного маршрута машиниста по данным, записанным на картридж, осуществляется по следующей технологии.

Локомотивная бригада получает картридж при явке на работу у дежурного по депо или нарядчика локомотивных бригад, проходит медицинский контроль и инструктаж. Отметка о прохождении инструктажа и медицинского контроля передается в АРМ ТЧД и хранится в базе данных локомотивного депо до окончания поездки и начала таксировки маршрута машиниста.

Картридж выдается локомотивной бригаде (машинисту) на весь рабочий маршрут (рейс). При ведении поезда регистрируются все основные показатели. По окончании работы машинист сдает модуль памяти с записанной в нем информацией дежурному по депо или нарядчику локомотивных бригад, которые передают картриджи по месту их расшифровки.

Для формирования ЭММ используется следующая информация:

- номер поезда;
- дата поездки;
- маска ТПС с указанием бортового номера;
- пройденный путь в функции времени;
- текущее астрономическое время;
- расход электроэнергии (топлива) с нарастающим итогом;
- диаметр колеса (бандажа) локомотива;
- номер поезда-участка;
- отклонение от графика движения;
- текущие координаты пути.

5 Система автоведения магистральных тепловозов УСАВП-Т

Система УСАВП-Т предназначена для автоматизированного управления режимом тяги и всеми видами торможения магистральных пассажирских тепловозов. Система обеспечивает движение поезда по расчетной оптимальной траектории, выполняя график движения на заданном участке, с соблюдением установленных ограничений скорости движения и осуществляя снижение скорости по сигналам АЛСН.

Интегрированная в УСАВП-Т подсистема регистрации параметров движения магистрального тепловоза (РПДА-ТМ) обеспечивает сбор, обработку, регистрацию данных о расходе топлива, работе тепловоза, местоположении на съемный носитель, а также их передачу по радиоканалу с использованием пакетной передачи данных.

Основные функции УСАВП-Т:

- расчет рационального по расходу топлива режима ведения поезда, исходя из предусмотренного графиком движения и заданного машинистом режима исполнения расписания;

- определение фактической скорости движения;

- расчет времени, оставшегося до контрольной станции;

- сравнение фактической скорости движения с расчетной и определение необходимой скорости движения поезда для выполнения расчетного времени хода, в том числе на участках приближения к светофору с сигналом, требующим снижения скорости и при подъезде к местам ограничения скорости;

- выбор тяговой позиции тепловоза в зависимости от расчетной величины скорости;

- расчет координат пути и местоположения поезда;

- запись на сменный картридж параметров движения и управления, как при автоматизированном, так и при ручном режимах управления тепловозом;

- разгон поезда до расчетной скорости;

- поддержание движения с расчетной скоростью;

- остановку поезда с применением служебного торможения при запрещающих показаниях локомотивного светофора, а также проследование поезда со скоростью, установленной для данного места или сигнала;

- обработку сигнала боксования колесных пар локомотива, снижая тягу при боксовании с одновременной импульсной подачей песка и восстанавливая позицию тяги после прекращения боксования;

Система информирует машиниста о следующих параметрах:

- значения расчетной скорости с точностью ± 1 км/ч;

- значения фактической скорости поезда, с точностью ± 1 км/ч; время хода, оставшееся до контрольной станции, с точностью ± 10 с;

- оставшемся расстоянии до контрольной станции, с точностью 100 м (1 пикет);

- значения скорости и координаты начала ближайшего временного ограничения скорости с точностью индикации 100 м;

- позиции контроллера машиниста в режиме тяги или ЭДТ или о состоянии тормоза в режимах ЭПТ или ПН торможения и отпуска с указанием типа основного тормоза (ЭПТ, ПН или ЭДТ).

Дополнительно машинист получает следующую информацию о:

- астрономическом времени с дискретностью 1 с;

- номере и названии перегона, на котором находится поезд;

- диаметре обода колеса (бандажа) колесной пары, на которой установлен датчик ДПС;

- координате местонахождения поезда (км, пикет);

- максимально разрешенной позиции тяги;

- отклонении от расписания.

Открытая архитектура УСАВП-Т и единая информационная шина позволила расширить функциональные возможности путем добавления функциональных подсистем – беспроводной передачи данных – GPRS, спутниковой навигации.

УСАВП-Т позволяет кроме автоматизированного управления движением поезда, производить регистрацию параметров движения и автоведения, осуществлять запись информации о режимах работы тепловоза, в том числе о расходе топлива, что дает возможность выполнять анализ состояния дизель-генераторной установки (ДГУ).

6 Автоматизация процесса технического обслуживания локомотивов

Автоматизированная система учёта и контроля обслуживания и ремонта локомотивов на ПТОЛ (АСУ ПТОЛ) предназначена для оптимальной организации и последующего контроля технологического процесса обслуживания и ремонта локомотивов на ПТОЛ в объёме ТО-2 с целью сокращения продолжительности их обслуживания с сохранением качества выполнения работ. Это позволит повысить производительность локомотивов, сократить время простоя вагонов в ожидании локомотивов, повысить доходность и показатели дорог.

В рамках системы АСУ ПТОЛ пункты технического обслуживания локомотивов оборудуются:

- системой автоматической идентификации подвижного состава САИ ПС для автоматизированной регистрации начала и окончания технического обслуживания локомотивов;
- аппаратно-программными комплексами «АРМ Мастера ПТОЛ» формирования мастером табеля и сменного задания для слесарей и дальнейшего мониторинга хода ремонта локомотивов и статистических показателей по работе персонала;
- устройствами контроля доступа «ПКД ТП» для регистрации слесарями отметки о прибытии на работу и завершении рабочего дня;
- цеховыми терминалами «ИРС ПТОЛ» для регистрации мастером постановки локомотивов на позиции, а слесарями – отметок о выполнении назначенных операций и результатов замеров параметров ТПС;
- эстакадными рабочими станциями «ЦПК ТП» для оперативной регистрации слесарями отметок о выполнении назначенных мастером операций;
- цеховыми плазменными панелями «ЦВИ ТП» для визуализации выполнения сетевого графика ремонта по каждой тяговой единице, включая графическое отображение времени перепростоя локомотива в ремонте и индикацию задержек сотрудников при выполнении назначенных им операций.

Для наиболее полного охвата процесса обслуживания АСУ ПТОЛ должна дополняться автоматизированной электронной системой учёта расхода и пополнения запасных частей и материалов (АСУ «Склад ПТОЛ») и автоматизированной системой видеонаблюдения для ПТОЛ.

АСУ ПТОЛ позволяет осуществить:

- контроль прохождения технологического процесса экипировки, обслуживания и ремонта по каждому локомотиву;
- контроль выполнения всех необходимых работ технологического процесса каждым работником, по каждому локомотиву;
- оптимизацию технологического процесса экипировки, обслуживания и ремонта по каждому локомотиву;
- формирование и сохранение баз данных по экипировке, обслуживанию и ремонту каждого локомотива с возможностью контроля изменения состояния локомотива от ТО-2 до следующего ТО-2 для последующего анализа;
- формирование исходных данных по расходу запасных частей, дизельного топлива, смазочных материалов, воды и песка для АСУ «Склад ПТОЛ»;

- переход на качественно новый, электронный уровень управления и контроля технологическими процессами на ПТОЛ.

С помощью АСУ ПТОЛ формируются сетевые графики по экипировке, обслуживанию и ремонту локомотивов в условиях ПТОЛ, на настенный монитор работников ПТОЛ выводятся графики выполнения работ для каждого работника с указанием времени начала и окончания выполнения работ.

Таким образом, каждому работнику будет понятно какой объём работ и в какие сроки он должен выполнить.

Далее работник должен будет произвести отметку о начале выполнения своего объёма работ, для чего ему будет достаточно на доли секунд приложить персональную электронную карту к считывающему окну любого, расположенного в непосредственной близости к обслуживаемому локомотиву электронного терминала АСУ ПТОЛ. После этого в сетевом графике фиксируется начало выполнения работ данным работником, и работник приступает к выполнению своего объёма работ.

По завершении своего объёма работ, работнику будет необходимо произвести об этом отметку, приложив свою карту к считывающему окну терминала. В АСУ ПТОЛ за каждым работником запишется его личный перечень выполненных работ с указанием времени начала и окончания работ.

При выполнении работ, связанных с заменой запасных частей, в АСУ «Склад ПТОЛ» будет передана информация о количестве заменённых запасных частей.

При завершении работ с применением диагностического оборудования кроме данных о времени начала и окончания работ будут получены диагностические данные об агрегатах локомотива с указанием параметров, не соответствующих нормам. По перечню таких параметров в программном модуле АСУ ПТОЛ будет сформирован дополнительный перечень внеплановых работ и скорректирован сетевой график выполнения ТО-2.

При завершении работ с применением экипировочного оборудования кроме данных о времени начала и окончания работ будут получены данные о количестве заправленных в локомотив материалов: дизельное топливо и масло, смазочные материалы экипировочной части, песок, вода с присадкой «Инкорт» для систем охлаждения дизеля, дистиллированная вода для банок АКБ и т.д. Указанные данные будут переданы в АСУ «Склад ПТОЛ».

Несвоевременное начало выполнения любой из работ, критическое опережение или отставание от сетевого графика отмечается на графике и в протоколе ТО-2 локомотива особым образом для последующего выявления и устранения причин задержек или браков при обслуживании локомотива.

Информация, полученная в виде протоколов, объединяется в единый протокол. По окончании ТО и вывода локомотива из цеха ПТОЛ на серверы диспетчерских пунктов, ответственных за выпуск локомотивов в эксплуатацию, передаётся информация о готовности локомотива к дальнейшей эксплуатации. При наличии неустранимых в условиях ПТОЛ неисправностей передаётся информация о необходимости внепланового ремонта в условиях локомотиворемонтного депо.

7 Электронный паспорт локомотива

Одним из важнейших документов, используемых в локомотивном хозяйстве, является технический паспорт локомотива. Этот документ предназначен для того, чтобы в течение длительного жизненного цикла локомотива (до 40...50 лет) фиксировать все события, произошедшие с ним за этот период, – данные о проведенных ремонтах, модернизациях, смене основного оборудования и т.д., а также значения ключевых технических характеристик самого локомотива и его основного оборудования.

Изначально паспорт локомотива заполнялся вручную специально выделенными работниками депо – паспортистами. При выполнении этих работ часто негативно сказыва-

вался человеческий фактор: допускались ошибки и неточности, не учитывались все изменения, вносимые в конструкцию локомотива в процессе эксплуатации. Таким образом, не обеспечивались полнота данных и достоверность этого документа.

В 2002 г. было принято решение о разработке электронного паспорта локомотива для обеспечения достоверного контроля технического состояния локомотивов и основного оборудования. Эта работа была поручена специалистам Проектно-конструкторского бюро локомотивного хозяйства (ПКБ ЦТ).

В период с 2002 по 2005 гг. в локомотивные депо началась поставка комплектов электронного паспорта, и велся перевод бумажных паспортов всего приписного парка локомотивов этих депо (в секционных единицах) на электронные носители.

В процессе эксплуатации программы «Электронный паспорт локомотива» специалистами были выявлены следующие проблемы ведения паспортов локомотивов и оборудования:

- расхождения между сведениями о фактически установленном на локомотиве оборудовании и указанным в паспортах;
- случаи применения при ремонте комплектующих с отсутствующими бумажными паспортами;
- отсутствие знаков идентификации на некотором оборудовании (нечитаемые клейма, отсутствие табличек изготовителей и т.п.).

С 2009 г. была полностью запрещена выдача локомотивов и локомотивного оборудования из ремонта без знаков идентификации и с паспортами-дубликатами, в которых отсутствовала всякая информация об устройстве. Таким образом, к настоящему времени во всех структурах, связанных с производством, эксплуатацией и ремонтом локомотивов, внедрена программа «Электронный паспорт локомотива».

На каждую единицу локомотивов ОАО «РЖД» или паспортизированного оборудования ведется электронный паспорт (ЭП), в котором отражены основные технические и эксплуатационные характеристики, сведения о комплектности, техническом состоянии, месте эксплуатации, проводимых ремонтах, как самого локомотива, так и его паспортизированного оборудования.

Электронные паспорта локомотивов и паспортизированного оборудования на период ремонта передаются в предприятия, производящие ремонт или сервисное обслуживание и подлежат возврату в депо приписки локомотива после окончания ремонта.

Специалист ЭП завода формирует ЭП нового локомотива и оборудования, заполняет их технические характеристики и вносит информацию об установках оборудования на новый локомотив. Приемка нового локомотива и оборудования осуществляется только при наличии электронного паспорта.

Для повышения качества хранимой информации и персонализации ответственности в электронный паспорт локомотива вводится электронная цифровая подпись. Это позволит юридически подтвердить внесенные сведения и в дальнейшем перейти на безбумажную технологию ведения технических паспортов локомотивов и оборудования.

Преимущества и перспективы автоматизированной системы «Электронный паспорт локомотива» выражаются в следующем:

- способность осуществления оперативного мониторинга состояния тягового подвижного состава и оборудования;
- формирование и оценка возрастной структуры и отслеживание стоимости жизненного цикла локомотива и его оборудования;
- мониторинг отказов с учетом сроков эксплуатации и пробегов локомотивов и оборудования;
- автоматизация статистической отчетности работы локомотивов и локомотивного оборудования;
- определение узлов, лимитирующих межремонтные пробеги и ремонтный цикл локомотива;

- определение размера ремонтного фонда и контроль его состояния;
- быстрый поиск «аварийного» оборудования или оборудования, требующего особого контроля (колесные пары, бандажи и т.д.).

Решение этих задач позволит оптимизировать структуру ремонтного цикла и затраты на эксплуатацию, техническое обслуживание и ремонт локомотивного парка, проводить анализ жизненного цикла локомотивов и локомотивного оборудования.

8 Стационарное диагностическое оборудование локомотиворемонтных предприятий

Для осуществления входного контроля параметров оборудования локомотивов перед ремонтом, а также проведения испытаний отремонтированного оборудования на локомотиворемонтных предприятиях используются стационарные диагностические комплексы и испытательные станции.

Испытательная станция компрессоров ИС КП предназначена для проведения полного перечня работ по испытанию компрессоров различных типов локомотивов, а также для контроля технических характеристик узлов и агрегатов компрессора. ИС КП состоит из следующих функциональных узлов:

- пневмостенд для крепления компрессора на месте испытания;
- силовой преобразователь, напряжения для питания двигателя компрессора, его разгона и вращения с заданной частотой;
- комплект измерительных датчиков и кабелей подключения;
- блок контроля и электроники для обработки информации с датчиков, контроля процесса испытаний и вывода диагностических данных на терминал;
- рабочее место мастера для обработки и хранения данных, полученных в процессе испытания, создания базы нормированных значений; визуального отображения информации о ходе испытаний; формирования и передачи данных в общую базу данных.

Станция испытаний тяговых электродвигателей подвижного состава. Станция изготавливается в двух исполнениях: для проведения испытаний любых коллекторных двигателей с напряжением до 1500 В и током до 1300 А; для испытания асинхронных тяговых двигателей номинальной мощностью до 1400 кВт и напряжением до 1500 В.

Станция позволяет в автоматизированном режиме выполнять следующие виды проверок и измерений:

– для коллекторных двигателей:

- обкатка двигателя на холостом ходу;
- испытание на нагрев;
- скоростные характеристики;
- коммутационные режимы;
- прочность межвитковой изоляции якоря;
- механическая прочность.
- сопротивление обмоток;
- сопротивление изоляции обмоток;
- перегрев обмоток и коллектора при испытаниях на нагрев;
- температура подшипниковых щитов;
- виброскорости;
- биение коллектора.

– для асинхронных двигателей:

- испытания на холостом ходу;
- определение в режиме короткого замыкания значения тока статора;
- испытание на нагревание в номинальном режиме;
- испытание при повышенной частоте вращения;

- испытание электрической прочности изоляции.
- ток и напряжение;
- сопротивление обмоток;
- сопротивление изоляции;
- температура подшипниковых щитов;
- уровень вибрации.

Комплект оборудования для диагностирования тяговых двигателей предназначен для определения технического состояния моторно-якорных подшипников тяговых электродвигателей, температуры нагрева подшипников и измерения сопротивления изоляции обмоток на операциях входного контроля. Комплект выявляет поверхностные дефекты контактирующих поверхностей подшипников, дефекты сепаратора, измеряет сопротивление изоляции обмоток и рассчитывает коэффициент абсорбции.

Функциональные возможности:

- разгон ТЭД с возможностью задавать необходимую частоту вращения до 1200 об/мин;
- измерение сопротивления изоляции и автоматический расчет коэффициента абсорбции;
- время диагностирования объекта – не более 10 мин.

Испытательная станция вспомогательных машин предназначена для проведения приемо-сдаточных испытаний вспомогательных машин подвижного состава в соответствии с требованиями правил ремонта и выполняется в двух вариантах: для машин постоянного и переменного тока.

Функциональные возможности измерений:

– для машин постоянного тока:

- температура якорных подшипников;
- температура коллектора после проведения испытаний;
- активное сопротивление обмоток;
- сопротивление изоляции обмоток;
- контроль частоты вращения, тока якоря, напряжения двигателя;
- испытания на повышенной частоте вращения;
- контроль продолжительности режимов испытаний электродвигателя;
- проверка коммутации.

– для машин переменного тока:

- испытание на холостом ходу;
- определение в режиме короткого замыкания значения тока статора;
- испытание на нагревание в номинальном режиме;
- испытание при повышенной частоте вращения;
- испытание электрической прочности изоляции;
- ток и напряжение;
- сопротивление обмоток;
- сопротивление изоляции;
- температура подшипниковых щитов;
- уровень вибрации.

Стационарная многоамперная установка (3500А) позволяет проводить настройку, проверку токов и времени срабатывания электрических аппаратов в сборе после ремонта.

Она представляет собой законченный комплекс оборудования рабочих мест с источником постоянного тока, измерительными модулями, устройствами отображения информации. Позволяет производить измерения параметров электрических аппаратов как в

ручном, так и в автоматическом режиме: активного сопротивления обмоток, сопротивления изоляции, тока и времени срабатывания. При проведении испытаний в автоматическом режиме возможно производить протоколирование измерений с сохранением результатов для передачи на ПЭВМ.

Комплексная система контроля параметров автотормозного оборудования СКП-АвЦ предназначена для осуществления контроля и диагностики автотормозного оборудования подвижного состава с целью повышения эксплуатационной надёжности и качества, сокращения стоимости ремонта, повышения культуры производства и безопасности движения.

СКП-АвЦ позволяет реализовать следующие функции:

- входной контроль;
- автоматизация процесса контроля и диагностики;
- локализация неисправностей;
- контроль качества выполняемого ремонта;
- контроль технологического процесса ремонта;
- формирование протоколов на выполненный вид работ;
- ведение электронного паспорта на контролируемое автотормозное оборудование;
- передача информации в единую базу данных «Сервер диагностики» предприятия.

По сравнению с применяемыми «традиционно» устройствами контроля и диагностики автотормозного оборудования, СКП-АвЦ обладает следующими преимуществами:

- количественная и качественная оценка диагностических параметров и показателей;
- наличие встроенных механизмов идентификации контролируемого оборудования и работника, производившего ремонт;
- учет рабочего времени, объективный контроль качества и объема выполняемых работ для отдельно взятого работника;
- высокая точность измерений за счёт использования микропроцессорных датчиков давления;
- ликвидация человеческого фактора в процессе измерений.

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

9.1 Методические указания к практическим занятиям и выполнению индивидуального задания (курсовая работа, расчетно-графическая работа)

Введение. Главная задача транспорта состоит в полном и своевременном удовлетворении потребности народного хозяйства и населения в перевозках, повышении эффективности и качества работы всех звеньев транспортной системы. В транспортной системе России одно из ведущих мест занимают железные дороги.

Обеспечение конкурентоспособности железнодорожного транспорта на рынках транспортных услуг должны развиваться по пути:

- расширение транспортных услуг;
- развитие скоростных перевозок;
- повышение безопасности перевозок пассажиров и грузов;
- увеличение провозной способности железнодорожных направлений.

Научно-технический прогресс на железнодорожном транспорте неразрывно связан с развитием локомотивного хозяйства, в котором сосредоточена почти восьмая часть общей стоимости основных фондов железных дорог.

Помимо локомотивов, локомотивное хозяйство имеет развитую ремонтную базу, оснащённую механизированным и автоматизированным ремонтным оборудованием, диагностирующими установками и систему механизированных и автоматизированных экипировочных устройств.

Важнейшей задачей локомотивного хозяйства является повышение эффективности перевозочного процесса – увеличение скорости движения.

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

Основой организации движения поездов является график движения, который объединяет деятельность всех подразделений и выражает план эксплуатационной работы железных дорог. График движения поездов – непреложный закон для работников железнодорожного транспорта, выполнение которого является одним из важнейших качественных показателей работы железных дорог.

1 Основные показатели работы локомотивного депо

Объем эксплуатационной работы ТЧ определяется годовым пробегом тепловозов в лок-км по видам движения $\square MS_{л}$ и выполняемой работой в т-кмбр за год $\square A_{год}$.

Годовой пробег тепловозов проверяется по формуле:

$$\square MS_{л} = 365 \cdot \square 2L_{ij} \cdot N_{ij}, \quad (1)$$

где L_{ij} – длина i -го участка для j -го вида движения, км;
 N_{ij} – размеры движения на i -м участке для j -го вида движения, п.п.;
 Рассчитывается пробег для грузового и пассажирского видов движения:
 Выполняемая работа:

$$\square A_{год} = \square MS_{л} \cdot Q_{ij}, \quad (2)$$

где $\square MS_{л}$ – годовое пробег локомотивов, лок-км;
 Q_{ij} – масса состава на i -м участке для j -го вида движения, т.

Пробег маневровых локомотивов:

$$\square MS_{л}^M = \square M_{л}^M \times (23,5 \cdot 5 + 0,5 \cdot 1), \quad (3)$$

где $\square M_{л}^M$ – количество эксплуатируемых маневровых локомотивов, лок;
 $(23,5 \cdot 5 + 0,5 \cdot 1)$ – среднесуточный пробег локомотива (со скоростью 5 км/ч 23,5 ч в сутки на маневровых работах и 0,5 ч со скоростью 1 км/ч – условно на служебный пробег на ТО, экипировку и пр.), км.

Количество эксплуатируемых маневровых локомотивов:

$$\sum M_{л}^{MAN} = \frac{\sum MS_{л} \cdot \delta_M}{365 \cdot S_{CP.CYT}^{MAN} \cdot 100}, \quad (4)$$

где δ_M – процент пробега маневровых локомотивов от годового пробега поездных,
 $\delta_M = 2...5 \%$.

Годовой пробег поездных локомотивов:

$$\square MS_{л} = \square MS_{л}^Г + \square MS_{л}^П, \quad (5)$$

Эти данные помещаются в таблицу 1.

Таблица 1. – Объем эксплуатационной работы ТЧ.

| Вид работы | Лок-км | | Т-кмбр | |
|-----------------------|----------|--------|----------|--------|
| | За сутки | За год | За сутки | За год |
| Пассажирское движение | | | | |
| Грузовое движение | | | | |
| Маневровое движение | | | – | – |
| Всего | | | – | – |

2 Выбор оптимального варианта размещения устройств локомотивного хозяйства

Рассматриваются две схемы расположения основного А и оборотного Б(В) депо:

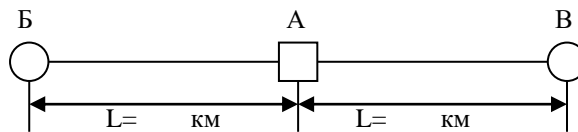


Рисунок 1

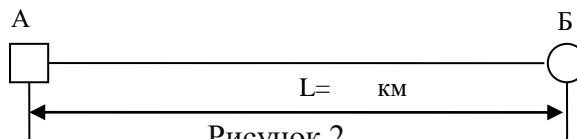


Рисунок 2

Выбор участков обращения и пунктов ТО-2:

$$L_{\text{обр}} \leq \square \times V_y \times (T_{\text{ТО-2}} - t_0), \quad (6)$$

где \square – коэффициент, характеризующий размещение ПТОЛ (пунктов технического обслуживания) на участке, $\square = 1$;
 V_y – участковая скорость, V_y по заданию;
 $T_{\text{ТО-2}}$ – время работы локомотива между ТО-2, $T_{\text{ТО-2}} = 72$ ч;
 t_0 – затраты времени на ТО-2, $t_0 = 3$ ч.

В зависимости от межэкипировочного пробега выбираются пункты размещения ПТОЛ (ТО-2).

2.1 Размещение пунктов экипировки

Размещение пунктов экипировки рассчитывается по допускаемому пробегу между экипировками. Межэкипировочные пробеги тепловозов зависят от массы состава Q , запаса топлива и песка, удельных норм расхода топлива и песка, серии тепловоза, эксплуатационных условий.

Расстояние между пунктами экипировки тепловоза топливом L_T и песком L_{Π} рассчитывается по формулам:

$$L_T = \frac{0,9 \cdot E_T \cdot 10^4}{e_T \cdot Q}, \quad (7)$$

$$L_{\Pi} = \frac{0,9 \cdot E_{\Pi} \cdot 10^6}{e_{\Pi} \cdot Q}, \quad (8)$$

где E_T, E_{Π} – объем топливных баков (кг) и песочных бункеров (м^3);
 e_T, e_{Π} – удельный расход топлива и песка тепловозом. e_T выбирается из таблицы 2, e_{Π} принимается для II типа профиля 0,15...0,18 $\text{м}^3/(\text{10}^6 \text{ ткм брутто})$, для III типа – 0,17...0,2 $\text{м}^3/(\text{10}^6 \text{ ткм брутто})$;
 Q – масса состава, т.

Таблица 2 – Примерные удельные нормы расхода натурального топлива грузовыми тепловозами, $\text{кг}/(\text{10}^4 \text{ ткм брутто})$

| Масса состава т | 2М62 | | 2ТЭ10М | | 2ТЭ116 | |
|--------------------|------------------|------|--------|------|--------|------|
| | Тип профиля пути | | | | | |
| | II | III | II | III | II | III |
| 8000 | – | – | 16,7 | – | 15,6 | – |
| 7500 | – | – | 17,6 | – | 16,5 | – |
| 7000 | 19 | – | 18,6 | – | 17,4 | – |
| 6500 | 19,7 | – | 19,6 | – | 18,3 | – |
| 6000 | 20,7 | – | 20,7 | 22,8 | 19,3 | 21,3 |
| 5500 | 21,7 | – | 21,8 | 24,2 | 20,4 | 22,6 |
| 5000 | 22,8 | 26,1 | 22,9 | 25,8 | 21,4 | 24,1 |
| 4500 | 24 | 27,5 | 24 | 27,3 | 22,4 | 25,5 |
| 4000 | 25,2 | 29,1 | 25,1 | 29,1 | 23,5 | 27,2 |
| 3500 | 26,4 | 30,9 | – | 31,4 | – | 29,3 |
| 3000 | 27,8 | 32,7 | – | 33,6 | – | 31,4 |

На основании полученных результатов, необходимо сделать вывод наиболее оптимальным варианте размещения устройств экипировки в основном и оборотном депо с учетом возможного пробега без экипировки.

3 Сравнение вариантов размещения устройств локомотивного хозяйства

Определение эксплуатируемого парка M_3 локомотивов в грузовом движении определяется по коэффициенту потребности:

$$M_3 = \square \times k \times N, \quad (9)$$

где N – размер движения поездов на участке, N^{TP} по заданию;
 k – коэффициент потребности:

$$k = \frac{T_{л}}{24}, \quad (10)$$

где $T_{л}$ – время полного оборота локомотива, ч:

$$T_{л} = \frac{2L}{V_y} + t_{oc} + t_{об}, \quad (11)$$

где t_{oc} – время пребывания в основном депо, $t_{oc}=3$ ч;
 $t_{об}$ – время пребывания в оборотном депо, $t_{об}=2$ ч

Рассматриваются два случая:

– с одним оборотным депо (рис. 2)

$$T_{л1} = \frac{2L}{V_y} + t_{oc} + t_{об},$$

– с двумя оборотными депо (рис. 1)

$$T_{л2} = \frac{2L}{V_y} + t_{oc} + 2t_{об},$$

3.1 Определение инвентарного парка локомотивов

Инвентарный парк локомотивов:

$$M_{и} = 1,2 \times M_3. \quad (12)$$

Определение среднесуточного пробега локомотивов:

$$S_c = \frac{2L \cdot N}{M_3}. \quad (13)$$

Определение среднесуточной производительности локомотивов:

$$W = S_c \times Q. \quad (14)$$

Среднесуточный пробег и производительность необходимо рассчитать для двух вариантов размещения устройств локомотивного хозяйства. По результатам расчета строятся графики зависимости $M_{Э1,2} = f(L)$, $SCP_{1,2} = f(L)$, $W_{1,2} = f(L)$.

Далее необходимо сделать вывод о наиболее целесообразном варианте размещения устройств локомотивного хозяйства.

4 Сравнение вариантов организации работы локомотивных бригад

4.1 Размещение пунктов смены локомотивных бригад

Протяженность участка работы локомотивных бригад:

а) без отдыха локомотивных бригад в пункте оборота:

$$l_{бр1} = 0,5 \times (\square_{бр} - \square_{t_{бр}}) \times V_y; \quad (15)$$

б) с отдыхом локомотивных бригад в пункте оборота:

$$l_{бр2} = (\square_{бр} - \square_{t_{бр}}) \times V_y; \quad (16)$$

где $\square_{бр}$ – норма рабочего времени, $\square_{бр} = 8$ ч;

$\square_{t_{бр}}$ – время на приемку и сдачу локомотива, $\square_{t_{бр}} = 0,8$ ч.

Длину участка обращения необходимо разделить на протяженность участка работы локомотивных бригад и принять одинаковые по протяженности длины участков работы локомотивных бригад, не превышающие расчетные.

В обоих случаях необходимо размещать пункты смены локомотивных бригад в основном и оборотных депо

4.2 Расчет штата локомотивных бригад

Явочный штат локомотивных бригад:

$$\sum B_{яв} = \frac{\bar{D} \cdot \sum T_{бр} \cdot N \cdot n}{\bar{\Phi}}, \quad (17)$$

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

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

N – размеры движения, п.п.;

n – количество участков обращения локомотивных бригад;

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

Время оборота локомотивной бригады:

$$T_{бр1} = t_{пр}^{OC} + t'_X + t_{ож} + t''_X + t_{сд}^{OC}, \quad (18)$$

$$T_{бр2} = t_{пр}^{OC} + t'_X + t_{сд}^{OB} + t_{пр}^{OB} + t''_X + t_{сд}^{OC}, \quad (19)$$

где $t_{пр}^{OC}$, $t_{пр}^{OB}$ – время приемки локомотива в основном, оборотном депо, $t_{пр} = 0,5$ ч;

$t_{сд}^{OC}$, $t_{сд}^{OB}$ – время сдачи локомотива, $t_{сд} = 0,3$ ч;

t'_X , t''_X – время хода локомотива по участку;

$$t'_x = \frac{l_{бр}}{V_y}$$

$t_{ож}$ – время ожидания локомотива, $t_{ож} = 0,5$ ч;
Списочный штат локомотивных бригад:

$$БСП = 1,13 \square БЯВ. \quad (22)$$

4.4 Расчет выполняемой работы локомотивными бригадами

Выполняемая работа локомотивными бригадами:

$$A_{БР} = \frac{\Phi \cdot 2 \cdot l_{бр} \cdot Q}{\sum T_{бр}}, \quad (23)$$

По расчетным значениям $БСП_{1,2}$; $АБР_{1,2}$ 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.

5 Расчет количества тепловозов для пассажирского движения по графику оборота

Для построения графика оборота необходимо по расписанию движения поездов составить ведомость оборота.

Время хода пассажирского поезда по перегону:

$$t_x^{Пасс} = \frac{L}{V_y^{Пасс}}, \quad (24)$$

где $V_y^{Пасс}$ - участковая скорость пассажирского поезда, км/ч:

$$V_y^{Пасс} = V_y \times 1,6. \quad (25)$$

Участковая скорость пассажирского поезда:

Составляется ведомость оборота в виде таблицы. При этом учитывается:

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

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

Простой равен разнице времени прибытия и времени отправления.

Увязка производится параллельно, что обеспечивает минимальные простои поездов.

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

$$M_{\text{э}} = \frac{\sum t_{\text{ПР}}^{\text{Б}} + \sum t_{\text{X}}^{\text{А-Б}} + \sum t_{\text{ПР}}^{\text{А}} + \sum t_{\text{X}}^{\text{Б-А}}}{24}, \quad (26)$$

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

6 Определение годовой программы ремонта

Система технического обслуживания и ремонта локомотивов ОАО «РЖД» предусматривает следующие виды планового технического обслуживания и ремонта:

- техническое обслуживание ТО-1;
- техническое обслуживание ТО-2;
- техническое обслуживание ТО-3;
- техническое обслуживание ТО-4;
- техническое обслуживание ТО-5а;
- техническое обслуживание ТО-5б;
- техническое обслуживание ТО-5в;
- техническое обслуживание ТО-5г;
- текущий ремонт ТР-1;
- текущий ремонт ТР-2;
- текущий ремонт ТР-3;
- средний ремонт СР;
- капитальный ремонт КР.

Техническое обслуживание – комплекс операций по поддержанию работоспособности и исправности локомотива.

Техническое обслуживание ТО-1, ТО-2 и ТО-3 является периодическим и предназначено для контроля технического состояния узлов и систем локомотива в целях предупреждения отказов в эксплуатации. Постановка локомотивов на техническое обслуживание ТО-4, ТО-5а, ТО-5б, ТО-5в, ТО-5г планируется по необходимости.

Примечание: определения, помеченные звездочкой (*), приводятся на основании определений, указанных в ОСТ 32.109-97 «Тяговый подвижной состав (ТПС). Система технического обслуживания и ремонта. Термины и определения».

При производстве технического обслуживания ТО-1, а также при производстве технического обслуживания ТО-2 (в пределах установленных норм продолжительности) локомотивы учитываются в эксплуатируемом парке. Локомотивы, поставленные на остальные виды технического обслуживания и на ремонт, исключаются из эксплуатируемого парка и учитываются как неисправные.

Техническое обслуживание ТО-1 выполняется локомотивной бригадой при приемке-сдаче и экипировке локомотива, при остановках на железнодорожных станциях. Техническое обслуживание ТО-2 выполняется, как правило, работниками пунктов технического обслуживания локомотивов (ПТОЛ). Основные требования к организации и проведению технического обслуживания ТО-1 и ТО-2 локомотивов установлены Инструкцией по техническому обслуживанию электровозов и тепловозов в эксплуатации, утвержденной МПС России 27 сентября 1999 г. № ЦТ-685.

Техническое обслуживание ТО-3 выполняется, как правило, в локомотивном депо приписки локомотива.

Техническое обслуживание ТО-4 выполняется с целью поддержания профиля бандажей колесных пар в пределах, установленных Инструкцией по формированию, ремонту и содержанию колесных пар тягового подвижного состава железных дорог колеи 1520 мм, утверждённой МПС России 14 июня 1995г. № ЦТ-329. При техническом обслуживании ТО-4 выполняется обточка бандажей колесных пар без выкатки из-под локомотива. На техническое обслуживание ТО-4 локомотив зачисляется в случае, если не производится иных операций по техническому обслуживанию и ремонту локомотива, кроме обточки бандажей колесных пар.

Если обточка бандажей колесных пар совмещается с операциями по техническому обслуживанию ТО-3, текущему ремонту ТР-1 или ТР-2, локомотив на

техническое обслуживание ТО-4 не зачисляется, а учитывается как находящийся на техническом обслуживании ТО-3 (текущем ремонте ТР-1, ТР-2) с обточкой.

Техническое обслуживание ТО-5а проводится с целью подготовки локомотива к постановке в запас или резерв железной дороги. Техническое обслуживание ТО-5б проводится с целью подготовки локомотива к отправке в недействующем состоянии. Техническое обслуживание ТО-5в проводится с целью подготовки к эксплуатации локомотива, прибывшего в недействующем состоянии, после постройки, после ремонта вне локомотивного депо приписки или после передислокации. Техническое обслуживание ТО-5г проводится с целью подготовки локомотива к эксплуатации после содержания в запасе (резерве железной дороги).

Ремонт – комплекс операций по восстановлению исправности, работоспособности и ресурса локомотива*.

Текущий ремонт локомотива – ремонт, выполняемый для обеспечения или восстановления работоспособности локомотива и состоящий в замене и восстановлении отдельных узлов и систем.

Текущий ремонт ТР-1 выполняется, как правило, в локомотивных депо приписки локомотивов. Текущий ремонт ТР-2 выполняется, как правило, в специализированных локомотивных депо железных дорог приписки локомотивов. Текущий ремонт ТР-3 выполняется в специализированных локомотивных депо железных дорог (базовых локомотивных депо).

Средний ремонт локомотива (СР) – ремонт выполняемый для восстановления исправности и частичного восстановления ресурса локомотива*.

Средний ремонт локомотивов выполняется в базовых локомотивных депо, на локомотиворемонтных заводах ОАО «РЖД» или в сторонних организациях, осуществляющих ремонт локомотивов.

Капитальный ремонт локомотива (КР) – ремонт, выполняемый для восстановления эксплуатационных характеристик, исправности локомотива и его ресурса, близкого к полному. Капитальный ремонт локомотивов выполняется на локомотиворемонтных заводах ОАО «РЖД» или в сторонних организациях, осуществляющих ремонт локомотивов.

Объемы и порядок выполнения обязательных работ при плановом техническом обслуживании и ремонте, браковочные признаки и допускаемые методы восстановления деталей и сборочных единиц определяются действующей эксплуатационной и ремонтной документацией, согласованной и утверждённой в установленном порядке.

Средние для ОАО «РЖД» нормы периодичности технического обслуживания и ремонта локомотивов приведены в таблицах 3 и 4.

Таблица 3 – Средние для ОАО «РЖД» нормы периодичности технического обслуживания

и ремонта тепловозов магистральных серий, использующихся в грузовом и пассажирском движении

| Серии | Техническое обслуживание | | Текущий ремонт, тыс. км | | | Средний ремонт СР. тыс. км | Капитальный ремонт КР. тыс. км |
|---|--------------------------|---------------|-------------------------|------|------|----------------------------|--------------------------------|
| | ТО-2, ч, не более | ТО-3, тыс. км | ТР-1 | ТР-2 | ТР-3 | | |
| Тепловозы типа ТЭ10 всех серий с дизель-генератором 10Д100; тепловозы типа М62 всех серий с дизель-генератором 14Д40; ТЭП60 | 72 | 10 | 50 | 150 | 300 | 600 | 1200 |
| Тепловозы типа ТЭ10 всех серий с дизель-генератором 1А-9ДГ; тепловозы типа М62 всех серий с дизель-генератором 5-26ДГ; 2ТЭ116 | 72 | 15 | 50 | 200 | 400 | 800 | 1600 |
| ТЭП70 | 48 | 15 | 50 | 200 | 400 | – | 1200 |
| ТГ6 | 72 | 10 | 55 | 120 | 240 | 480 | 960 |
| ТГ21,ТГ22 | 72 | 15 | 75 | 150 | 300 | 600 | 1200 |

Таблица 4 – Средние для ОАО «РЖД» нормы периодичности технического обслуживания

и ремонта магистральных локомотивов, использующихся в маневровой работе.

В хозяйственном, вывозном и передаточном движении, а также маневровых

Тепловозов

| Серии | Техническое обслуживание | | Текущий ремонт, мес. | | | Средний ремонт СР. лет | Капитальный ремонт КР лет |
|-------|--------------------------|------------|----------------------|------|------|------------------------|---------------------------|
| | ТО-2. ч, не более | ТО-3, сут. | ТР-1 | ТР-2 | ТР-3 | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |

| | | | | | | | |
|---|----|----|---|----|----|---|----|
| Магистральные локомотивы, использующиеся в маневровой работе, в хозяйственном, вывозном и передаточном движении | 72 | 28 | 6 | 12 | 36 | 6 | 12 |
|---|----|----|---|----|----|---|----|

Окончание табл. 4

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|--|-----|----|----|----|----|-----|----|
| ЧМЭЗ всех индексов с дизель-генераторами К6S310DR или 1-ПДГ4В, ТЭМ2 всех индексов с дизель-генераторами ПДГ1М или 1-ПДГ4А, ТЭМ3, ТЭМ16, ТЭМ17, ТЭМ18 | 120 | 40 | 9 | 18 | 36 | 6 | 12 |
| ЧМЭЗ всех индексов с дизель-генератором 4-36ДГ, ТЭМ2 всех индексов с дизель-генератором 1-ПДГ4Д, ТЭМ7, ТЭМ7А | 120 | 40 | 12 | 24 | 48 | 8 | 16 |
| ТГМ7, 1ТМП, ТГМПА | 96 | 30 | 5 | 15 | 30 | 7.5 | 15 |
| ТГМ1, ТГМ3, ТГМ4Б, ТГМ23 всех индексов, ТГК2 | 100 | 20 | 6 | 12 | 24 | 4 | — |

6.1 Определение годовой программы ремонта магистральных (грузовых и пассажирских) локомотивов

Годовая программа ремонта локомотивов в объеме КР (капитального ремонта планового):

$$M_p^{KP} = \frac{\sum MS_{л}}{L_p^{KP}} \text{ лок.}$$

Годовая программа ремонта локомотивов в объеме СР (среднего ремонта):

$$M_p^{CP} = \frac{\sum MS_{л}}{L_p^{CP}} - M_p^{KPP} \text{ лок.}$$

Годовая программа ремонта локомотивов в объеме ТР-3:

$$M_p^{TP-3} = \frac{\sum MS_{л}}{L_p^{TP-3}} - M_p^{KP} - M_p^{CP} \text{ лок.}$$

Годовая программа ремонта локомотивов в объеме TP-2:

$$M_p^{TP-2} = \frac{\sum MS_{л}}{L_p^{TP-2}} - M_p^{KP} - M_p^{CP} - M_p^{TP-3} \text{ лок.}$$

Годовая программа ремонта локомотивов в объеме TP-1:

$$M_p^{TP-1} = \frac{\sum MS_{л}}{L_p^{TP-1}} - M_p^{KP} - M_p^{CP} - M_p^{TP-3} - M_p^{TP-2} \text{ лок.}$$

Годовая программа ремонта локомотивов в объеме ТО-3 (технического обслуживания):

$$M_p^{TO-3} = \frac{\sum MS_{л}}{L_p^{TO-3}} - M_p^{KP} - M_p^{CP} - M_p^{TP-3} - M_p^{TP-2} - M_p^{TP-1} \text{ лок.}$$

При расчёте программы ремонта отдельно грузовых и пассажирских локомотивов в вышеприведенные формулы необходимо подставлять значения $\sum MS_{л}$ и L_p соответственно для каждого вида локомотивов отдельно

6.2 Определение годовой программы ремонта маневровых локомотивов

Годовая программа ремонта маневровых локомотивов:

$$M_{pi} = \frac{M_3}{R_i}, \quad (30)$$

где R_i – коэффициент цикличности i -го вида ремонта:

$$R_i = T_{pi}, \quad (31)$$

где T_{pi} – межремонтный период локомотива i -го вида ремонта.

Годовая программа ремонта локомотивов в объеме КР (капитального ремонта планового):

$$M_{pKP} = \frac{M_3}{R_{KP}} \text{ лок.}$$

Годовая программа ремонта локомотивов в объеме СР (среднего ремонта):

$$M_{pCP} = \frac{M_3}{R_{CP}} - M_{pKP} \text{ лок.}$$

Годовая программа ремонта локомотивов в объеме TP-3:

$$M_{\text{рТР-3}} = \frac{M_{\text{э}}}{R_{\text{ТР-3}}} - M_{\text{рКР}} - M_{\text{рСР}} \text{ ЛОК.}$$

Годовая программа ремонта локомотивов в объеме ТР-2:

$$M_{\text{рТР-2}} = \frac{M_{\text{э}}}{R_{\text{ТР-2}}} - M_{\text{рКРП}} - M_{\text{рСР}} - M_{\text{рТР-3}} \text{ ЛОК.}$$

Годовая программа ремонта локомотивов в объеме ТР-1:

$$M_{\text{рТР-1}} = \frac{M_{\text{э}}}{R_{\text{ТР-1}}} - M_{\text{рКР}} - M_{\text{рСР}} - M_{\text{рТР-3}} - M_{\text{рТР-2}} \text{ ЛОК.}$$

Годовая программа ремонта локомотивов в объеме ТО-3:

$$M_{\text{рТО-3}} = \frac{M_{\text{э}}}{R_{\text{ТО-3}}} - M_{\text{рКР}} - M_{\text{рСР}} - M_{\text{рТР-3}} - M_{\text{рТР-2}} - M_{\text{рТР-1}} \text{ ЛОК.}$$

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

- 1 Айзинбуд С.Я., Кельперис П.И. Эксплуатация локомотивов. –2-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1990. – 261 с.
- 2 Положение о системе технического обслуживания и ремонта локомотивов ОАО «РЖД». Распоряжение ОАО «РЖД» от 17.01.2005 № 3р

10 «СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА В ЛОКОМОТИВНОМ ХОЗЯЙСТВЕ», «СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ И РЕМОНТЕ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА»

10.1 Методические указания к практическим занятиям и выполнению индивидуального задания (расчетно-графическая работа)

Введение. В настоящее время остается актуальной проблема повышения качества эксплуатации и ремонта подвижного состава. Это связано прежде всего, с одной стороны, с усилением рыночной конкуренции в сфере предоставления услуг железнодорожного транспорта, а с другой, для повышения эффективности производственной деятельности.

Настоящая расчетно-графическая работа поможет будущим инженерам-механикам получить практические навыки использования простых и новых инструментов контроля и управления качеством, а также в оценке затрат на качество и эффективности систем менеджмента качества в предприятиях по эксплуатации и ремонту подвижного состава. Эти навыки необходимы будущим специалистам при разработке и внедрении СМК, планировании и организации работ по качеству, распределении ресурсов, успешной реализации мероприятий по совершенствованию деятельности организации.

Оформление расчетно-графической работы

Весь текст и имеющиеся расчеты следует записывать на одной стороне листа. На титульном листе нужно указывать название вуза, кафедры, название работы, наименование дисциплины, фамилию исполнителя и проверяющего преподавателя. Исходные данные выбираются по номеру в журнале и оформляются на следующей странице, после титульного листа, с указанием варианта задания. Содержание оформляется на странице после задания, с указанием номера страницы. За содержанием необходимо написать введение, в котором указывается суть работы, ее основные разделы. После этого можно выполнять работу по рекомендуемым методическим указаниям. Библиографический список обязателен, на который необходимо сделать ссылки в самой работе.

Расчетно-графическая работа состоит из разделов, которые имеют соответствующую нумерацию. В работе достаточно указать номер раздела и его заголовок согласно содержанию и далее вести выполнение задания.

Все таблицы, рисунки, графики должны иметь порядковую нумерацию и ссылки. Располагать их нужно в соответствующих разделах в удобном для пользования виде.

Примерный объем расчетно-графической работы 20–25 машинописных листов формата А4. Страницы текста работы должны соответствовать формату А4.

Текст следует располагать, соблюдая следующие размеры полей: левое – не менее 30 мм, правое – не менее 10 мм, верхнее – не менее 15 мм, нижнее – не менее 20 мм.

При выполнении работы необходимо соблюдать равномерную плотность и четкость изображения по всему тексту пояснительной записки. После выполненных расчетов необходимо написать «Заключение», в котором отразить этапы работы и основные результаты, а также список использованных источников.

1 Общие сведения о системе менеджмента качества

Система менеджмента качества (СМК) – это комплекс систем, методов и инструментов, которые компания использует, чтобы соответствовать ожиданиям потре-

бителей относительно выпускаемых товаров или услуг, чтобы сделать продукцию конкурентоспособной на рынке и улучшить деятельность компании в целом.

СМК – это целостная система, цель которой состоит не в контроле каждой единицы продукции, а в исключении возможных ошибок в работе, из-за которых может возникнуть брак. Для этого нужно определить, какие действия являются правильными для создания качественной продукции, и разработать инструкцию по выполнению корректных действий, а потом контролировать их.

Разработать и внедрить СМК может любое предприятие, независимо от сферы деятельности, величины штата и отрасли экономики.

Составляющими управления качества продукции являются статистические методы анализа и оценки качества продукции, статистические методы регулирования технологических процессов и статистические методы приемочного контроля.

Статистический анализ точности и стабильности технологического процесса – это установление статистическими методами значений показателей точности и стабильности технологического процесса, а также определение закономерностей его протекания во времени.

Под точностью технологического процесса понимается его свойство обеспечивать близость действительных значений параметров к нормируемым значениям, под стабильностью технологического процесса понимается его свойство обеспечивать постоянство распределения вероятностей его параметров к нормируемым значениям.

Современное управление качеством основано на использовании статистических методов. **Статистическое управление качеством** – совокупность методов обнаружения неслучайных факторов, позволяющая диагностировать состояние процесса, проводить его корректировку и, в конечном счете, способствующая улучшению качества продукции.

Для анализа данных в первую очередь рекомендуются специально подобранные, несложные для понимания и применения статистические методы – так называемые **«семь инструментов контроля качества»**. К ним относятся: **контрольные листки, анализ Парето, анализ причинно-следственных связей, диаграмма рассеяния, гистограмма, расслоение данных, контрольные карты**. Иногда сюда включают метод экспертных оценок, а также точечный график и табличный результат контроля. **Эти методы можно рассматривать** как отдельные инструменты, так и как систему методов.

Инструменты контроля качества могут использоваться по отдельности и в совокупности.

Можно предложить следующую последовательность их применения:

- четко сформулировать проблему;
- определить факторы, которые влияют на возникновение данной проблемы и построить причинно-следственную диаграмму;
- провести анализ важности влияющих факторов и определить наиболее существенные из них, используя анализ Парето;
- из числа наиболее значимых факторов отбросить те, на которые нельзя повлиять или хотя бы проконтролировать в данный момент;
- определить какого типа данные необходимо проконтролировать, количественные или качественные, и разработать удобную форму контрольного листа;
- оценить разброс данных с помощью гистограммы;
- использовать расслоение данных, если фактор принимает два – четыре значения;
- установить связь и характер этой связи между факторами и показателями, характеризующими проблему;
- применить контрольные карты для управления процессом.

Подводя итог, следует отметить, что *основой менеджмента качества технико-технологического процесса является* высокое совершенство производства, его техники, технологии и организации, которое характеризуется способностью стабильно изготавливать продукцию в строгом соответствии с требованиями нормативной документации. При этом достижение конкурентоспособного уровня качества продукции диктует необходимость широкого применения современных методов, подходов и инструментов менеджмента качества, реализующих перспективную стратегию и идеологию управления качеством продукции.

2 Инструменты контроля и управления качеством

2.1 Причинно-следственная диаграмма Исикавы

В 1953 г. профессор Токийского университета Каору Исикава, обсуждая проблему качества на одном заводе, суммировал мнение инженеров в форме диаграммы причин и результатов. Она получила название «диаграмма Исикавы» (в японской литературе эту диаграмму из-за ее формы часто именуют «рыбья кость» или «рыбий скелет»).

Причинно-следственная диаграмма Исикавы – это средство графического упорядочения факторов, влияющих на объект анализа, она дает наглядное представление не только о тех факторах, которые влияют на изучаемый объект, но и о причинно-следственных связях между ними [3].

Рекомендуемые этапы построения причинно-следственной диаграммы:

1 Определите перечень показателей качества (видов дефектов, брака), которые следует проанализировать.

2 Выберите один показатель качества и напишите его в середине правого края чистого листа бумаги. Слева направо проведите прямую линию, которая будет представлять собой «хребет» будущей диаграммы Исикавы.

3 Запишите главные причины, влияющие на показатель качества. При определении главных причин рекомендуется использовать мнемонический прием 4М ... 6М.

4 Соедините линиями («большими костями») главные причины с «хребтом», расположив наиболее важные ближе к голове «рыбьего скелета». Ранжирование причин по их значимости, т.е. вероятности проявления, предполагает использование анализа Парето (он позволяет выявить причины, накопленная значимость которых находится в области 80 %).

5 Определите и запишите вторичные причины для записанных главных причин. Для выявления вторичных причин удобно использовать метод «мозговой атаки».

6 Соедините линиями («средними костями») вторичные причины с «большими костями».

7 В зависимости от глубины проводимого анализа можно достроить «кости» и более низкого порядка.

Схематически диаграмма Исикавы представлена на рис. 1.

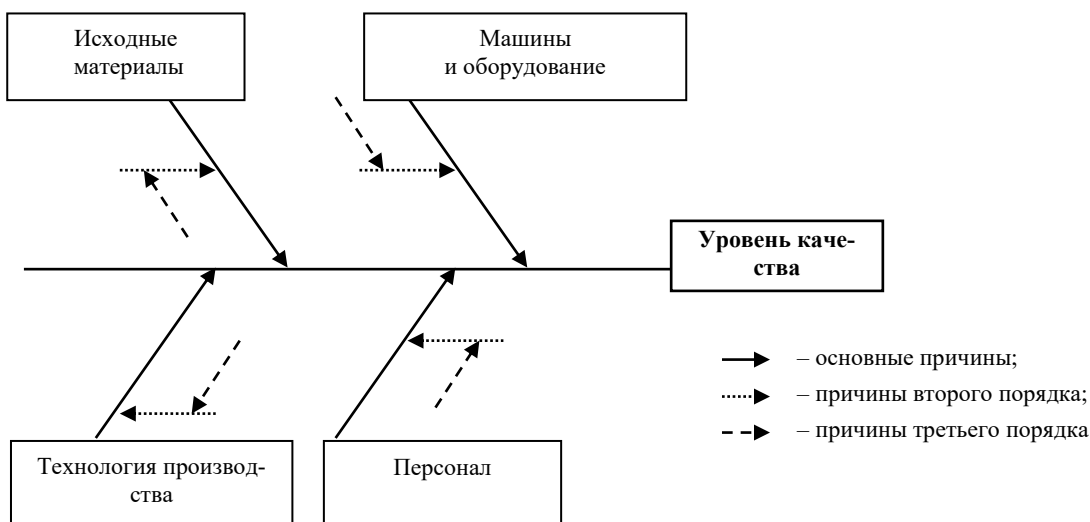


Рисунок 1 – Пример диаграммы Исикавы

При построении причинно-следственной диаграммы рекомендуется:

- выбирать такие показатели качества и такие факторы, которые можно измерить;
- для того чтобы результат построения диаграммы был практически применим, разбивать причины на подпричины нужно до тех пор, пока по каждой из можно предпринять действия по устранению, иначе сам процесс их выявления превратится в бессмысленное упражнение;
- проверять логическую связь каждой причинной цепочки: предыдущая стрелка по отношению к последующей всегда выступает как причина, а последующая – как следствие.

2.2 Диаграмма Парето

В 1897 г. итальянский экономист В. Парето (1845–1923) установил, что примерно 70–80 % доходов или благ в государстве в большинстве случаев принадлежит 20–30 % населения. Американский экономист М. Лоренц в 1907 г., независимо от Парето, пришел к тому же выводу, осуществив дальнейшее развитие идей Парето (помимо так называемой «столбиковой диаграммы» им было предложено использовать кумулятивную кривую, которую часто называют кривой Лоренца). Идея применения этой диаграммы для анализа причин возникновения брака и путей повышения качества принадлежит Дж. Джурану.

Назначение метода – применяется практически в любых областях деятельности. Японский союз ученых и инженеров в 1979 г. включил диаграмму Парето в состав семи методов контроля качества.

Цель метода – выявление проблем, подлежащих первоочередному решению.

Суть метода – инструмент, позволяющий выявить и отобразить проблемы, установить основные факторы, с которых нужно начинать действовать, и распределить усилия с целью эффективного разрешения этих проблем.

Различают два вида диаграмм Парето:

1) *по результатам деятельности* – предназначена для выявления главной проблемы нежелательных результатов деятельности;

2) *по причинам* – используется для выявления главной причины проблем, возникающих в ходе производства.

План действий:

- определить проблему, которую надлежит решить;
- учесть все факторы (признаки), относящиеся к исследуемой проблеме;
- выявить первопричины, которые создают наибольшие трудности, собрать по ним данные и проранжировать их;
- построить диаграмму Парето, которая объективно представит фактическое положение дел в понятной и наглядной форме;
- провести анализ диаграммы Парето.

Особенности метода – принцип Парето (принцип 20/80) означает, что 20 % усилий дают 80 % результата, а остальные 80 % усилий – лишь 20 % результата. Диаграмма Парето представлена на рисунке 2.

Общие правила построения диаграммы Парето:

- решить, какие проблемы (причины проблем) надлежит исследовать, какие данные собирать и как их классифицировать;
- разработать формы для регистрации исходных данных (например, контрольный листок);
- собрать данные, заполнив формы, и подсчитать итоги по каждому исследуемому фактору (показателю, признаку);
- для построения диаграммы Парето подготовить бланк таблицы, предусмотрев в нем графы для итогов по каждому проверяемому фактору в отдельности, накопленной суммы числа появлений соответствующего фактора, процентов к общему итогу и накопленных процентов;

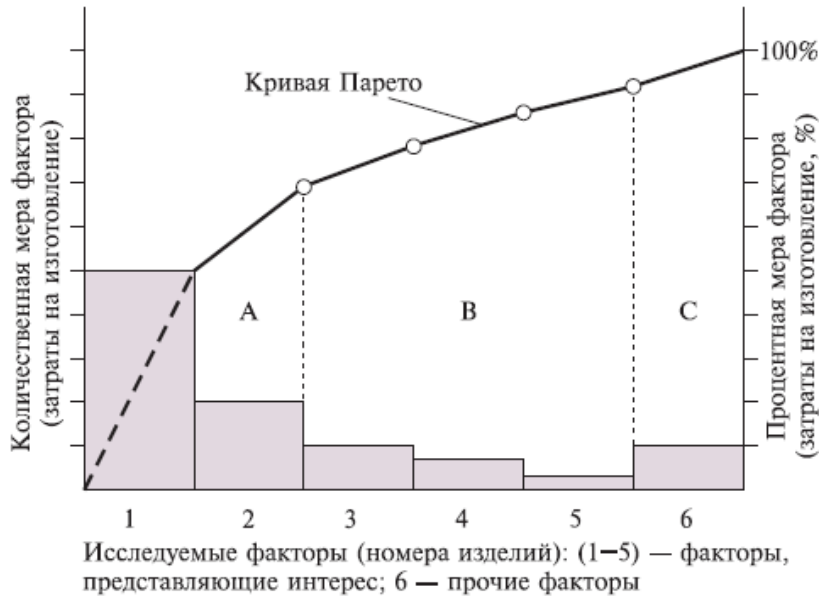


Рисунок 2 – Диаграмма Парето

- заполнить таблицу, расположив данные, полученные по проверяемому фактору, в порядке убывания значимости;
- подготовить оси (одну горизонтальную и две вертикальные линии) для построения диаграммы. Нанести на левую ось ординат шкалу с интервалами от 0 до общей суммы числа выявленных факторов, а на правую ось ординат – шкалу с интервалами от 0 до 100, отражающую процентную меру фактора;
- разделить ось абсцисс на интервалы в соответствии с числом исследуемых факторов или относительной частотой;
- построить столбиковую диаграмму. Высота столбца (откладывается по левой шкале) равна числу появлений соответствующего фактора. Столбцы располагают в порядке убывания (уменьшения значимости фактора). Последний столбец характеризует «прочие», т. е. малозначимые факторы, и может быть выше соседних;
- начертить кумулятивную кривую (кривую Парето) – ломаную, соединяющую точки накопленных сумм (количественной меры факторов или процентов). Каждую точку ставят над соответствующим столбцом столбиковой диаграммы, ориентируясь на его правую сторону;
- нанести на диаграмму все обозначения и надписи;
- провести анализ диаграммы Парето.

Достоинства метода – простота и наглядность делают возможным использование диаграммы Парето специалистами, не имеющими особой подготовки.

Сравнение диаграмм Парето, описывающих ситуацию до и после проведения улучшающих мероприятий, позволяют получить количественную оценку выигрыша от этих мероприятий.

Недостатки метода – при построении сложной, не всегда четко структурированной диаграммы возможны неправильные выводы.

Ожидаемый результат – принятие решения на основании анализа диаграммы Парето.

2.3 ABC- анализ

Анализ диаграммы Парето проводят с помощью ABC-анализа. Цель анализа: выявить проблемы, подлежащие первоочередному решению, путем определения их приоритетности. Число групп при проведении ABC-анализа может быть любым, но наибольшее распространение получило деление рассматриваемой совокупности на три группы: А, В и С, чем и обусловлено название метода (ABC-Analysis):

1) **группа А** – наиболее важные, существенные проблемы, причины, дефекты. Относительный процент группы А в общем количестве дефектов (причин) обычно составляет от 60 до 80%. Соответственно устранение причин этой группы имеет большой приоритет, а связанные с этим мероприятия – самую высокую эффективность;

2) **группа В** – причины, которые в сумме имеют не более 20 %;

3) **группа С** – самые многочисленные, но при этом наименее значимые причины и проблемы.

Экономический смысл ABC-анализа сводится к тому, что максимальный эффект достигается при решении проблем, относящихся к группе А. Графическая интерпретация ABC-анализа представлена на рисунке 3.

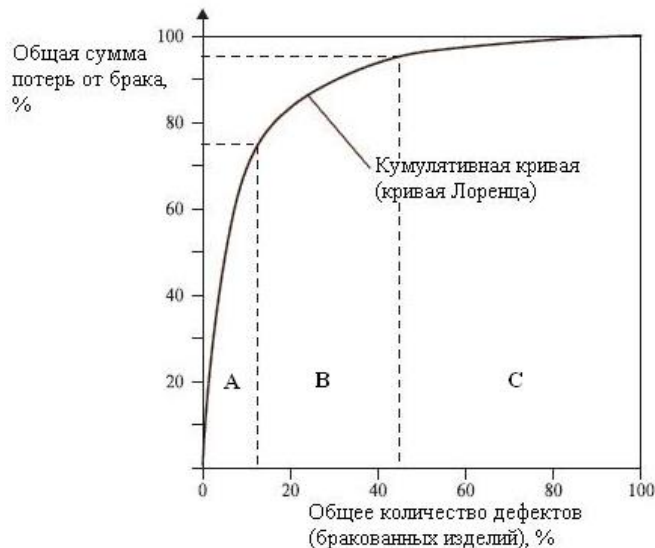


Рисунок 3 – Графическая интерпретация ABC-анализа.

2.4 Метод экспертных оценок

Основные понятия метода экспертных оценок

В случаях чрезвычайной сложности проблемы, ее новизны, недостаточности имеющейся информации, невозможности математической формализации процесса решения приходится обращаться к рекомендациям компетентных специалистов, прекрасно знающих проблему, – к экспертам. Их решение задачи, аргументация, формирование количественных оценок, обработка последних формальными методами получили название **метода экспертных оценок**.

Эксперты – это лица, обладающие знаниями и способные высказать аргументированное мнение по изучаемому явлению.

Процедура получения оценок от экспертов называется **экспертизой**.

Метод экспертных оценок включает в себя три составляющие:

1. Интуитивно-логический анализ задачи. Строится на логическом мышлении и интуиции экспертов, основан на их знании и опыте. Этим объясняется высокий уровень требований, предъявляемых к экспертам.

2. Решение и выдача количественных или качественных оценок. Эта процедура представляет собой завершающую часть работы эксперта. Им формируется решение по рассматриваемой проблеме и дается оценка ожидаемых результатов.

3. Обработка результатов решения. Полученные от экспертов оценки должны быть обработаны с целью получения итоговой оценки проблемы. В зависимости от поставленной задачи изменяется количество выполняемых на этом этапе расчетных и логических процедур. Для обеспечения оперативности и минимизации ошибок на данном этапе целесообразно использование вычислительной техники.

В условиях недостаточно полной и достоверной информации методы экспертных оценок дают вполне приемлемые результаты. В настоящее время, характеризующееся ускорением НТП, появлением новых проблем организационного, технического, экономического, социально-психологического плана, сфера применения метода расширяется.

Приведем некоторые *примеры задач, при решении которых могут использоваться экспертные оценки:*

- выбор вариантов технического и социально-экономического развития предприятия;
- отбор проектов при проведении тендеров;
- отбор заявок на получение грантов и разработку научных тем;
- формирование тематики НИР и ОКР;
- определение стратегических целей фирмы и т.п.

Для решения подобных задач могут использоваться **различные формы проведения экспертизы:**

- дискуссия;
- анкетирование;
- интервьюирование;
- «мозговой штурм»;
- совещание;
- деловая игра и др.

Иногда различные формы используются в комплексе.

Одной из наиболее перспективных форм проведения экспертного оценивания считается **метод Дельфы**.

Метод Дельфы – это набор процедур, выполняемых в определенной последовательности с целью формирования группового мнения о проблеме, характеризующейся недостаточностью информации для использования других методов.

Метод Дельфы – это метод группового анкетирования. *Используемые процедуры характеризуются тремя основными чертами: анонимностью, регулируемой обратной связью и групповым ответом.* Обратная связь осуществляется за счет проведения нескольких туров опроса, причем результаты каждого тура обрабатываются ста-

тистическими методами и сообщаются экспертам. Во втором и последующих турах эксперты аргументируют свои ответы. Таким образом, в последующих турах эксперты могут пересмотреть свои первоначальные ответы. От тура к туру ответы экспертов носят все более устойчивый характер и, в конце концов, перестают изменяться, что служит основанием для прекращения опросов.

Практика показывает, что обычно проводится три-четыре тура опросов, так как в дальнейшем оценки перестают изменяться.

Этапы подготовки и проведения экспертизы

Качество получаемых экспертных оценок в значительной степени определяется подготовкой экспертизы, а также применяемыми методами обработки информации, получаемой от экспертов.

Единых правил подготовки и проведения экспертизы нет.

Однако можно выделить основные этапы ее подготовки и проведения. К ним относятся:

- формулировка цели экспертного анализа;
- формирование группы организаторов экспертизы;
- разработка процедур проведения экспертной оценки;
- подбор экспертов;
- получение экспертных оценок;
- обработка результатов опроса и анализ полученных данных;
- установление степени достижения цели экспертизы.

С точки зрения изучаемой дисциплины наибольший интерес представляют два этапа: получение экспертных оценок, обработка результатов опроса и анализ полученных данных.

Получение экспертных оценок. Понятие шкалы. Типы шкал

Рациональное использование информации, получаемой от экспертов, возможно при условии преобразования ее в форму, удобную для дальнейшего анализа.

Формализация информации, получаемой от экспертов, должна быть направлена на подготовку решения таких задач, которые не могут быть в полной мере описаны математически.

Одна из главных трудностей при оценивании состоит в том, что помимо явлений, объектов, факторов, состояние которых может быть выражено количественно (в руб., \$, кг, км, % и т.п.), приходится оценивать качественные факторы, уровень которых нельзя точно определить. Часть информации, не поддающуюся количественному измерению, необходимо представить в виде косвенных оценок.

Если эксперт способен сравнить и оценить какие-либо объекты, явления, факторы, варианты действий, приписав каждому из них какое-либо число, то говорят, что он обладает определенной *системой предпочтений*.

В зависимости от того, по какой шкале заданы эти предпочтения, экспертные оценки содержат больший или меньший объем информации и обладают различной способностью к математической формализации.

Шкала – это инструмент (принятая система правил) оценки (измерения) каких-либо объектов или явлений.

Различают четыре типа шкал:

1. Номинальная шкала. Реализует простейший тип измерения. В этом случае проводится сравнение свойств объекта (явления) с каким-либо признаком-эталоном, результатом является упорядочение по двухэлементной шкале, где каждому из объектов (явлений) присваивается балл, равный нулю либо единице.

Примером измерения по номинальной шкале может служить проведение зачета. В этом случае эксперт-преподаватель оценивает уровень знаний студентов и выносит решение: зачет (объекту-студенту присваивается балл, равный нулю) или незачет (объекту-студенту присваивается балл, равный единице).

2. Порядковая шкала. *Цель состоит* в упорядочении объектов (явлений), а точнее, в выявлении с помощью экспертов скрытой упорядоченности, которая, по предположению, присуща множеству объектов. *Результатом оценки является* решение о том, что какой-либо объект (явление) предпочтительнее другого в отношении какого-то критерия.

Примером может служить определение жюри победителей и призеров какого-либо конкурса. Здесь эксперты должны решить, что участник, занявший первое место, оказался предпочтительнее (с точки зрения целей конкурса) участника, занявшего второе место. Участник, занявший второе место, в свою очередь, признается лучшим по отношению к третьему и т.д.

3. Интервальная шкала. *Оценка по данной шкале позволяет* не только определить, что один объект (явление) предпочтительнее другого, но также определить: на сколько предпочтительнее. Нулевая точка и единица измерения выбираются при этом произвольно.

Примером оценки по интервальной шкале является проведение экзамена. Здесь эксперт-преподаватель, оценивая уровень знаний студентов, должен не только решить, что один студент знает материал лучше другого, но сказать: на сколько лучше. Измерение фактически производится по шкале из четырех баллов («неудовлетворительно», «удовлетворительно», «хорошо», «отлично»). При этом уровень знаний, соответствующий нулевому баллу (нулевая точка) не известен.

Измерение по интервальной шкале используется при выставлении экспертами-судьями оценок в таких видах спорта, как фигурное катание, прыжки в воду, художественная и спортивная гимнастика.

4. Шкала отношения. *В данном случае предполагается,* что известно абсолютное значение свойств объекта, т.е. известна истинная нулевая точка. Шкала используется для тех факторов, которые могут быть представлены количественно.

Например, при помощи такой шкалы эксперты могут оценить размер прибыли, которая может быть получена в результате реализации какого-либо проекта.

В зависимости от существования исследуемых объектов для их оценки могут быть использованы различные шкалы.

Такие факторы как затраты, прибыль, время могут быть оценены по *шкале отношения* или *интервальной шкале* (например, в рублях, днях, баллах).

Для оценки таких факторов как срок окупаемости или сравнительная эффективность может быть использована *интервальная* или *порядковая шкала*.

Качественные, например, социальные или политические факторы могут оцениваться по *порядковой* или *номинальной шкале*.

Способы измерения объектов

Перейдем к рассмотрению вопросов формирования экспертных оценок, а именно к рассмотрению способов (техники) измерения объектов.

В первую очередь нас будут интересовать способы измерения, позволяющие расположить объекты на порядковой или интервальной шкале, поскольку именно такой тип оценок чаще всего используется при проведении экспертизы. Это объясняется тем, что оценка по номинальной шкале предполагает лишь два варианта ответов – **ДА**, **НЕТ**. По шкале отношения измеряются факторы, имеющие количественный характер. Значения этих факторов часто можно получить расчетным путем без использования экспертных оценок.

Выделим *способы измерения объектов, наиболее часто применяемые при оценке по порядковой или интервальной шкале: ранжирование, парное сравнение, непосредственная оценка.*

1. Ранжирование – это расположение объектов в порядке возрастания или убывания какого-либо присущего им свойства. *Ранжирование позволяет выбрать из исследуемой совокупности факторов наиболее существенный.*

Результатом проведения ранжирования является **ранжировка**.

Если имеется n объектов, то в результате их ранжирования j -м экспертом каждый объект получает оценку x_{ij} – ранг, приписываемый i -му объекту j -м экспертом.

Значения x_{ij} находятся в интервале от 1 до n . Ранг самого важного фактора равен *единице*, наименее значимого – числу n .

Ранжировкой j -го эксперта называется последовательность рангов $x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{nj}$.

Достоинством метода является его простота, а недостатком –ограниченные возможности использования. При оценке большого количества объектов экспертам очень трудно строить ранжированный ряд, поскольку приходится учитывать множество сложных связей.

От этого недостатка свободен следующий метод.

2. Парное сравнение – это установление предпочтения объектов при сравнении всех возможных пар. Здесь не нужно, как при ранжировании, упорядочивать все объекты, необходимо в каждой из пар выявить более значимый объект или установить их равенство.

Парное сравнение можно проводить при большом числе объектов, а также в тех случаях, когда различие между объектами столь незначительно, что практически невыполнимо их ранжирование.

При использовании метода чаще всего составляется матрица размером $n \times n$, где n – количество сравниваемых объектов. Общий вид матрицы парных сравнений представлен в виде таблицы 1.

Таблица 1 – Общий вид матрицы парных сравнений

| Объекты | 1 | 2 | ... | j | ... | n | Σ |
|---------|---|---|-----|-----|-----|-----|----------|
| 1 | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | |
| ... | | | | | | | |
| i | | | | | | | |
| ... | | | | | | | |
| n | | | | | | | |

При сравнении объектов матрица заполняется элементами a_{ij} следующим образом:

$$a_{ij} = \begin{cases} 2, & \text{если объект } i \text{ предпочтительнее объекта } j (i > j); \\ 1, & \text{если установлено равенство объектов } (i = j); \\ 0, & \text{если объект } j \text{ предпочтительнее объекта } i (i < j). \end{cases} \quad (1)$$

Сумма $\sum_{j=1}^n a_{ij}$ (по строке) в данном случае позволяет оценить относительную значимость объектов. Тот объект, для которого сумма окажется наибольшей, может быть признан *наиболее важным* (значимым).

Суммирование можно производить и по столбцам ($\sum_{i=1}^n a_{ij}$), тогда самым существенным будет фактор, набравший наименьшее количество баллов.

3. Непосредственная оценка. Часто бывает желательным не только упорядочить (ранжировать объекты анализа), но и определить, насколько один фактор более значим, чем другие.

В этом случае диапазон изменения характеристик объекта разбивается на отдельные интервалы, каждому из которых приписывается определенная оценка (балл), например, от 0 до 10.

Именно поэтому метод непосредственной оценки иногда именуют также **балльным методом**.

Смысл метода состоит в том, что эксперт помещает каждый из анализируемых объектов в определенный интервал (приписывает балл). Измерителем при этом является степень обладания объектом тем или иным свойством.

Число интервалов, на которые разбивается диапазон изменения свойства, может быть различным для разных экспертов. Кроме того, метод разрешает давать одну и ту же оценку (т.е. помещать в один и тот же интервал) различным объектам.

Обработка результатов опроса экспертов

Перейдем к рассмотрению процедур, выполняемых на этапе обработки результатов опроса.

На базе оценок экспертов получается обобщенная информация об исследуемом объекте (явлении) и формируется решение, задаваемое целью экспертизы. При обработке индивидуальных оценок экспертов используют различные количественные и качественные методы. Выбор того или иного метода зависит от сложности решаемой проблемы, формы, в которой представлены мнения экспертов, целей экспертизы.

Чаще всего при обработке результатов опроса используются **методы математической статистики**.

В зависимости от целей экспертизы при обработке оценок могут решаться следующие проблемы:

- формирование обобщенной оценки;
- определение относительных весов объектов;
- установление степени согласованности мнений экспертов и др.

Далее рассмотрим более подробно методы решения каждой из перечисленных задач.

1 Формирование обобщенной оценки

Итак, пусть группа экспертов оценила какой-либо объект, тогда x_j – оценка j -го эксперта ($j = \overline{1, m}$, где m – число экспертов).

Для формирования обобщенной оценки группы экспертов чаще всего используются средние величины. Например, **медиана (M_E)**, за которую принимается такая оценка, по отношению к которой число больших оценок равняется числу меньших.

Может использоваться также точечная оценка для группы экспертов, вычисляемая как **среднее арифметическое**:

$$\bar{x}_э = \frac{\sum_{j=1}^m x_j}{m}. \quad (2)$$

2 Определение относительных весов объектов

Иногда требуется определить, насколько тот или иной фактор (объект) важен (существенен) с точки зрения какого-либо критерия. В этом случае говорят, что нужно определить *вес* каждого фактора.

Один из методов определения весов состоит в следующем. Пусть x_{ij} – оценка фактора i , данная j -ым экспертом ($i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}$, где n – число сравниваемых объектов, m – число экспертов).

Тогда *вес i -го объекта*, подсчитанный по оценкам всех экспертов (w_i), равен:

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^m w_{ij}}{m}, i = \overline{1, n}, \quad (3)$$

где w_{ij} – вес i -го объекта, подсчитанный по оценкам j -го эксперта, равен:

$$w_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^n x_{ij}}, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}. \quad (4)$$

3 Установление степени согласованности мнений экспертов

В случае участия в опросе нескольких экспертов расхождения в их оценках неизбежны, однако величина этого расхождения имеет важное значение. Групповая оценка может считаться достаточно надежной только при условии хорошей согласованности ответов отдельных специалистов.

Для анализа разброса и согласованности оценок применяются статистические характеристики – *меры разброса*.

Вариационный размах (R):

$$R = x_{\max} - x_{\min}, \quad (5)$$

где x_{\max} – максимальная оценка объекта;

x_{\min} – минимальная оценка объекта.

Среднее квадратическое отклонение:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^m (x_j - \bar{x}_j)^2}{m-1}}, \quad (6)$$

где x_j – оценка, данная j -м экспертом;

m – количество экспертов.

Коэффициент вариации (V), выраженный в процентах:

$$V = \frac{\sigma}{\bar{x}_j} \cdot 100\%. \quad (7)$$

Специфичны подходы к проверке согласованности, используемые при оценке объектов методом ранжирования.

В этом случае результатом работы эксперта является ранжировка, представляющая собой последовательность рангов (для эксперта j): $x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{nj}$.

Согласованность между ранжировками двух экспертов можно определить с помощью *коэффициента ранговой корреляции Спирмэна*:

$$\rho - 1 = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n (x_{ij} - x_{ik})^2}{n(n^2 - 1)} = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n d_i^2}{n(n^2 - 1)}, \quad (8)$$

где x_{ij} – ранг, присвоенный i -му объекту j -м экспертом;

x_{ik} – ранг, присвоенный i -му объекту k -м экспертом;

d_i – разница между рангами, присвоенными i -му объекту.

Величина может изменяться в диапазоне от -1 до $+1$. При полном совпадении оценок коэффициент равен единице. Равенство коэффициента минус единице наблюдается при наибольшем расхождении в мнениях экспертов.

Кроме того, расчет коэффициента ранговой корреляции может применяться как способ оценки взаимоотношений между каким-либо фактором и результативным признаком (реакцией) в тех случаях, когда признаки не могут быть измерены точно, но могут быть упорядочены.

В этом случае значение коэффициента Спирмэна может быть интерпретировано подобно значению коэффициента парной корреляции. Положительное значение свидетельствует о прямой связи между факторами, отрицательное – об обратной, при этом, чем ближе абсолютное значение коэффициента к единице, тем теснее связь.

Когда необходимо определить согласованность в ранжировках большого (более двух) числа экспертов, рассчитывается так называемый **коэффициент конкордации** – общий коэффициент ранговой корреляции для группы, состоящей из m экспертов:

$$W = \frac{12 \cdot S}{m^2(n^3 - n)}, \quad (9)$$

где:

$$S = \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^m x_{ij} - \frac{1}{2} \cdot m(n+1) \right)^2. \quad (10)$$

Заметим, что вычитаемое в скобках представляет собой не что иное, как среднюю сумму рангов (при суммировании для каждого объекта), полученных i объектами от экспертов.

Коэффициент W изменяется в диапазоне от 0 до 1 . Его равенство единице означает, что все эксперты присвоили объектам одинаковые ранги. Чем ближе значение коэффициента к нулю, тем менее согласованными являются оценки экспертов.

2.5 Корреляционно-регрессионный анализ (диаграмма разброса)

Основные понятия корреляционно-регрессионного анализа

Диаграмма разброса (рассеивания) – это инструмент, позволяющий определить вид и тесноту связи между парами соответствующих переменных.

Эти две переменные x и y могут относиться:

- к характеристике качества y и к влияющему на нее фактору x ;
- к двум различным характеристикам качества x и y ;
- к двум факторам x и y , влияющим на одну характеристику качества z .

Для выявления связи между ними и служит диаграмма разброса (рассеивания), которую также часто называют *полем корреляции*.

Понятие **корреляции** появилось в середине XIX века в работах английских статистиков Ф. Гальтона и К. Пирсона.

Понятие **регрессии** также введено Ф. Гальтоном, который, изучая связь между ростом родителей и их детей, обнаружил явление «*регрессии к среднему*» – рост детей очень высоких родителей имел тенденцию быть ближе к средней величине.

Теория и методы корреляционного анализа используются для выявления связи между случайными переменными и оценки ее тесноты.

Основной задачей регрессионного анализа является установление формы и изучение зависимости между переменными.

В общем случае две величины могут быть связаны функциональной зависимостью, либо зависимостью другого рода, называемой статистической, либо быть независимыми.

Статистической называется зависимость, при которой изменение одной из величин влечет изменение распределения другой.

Статистическая зависимость, при которой изменение одной из величин влечет изменение среднего значения другой, называется **корреляционной**.

Корреляционные зависимости занимают промежуточное положение между функциональной зависимостью и полной независимостью переменных.

Между величинами, характеризующими экономические явления, в большинстве случаев существуют зависимости, отличные от функциональных. Пусть, например, мы рассматриваем зависимость величины Y от величины $x - y(x)$.

Невозможность выявления строгой связи между двумя переменными объясняется тем, что значение зависимой переменной Y определяется не только значением переменной x , но и другими (неконтролируемыми или неучтенными) факторами, а также тем, что измерение значений переменных неизбежно сопровождается некоторыми случайными ошибками.

Вследствие этого корреляционный анализ широко используется при установлении взаимосвязи экономических показателей.

Итак, если с увеличением x значение зависимой переменной Y в среднем увеличивается, то такая **зависимость называется прямой или положительной**.

Если среднее значение Y при увеличении x уменьшается, имеет место **отрицательная или обратная корреляция**.

Если с изменением x значения Y в среднем не изменяются, то говорят, что **корреляция – нулевая**.

Часто при исследовании взаимосвязи между какими-либо показателями, представляют изучаемый объект в виде так называемого «*черного (кибернетического) ящика*».

Самый простой случай – изучение связи между одной переменной x , которую называют **фактором (входной переменной, независимой переменной)**, и переменной Y , которую называют **откликом (реакцией, зависимой переменной)**. Ситуации соответствует рисунок 4.

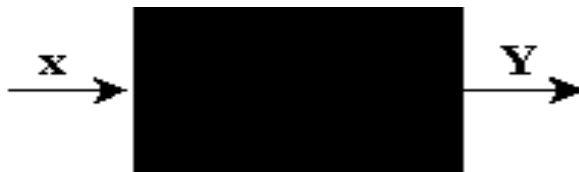


Рисунок 4 – Представление исследуемой системы в виде «черного ящика» (один фактор, один отклик)

В более общем случае итогом функционирования системы является целый набор результирующих величин Y_s ($s = \overline{1, k}$). При этом значения откликов Y_s определяются, с

одной стороны, совокупностью факторов x_j ($j=\overline{1, n}$), а, с другой стороны, набором возмущений (случайных, неконтролируемых факторов $x_{\delta i}$ ($i=\overline{1, m}$)). Такую ситуацию иллюстрирует рисунок 5.

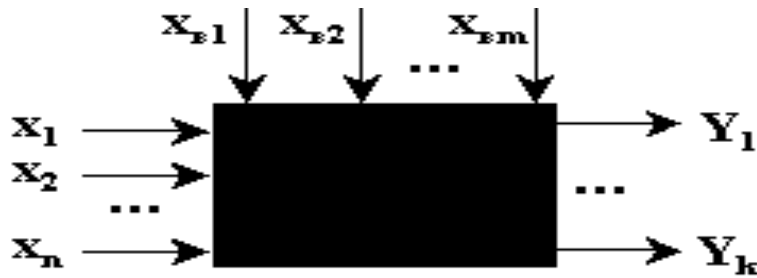


Рисунок 5 – Представление исследуемой системы в виде «черного ящика» (общий случай)

Собственно говоря, на протяжении столетий ученые (особенно, естествоиспытатели) используют подобные приемы, т.е. наблюдают, что произойдет с явлением, процессом (с откликом Y), если изменять значения влияющих на процесс факторов (переменных x).

Корреляционным полем называется множество точек $\{X_i, Y_i\}$ на плоскости XU (рисунки 6 и 7).

Если точки корреляционного поля образуют эллипс, главная диагональ которого имеет положительный угол наклона ($/$), то имеет место **положительная корреляция** (рис. 6).

Если точки корреляционного поля образуют эллипс, главная диагональ которого имеет отрицательный угол наклона (\backslash), то имеет место **отрицательная корреляция** (рис. 7).

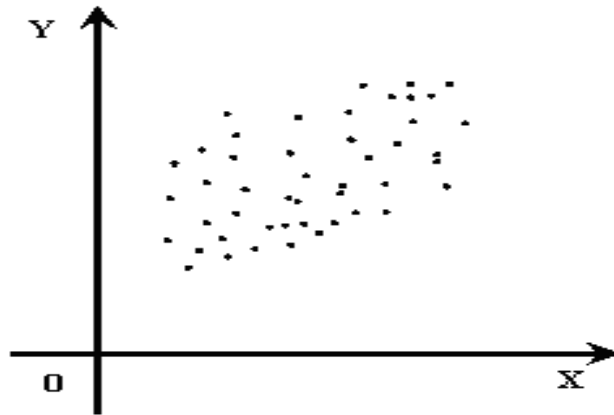


Рисунок 6 – Пример корреляционного поля (положительная корреляция)

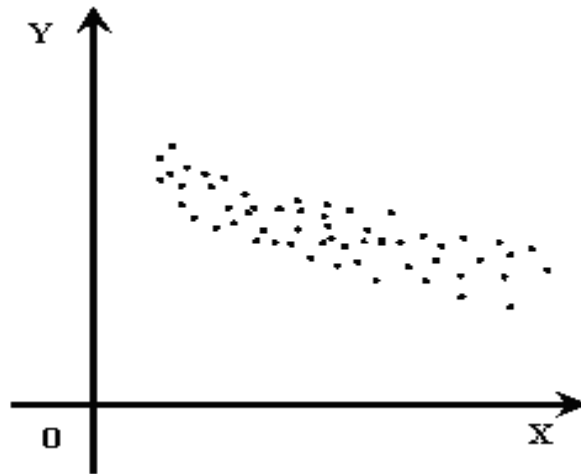


Рисунок 7 – Пример корреляционного поля (отрицательная корреляция)

Если же в расположении точек нет какой-либо закономерности, то говорят, что в этом случае наблюдается *нулевая корреляция*.

Линейная парная регрессия

Связь зависимой переменной с одной или несколькими независимыми переменными описывается с помощью уравнения регрессии:

$$\hat{y} = f(x_1, x_2, \dots, x_m). \quad (11)$$

Это уравнение показывает, каково будет в среднем значение y , если переменные x примут конкретные значения.

Если независимая переменная одна, то *регрессия называется парной*.

Построение уравнения регрессии включает два этапа:

- 1) определение вида зависимости (этап спецификации);
- 2) определение коэффициентов регрессии (этап идентификации).

Предположим, на этапе спецификации установлено, что между величинами x и y существует линейная зависимость. Реальные значения y будут отличаться от этой теоретической зависимости.

В общем случае линейное уравнение связи двух переменных, учитывающее случайные отклонения, можно представить в виде:

$$\hat{y} = \alpha + \beta \cdot x + \varepsilon, \quad (12)$$

где ε – отклонение от теоретически предполагаемого значения;

α и β – неизвестные параметры (коэффициенты регрессии).

В уравнении (12) можно выделить две части:

- 1) систематическую ($\hat{y} = \alpha + \beta \cdot x$), где \hat{y} характеризует некоторое среднее значение y для данного значения x ;
- 2) случайную (ε).

Коэффициенты α и β описывают вид зависимости для генеральной совокупности. Так как при выполнении подобных исследований всегда имеют дело с выборочной совокупностью, то истинные значения параметров α и β являются неизвестными, и мы можем говорить лишь об их оценках.

Обозначим эти оценки, соответственно, a и b , тогда *уравнение регрессии с оцененными параметрами:*

$$\widehat{y}_i = a + b \cdot x_i, i = \overline{1, n}, \quad (13)$$

где n – объем выборки.

Обозначим через e_i отклонение реального значения отклика y_i от теоретически рассчитанного по уравнению \widehat{y}_i .

Параметры a и b уравнения регрессии чаще всего оцениваются с помощью **метода наименьших квадратов (МНК)**.

Суть его состоит в том, чтобы зная положение точек на плоскости XY , так провести линию регрессии, чтобы сумма квадратов отклонений этих точек от проведенной прямой вдоль оси OY была минимальной.

Математически критерий оценки параметров линейной парной регрессии:

$$Q = \sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \widehat{y}_i)^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - a - b \cdot x_i)^2 \rightarrow \min.$$

Условие существования экстремума функции – равенство нулю производной:

$$\begin{cases} \frac{\partial Q}{\partial a} = -2 \cdot \sum (y_i - a - b \cdot x_i) = 0, \\ \frac{\partial Q}{\partial b} = -2 \cdot \sum (y_i - a - b \cdot x_i) \cdot x_i = 0. \end{cases}$$

Раскрыв скобки и выполнив преобразования, получим систему из двух уравнений с двумя неизвестными:

$$\begin{cases} n \cdot a + b \cdot \sum x_i = \sum y_i, \\ a \cdot \sum x_i + b \cdot \sum x_i^2 = \sum x_i \cdot y_i. \end{cases}$$

Разделив первое уравнение на n , получим:

$$a + b \cdot \bar{x} = \bar{y}.$$

Т.е. метод наименьших квадратов дает прямую, проходящую через точку (\bar{x}, \bar{y}) .

Решая систему уравнений, получим *расчетные формулы для нахождения коэффициентов уравнения регрессии:*

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2};$$

$$a = \bar{y} - b \cdot \bar{x}.$$

Коэффициент линейной корреляции

Величина влияния фактора на исследуемый отклик может быть оценена при помощи **коэффициента линейной парной корреляции**, характеризующего тесноту (силу) линейной связи между двумя переменными.

Коэффициент линейной парной корреляции:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (14)$$

Коэффициент обладает следующими свойствами:

1) не имеет размерности, следовательно, сопоставим для величин различных порядков;

2) *изменяется в диапазоне от -1 до $+1$. Положительное значение* свидетельствует о прямой линейной связи, *отрицательное* – об обратной. Чем ближе абсолютное значение коэффициента к единице, тем теснее связь. Считается, что *связь достаточно сильная*, если коэффициент по абсолютной величине превышает 0,7, и *слабая*, если он менее 0,3 (см. табл. 2).

Величина r^2 называется *коэффициентом детерминации*. Он определяет долю вариации одной из переменных, которая объясняется вариацией другой переменной.

Для характеристики тесноты связи можно пользоваться таблицей 2.

Таблица 2 – Количественные критерии оценки тесноты связи

| Величина коэффициента корреляции | Характер связи |
|----------------------------------|-------------------------|
| До $ \pm 0,3 $ | Практически отсутствует |
| $ \pm 0,3 - \pm 0,5 $ | Слабая |
| $ \pm 0,5 - \pm 0,7 $ | Умеренная |
| $ \pm 0,7 - \pm 1,0 $ | Сильная |

Для расчета коэффициента корреляции необходимо заполнить таблицу 3.

Таблица 3 – Данные для расчета коэффициента корреляции.

| № п/п | x | y | $x_i - \bar{x}$ | $y_i - \bar{y}$ | $(x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})$ | $(x_i - \bar{x})^2$ | $(y_i - \bar{y})^2$ |
|-------|--------------------|--------------------|-----------------|-----------------|---|----------------------------------|----------------------------------|
| 1 | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | |
| ... | | | | | | | |
| n | | | | | | | |
| | $\sum_{i=1}^n x_i$ | $\sum_{i=1}^n y_i$ | | | $\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$ | $\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$ | $\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$ |

3 Задания на расчетно-графическую работу

Расчетно-графическая работа (РГР) состоит из трех разделов, второй и третий разделы включают в себя двадцать два варианта заданий.

Раздел 1. Причинно-следственная диаграмма Исикавы

В процессе ремонта или эксплуатации подвижного состава (на своем рабочем месте) вы сталкиваетесь с причинами возникновения дефектов и/или брака которые чаще всего кроются в:

- 1) Низкое качество поставляемых и изготавливаемых комплектующих;
- 2) Опыт и квалификация рабочих;
- 3) Отсутствие запаса комплектующих на складе;

- 4) Поставка некачественного инструмента;
- 5) Некачественное выполнение динамической формовки коллектора;
- 6) Неисправность испытательного стенда;
- 7) Отсутствие контроля соблюдения технологической дисциплины со стороны мастера;
- 8) Низкая заработная плата рабочих;
- 9) Не ритмичная замена и ремонт изношенного оборудования;
- 10) Погрешность измерения параметров;
- 11) Не благоприятный психологический климат в коллективе;
- 12) Не регулярная поставка инструмента согласно поданным заявкам;
- 13) Ошибки в формировании ремонтного листа;
- 14) Организация рабочего места и сосредоточенности рабочего;
- 15) Отсутствие специалистов в области качества;
- 16) Отсутствие вознаграждений за труд рабочих;
- 17) Трудовая дисциплина;
- 18) Контроль за безопасностью;
- 19) Нормы времени;
- 20) Знание техники безопасности;
- 21) Проверка оборудования и инструментов перед работой;
- 22) Привлечение рабочих на непрофильные работы и др.

В задаче требуется: Составить свой список причин возникновения того или иного дефекта и/или брака (проблемы) в процессе эксплуатации или ремонте подвижного состава и рассортировать причины возникновения дефектов (брака) по следующим категориям:

- причины, обусловленные качеством применяемых материалов, комплектующих;
- причины, обусловленные влиянием используемого оборудования и инструмента;
- причины, обусловленные методом;
- причины, обусловленные влиянием контроля;
- причины, обусловленные квалификацией и опытом рабочих, занятых в производстве.

В случае невозможности составления своего списка причин возникновения дефекта или брака рассортировать перечисленные выше причины по выше указанным категориям.

1. Постройте причинно-следственную диаграмму для анализа качества ремонта или эксплуатации комплектующих подвижного состава с выделением наиболее значимых.

2. Примените правило Парето к полученным результатам задания.

Примечание: при определении значимости причин, Вы выступаете в качестве экспертов и можете расположить их в том порядке, какой считаете правильным.

Раздел 2. Диаграмма Парето. ABC-анализ

При эксплуатации тягового электродвигателя (ТЭД) на надежность работы скользящего контакта коллекторно-щеточного узла (КЩУ) оказывают влияние следующие десять факторов:

- X_1 – удельное нажатие щетки на коллектор;
- X_2 – линейная скорость скольжения коллектора по щетке;
- X_3 – плотность тока под щеткой;
- X_4 – удельное электрическое сопротивление щетки;
- X_5 – модуль упругости щетки;
- X_6 – твердость материала щетки;
- X_7 – твердость материала коллектора;

X_8 – площадь контакта щетки с коллектором;

X_9 – температура в скользящем контакте;

X_{10} – удельное сопротивление политуры (окисной пленки на коллекторе).

Эти факторы зачастую приводят к порче коллектора и щеток. Поэтому чаще всего при ремонте ТЭД производится полная замена неработоспособных щеток новой партией. Однако при их производстве неизбежны дефекты, поэтому необходим контроль качества изготавливаемых изделий. К числу таких дефектов можно отнести: царапины, трещины, шероховатости на рабочей поверхности щеток, сколы.

В задаче требуется: 1. Определить методом экспертных оценок (ранговой корреляции при помощи коэффициента конкордации) степень согласованности мнений специалистов относительно значимости влияния анализируемых факторов на надежность работы КЩУ (в опросе приняли участие ведущие специалисты научных организаций железнодорожного транспорта и локомотивных депо; результаты обрабатывались по десятибалльной шкале).

2. Построить ступенчатую диаграмму факторов.

3. Построить диаграмму Парето для анализа качества изготавливаемых щеток.

4. Выделить группу наиболее существенных, применив ABC-анализ.

5. Оценить рейтинг каждого вида дефекта с точки зрения количества дефектов, затрат времени и издержек производства на их устранение.

Данные для расчетов и построений приведены в таблицах 2.1–2.22.

Таблица 2.1 – Вариант 1

| Номера экспертов | Количество факторов | | | | | | | | | |
|---------------------|--------------------------------------|-------|-------|---------------------|--------------------------------|---|-------|-------|-------|----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| | X_1 | X_2 | X_3 | X_4 | X_5 | X_6 | X_7 | X_8 | X_9 | X_{10} |
| Эксперт № 1 | 8 | 1 | 7 | 9 | 10 | 3 | 6 | 2 | 5 | 4 |
| Эксперт № 2 | 9 | 2 | 5 | 3 | 4 | 7 | 10 | 8 | 1 | 6 |
| Эксперт № 3 | 6 | 3 | 10 | 1 | 9 | 8 | 4 | 7 | 2 | 5 |
| Эксперт № 4 | 10 | 1 | 6 | 3 | 9 | 4 | 5 | 8 | 7 | 2 |
| Эксперт № 5 | 8 | 6 | 2 | 4 | 7 | 10 | 3 | 5 | 9 | 1 |
| Эксперт № 6 | 7 | 10 | 1 | 5 | 9 | 6 | 2 | 8 | 4 | 3 |
| Эксперт № 7 | 8 | 7 | 4 | 2 | 10 | 5 | 1 | 6 | 3 | 9 |
| Шифр дефекта | Вид дефекта | | | Количество дефектов | Время устранения на единицу, ч | Затраты на устранение на единицу, т. руб. | | | | |
| 1 | 2 | | | 3 | 4 | 5 | | | | |
| 1 | Царапины | | | 25 | 3 | 20 | | | | |
| 2 | Трещины | | | 16 | 2 | 5 | | | | |
| 3 | Шероховатости на рабочей поверхности | | | 10 | 4 | 8 | | | | |
| 4 | Сколы | | | 7 | 1 | 2 | | | | |
| 5 | Прочие | | | 5 | 5 | 25 | | | | |
| Весовой коэффициент | | | | $K_N = 1$ | $K_t = 2$ | $K_3 = 3$ | | | | |

Таблица 2.2 – Вариант 2

| Номера экспертов | Количество факторов | | | | | | | | | |
|------------------|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| | X_1 | X_2 | X_3 | X_4 | X_5 | X_6 | X_7 | X_8 | X_9 | X_{10} |
| Эксперт № 1 | 6 | 1 | 4 | 8 | 10 | 2 | 3 | 5 | 7 | 9 |
| Эксперт № 2 | 1 | 3 | 10 | 5 | 2 | 9 | 6 | 8 | 7 | 4 |

| | | | | | | | | | | |
|---------------------|---|---|---|------------------------|---|----|--|----|---|----|
| Эксперт № 3 | 4 | 3 | 1 | 2 | 6 | 10 | 5 | 7 | 9 | 8 |
| Эксперт № 4 | 1 | 2 | 5 | 6 | 9 | 10 | 3 | 4 | 7 | 8 |
| Эксперт № 5 | 2 | 5 | 4 | 8 | 6 | 9 | 1 | 3 | 7 | 10 |
| Эксперт № 6 | 3 | 8 | 2 | 4 | 1 | 7 | 5 | 10 | 6 | 9 |
| Эксперт № 7 | 7 | 5 | 9 | 1 | 6 | 8 | 4 | 2 | 3 | 10 |
| Шифр де- фекта | Вид дефекта | | | Количество дефектов | Время устранения на единицу, ч | | Затраты на устранение на единицу, т. руб. | | | |
| 1 | 2 | | | 3 | 4 | | 5 | | | |
| 1 | Царапины | | | 20 | 2 | | 5 | | | |
| 2 | Трещины | | | 16 | 4 | | 12 | | | |
| 3 | Шероховатости на рабо- чей поверхности | | | 11 | 5 | | 18 | | | |
| 4 | Сколы | | | 5 | 3 | | 9 | | | |
| 5 | Прочие | | | 9 | 1 | | 3 | | | |
| Весовой коэффициент | | | | $K_N = 1$ | $K_t = 2$ | | $K_3 = 4$ | | | |

Таблица 2.3 – Вариант 3

| Номера экспертов | Количество факторов | | | | | | | | | |
|---------------------|---|-------|-------|------------------------|---|-------|--|-------|-------|----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| | X_1 | X_2 | X_3 | X_4 | X_5 | X_6 | X_7 | X_8 | X_9 | X_{10} |
| Эксперт № 1 | 2 | 4 | 8 | 3 | 7 | 5 | 6 | 10 | 9 | 1 |
| Эксперт № 2 | 10 | 1 | 9 | 2 | 8 | 3 | 5 | 4 | 6 | 7 |
| Эксперт № 3 | 3 | 2 | 7 | 10 | 6 | 9 | 1 | 5 | 8 | 4 |
| Эксперт № 4 | 5 | 2 | 4 | 6 | 10 | 3 | 9 | 8 | 7 | 1 |
| Эксперт № 5 | 4 | 3 | 2 | 5 | 8 | 7 | 10 | 1 | 9 | 6 |
| Эксперт № 6 | 6 | 1 | 10 | 7 | 9 | 2 | 3 | 4 | 8 | 5 |
| Эксперт № 7 | 5 | 7 | 6 | 2 | 9 | 1 | 4 | 3 | 10 | 8 |
| Шифр де- фекта | Вид дефекта | | | Количество дефектов | Время устранения на единицу, ч | | Затраты на устранение на единицу, т. руб. | | | |
| 1 | 2 | | | 3 | 4 | | 5 | | | |
| 1 | Царапины | | | 19 | 4 | | 11 | | | |
| 2 | Трещины | | | 13 | 1 | | 21 | | | |
| 3 | Шероховатости на рабо- чей поверхности | | | 9 | 5 | | 15 | | | |
| 4 | Сколы | | | 3 | 2 | | 9 | | | |
| 5 | Прочие | | | 8 | 3 | | 12 | | | |
| Весовой коэффициент | | | | $K_N = 1$ | $K_t = 2$ | | $K_3 = 5$ | | | |

Таблица 2.4 – Вариант 4

| Номера экспертов | Количество факторов | | | | | | | | | |
|------------------|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| | X_1 | X_2 | X_3 | X_4 | X_5 | X_6 | X_7 | X_8 | X_9 | X_{10} |
| Эксперт № 1 | 6 | 10 | 1 | 8 | 2 | 7 | 4 | 5 | 9 | 3 |
| Эксперт № 2 | 1 | 9 | 5 | 2 | 7 | 8 | 3 | 10 | 6 | 4 |

| | | | | | | | | | | |
|---------------------|---|----|------------------------|---|---|----|--|---|---|---|
| Эксперт № 3 | 3 | 8 | 6 | 5 | 1 | 10 | 4 | 2 | 9 | 7 |
| Эксперт № 4 | 4 | 10 | 2 | 1 | 9 | 5 | 8 | 6 | 7 | 3 |
| Эксперт № 5 | 2 | 9 | 6 | 8 | 5 | 3 | 10 | 4 | 7 | 1 |
| Эксперт № 6 | 1 | 8 | 3 | 4 | 5 | 10 | 7 | 2 | 9 | 6 |
| Эксперт № 7 | 2 | 7 | 6 | 8 | 10 | 1 | 3 | 5 | 4 | 9 |
| Шифр де- фекта | Вид дефекта | | Количество дефектов | | Время устранения на единицу, ч | | Затраты на устранение на единицу, т. руб. | | | |
| 1 | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | | | |
| 1 | Царапины | | 22 | | 1 | | 27 | | | |
| 2 | Трещины | | 19 | | 5 | | 14 | | | |
| 3 | Шероховатости на рабо- чей поверхности | | 15 | | 3 | | 6 | | | |
| 4 | Сколы | | 9 | | 4 | | 18 | | | |
| 5 | Прочие | | 10 | | 2 | | 9 | | | |
| Весовой коэффициент | | | $K_N = 1$ | | $K_t = 3$ | | $K_3 = 4$ | | | |

Таблица 2.5 – Вариант 5

| | | | | | | | | | | |
|---------------------|---|-------|------------------------|-------|---|-------|--|-------|-------|----------|
| Номера экспертов | <i>Количество факторов</i> | | | | | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| | X_1 | X_2 | X_3 | X_4 | X_5 | X_6 | X_7 | X_8 | X_9 | X_{10} |
| Эксперт № 1 | 1 | 3 | 5 | 2 | 9 | 7 | 4 | 6 | 8 | 10 |
| Эксперт № 2 | 9 | 7 | 5 | 3 | 1 | 10 | 8 | 2 | 6 | 4 |
| Эксперт № 3 | 1 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 10 |
| Эксперт № 4 | 2 | 9 | 3 | 5 | 4 | 10 | 8 | 1 | 6 | 7 |
| Эксперт № 5 | 5 | 6 | 1 | 2 | 3 | 9 | 10 | 4 | 7 | 8 |
| Эксперт № 6 | 1 | 3 | 5 | 7 | 9 | 10 | 8 | 2 | 4 | 6 |
| Эксперт № 7 | 6 | 8 | 1 | 10 | 2 | 4 | 9 | 7 | 3 | 5 |
| Шифр де- фекта | Вид дефекта | | Количество дефектов | | Время устранения на единицу, ч | | Затраты на устранение на единицу, т. руб. | | | |
| 1 | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | | | |
| 1 | Царапины | | 28 | | 5 | | 17 | | | |
| 2 | Трещины | | 25 | | 1 | | 24 | | | |
| 3 | Шероховатости на рабо- чей поверхности | | 20 | | 3 | | 13 | | | |
| 4 | Сколы | | 13 | | 4 | | 7 | | | |
| 5 | Прочие | | 16 | | 2 | | 11 | | | |
| Весовой коэффициент | | | $K_N = 1$ | | $K_t = 3$ | | $K_3 = 5$ | | | |

Таблица 2.6 – Вариант 6

| | | | | | | | | | | |
|------------------|----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
| Номера экспертов | <i>Количество факторов</i> | | | | | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| | X_1 | X_2 | X_3 | X_4 | X_5 | X_6 | X_7 | X_8 | X_9 | X_{10} |
| Эксперт № 1 | 2 | 9 | 1 | 10 | 5 | 7 | 8 | 3 | 6 | 4 |
| Эксперт № 2 | 5 | 8 | 2 | 4 | 9 | 6 | 10 | 3 | 7 | 1 |

| | | | | | | | | | | |
|---------------------|---|---|----|------------------------|---|----|----|--|----|---|
| Эксперт № 3 | 10 | 9 | 5 | 4 | 1 | 8 | 7 | 2 | 6 | 3 |
| Эксперт № 4 | 1 | 5 | 10 | 7 | 3 | 9 | 6 | 2 | 8 | 4 |
| Эксперт № 5 | 3 | 9 | 7 | 8 | 2 | 6 | 10 | 4 | 5 | 1 |
| Эксперт № 6 | 4 | 2 | 9 | 1 | 7 | 6 | 8 | 3 | 10 | 5 |
| Эксперт № 7 | 1 | 3 | 6 | 7 | 4 | 10 | 5 | 8 | 9 | 2 |
| Шифр де- фекта | Вид дефекта | | | Количество дефектов | Время устранения на единицу, ч | | | Затраты на устранение на единицу, т. руб. | | |
| 1 | 2 | | | 3 | 4 | | | 5 | | |
| 1 | Царапины | | | 19 | 3 | | | 13 | | |
| 2 | Трещины | | | 14 | 4 | | | 18 | | |
| 3 | Шероховатости на рабо- чей поверхности | | | 9 | 1 | | | 10 | | |
| 4 | Сколы | | | 2 | 5 | | | 16 | | |
| 5 | Прочие | | | 6 | 2 | | | 25 | | |
| Весовой коэффициент | | | | $K_N = 1$ | $K_t = 4$ | | | $K_3 = 5$ | | |

Таблица 2.7 – Вариант 7

| Номера экспертов | Количество факторов | | | | | | | | | |
|---------------------|---|-------|-------|------------------------|---|-------|-------|--|-------|----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| | X_1 | X_2 | X_3 | X_4 | X_5 | X_6 | X_7 | X_8 | X_9 | X_{10} |
| Эксперт № 1 | 6 | 10 | 5 | 7 | 1 | 4 | 9 | 2 | 8 | 3 |
| Эксперт № 2 | 8 | 1 | 7 | 10 | 4 | 9 | 2 | 3 | 5 | 6 |
| Эксперт № 3 | 7 | 4 | 2 | 3 | 1 | 6 | 10 | 8 | 9 | 5 |
| Эксперт № 4 | 9 | 5 | 3 | 8 | 4 | 2 | 6 | 7 | 10 | 1 |
| Эксперт № 5 | 10 | 3 | 1 | 9 | 7 | 6 | 8 | 4 | 5 | 2 |
| Эксперт № 6 | 9 | 1 | 3 | 10 | 8 | 5 | 4 | 6 | 7 | 2 |
| Эксперт № 7 | 2 | 10 | 4 | 9 | 5 | 8 | 7 | 3 | 6 | 1 |
| Шифр де- фекта | Вид дефекта | | | Количество дефектов | Время устранения на единицу, ч | | | Затраты на устранение на единицу, т. руб. | | |
| 1 | 2 | | | 3 | 4 | | | 5 | | |
| 1 | Царапины | | | 21 | 4 | | | 27 | | |
| 2 | Трещины | | | 15 | 1 | | | 11 | | |
| 3 | Шероховатости на рабо- чей поверхности | | | 13 | 2 | | | 17 | | |
| 4 | Сколы | | | 5 | 3 | | | 12 | | |
| 5 | Прочие | | | 8 | 5 | | | 20 | | |
| Весовой коэффициент | | | | $K_N = 1$ | $K_t = 2$ | | | $K_3 = 3$ | | |

Таблица 2.8 – Вариант 8

| Номера экспертов | Количество факторов | | | | | | | | | |
|------------------|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| | X_1 | X_2 | X_3 | X_4 | X_5 | X_6 | X_7 | X_8 | X_9 | X_{10} |
| Эксперт № 1 | 2 | 6 | 3 | 8 | 10 | 5 | 1 | 9 | 7 | 4 |
| Эксперт № 2 | 9 | 4 | 10 | 1 | 3 | 2 | 5 | 8 | 6 | 7 |

| | | | | | | | | | | |
|---------------------|---|----|---|------------------------|---|---|---|--|----|---|
| Эксперт № 3 | 1 | 5 | 9 | 4 | 7 | 2 | 3 | 10 | 8 | 6 |
| Эксперт № 4 | 3 | 1 | 5 | 7 | 2 | 4 | 9 | 8 | 10 | 6 |
| Эксперт № 5 | 2 | 10 | 9 | 1 | 7 | 3 | 8 | 6 | 4 | 5 |
| Эксперт № 6 | 10 | 3 | 6 | 2 | 5 | 7 | 1 | 4 | 9 | 8 |
| Эксперт № 7 | 4 | 5 | 9 | 3 | 2 | 1 | 7 | 10 | 8 | 6 |
| Шифр де- фекта | Вид дефекта | | | Количество дефектов | | Время устранения на единицу, ч | | Затраты на устранение на единицу, т. руб. | | |
| 1 | 2 | | | 3 | | 4 | | 5 | | |
| 1 | Царапины | | | 22 | | 3 | | 20 | | |
| 2 | Трещины | | | 16 | | 2 | | 5 | | |
| 3 | Шероховатости на рабо- чей поверхности | | | 14 | | 4 | | 8 | | |
| 4 | Сколы | | | 4 | | 1 | | 2 | | |
| 5 | Прочие | | | 5 | | 5 | | 25 | | |
| Весовой коэффициент | | | | $K_N = 1$ | | $K_t = 2$ | | $K_3 = 4$ | | |

Таблица 2.9 – Вариант 9

| | | | | | | | | | | |
|---------------------|---|-------|-------|------------------------|-------|---|-------|--|-------|----------|
| Номера экспертов | <i>Количество факторов</i> | | | | | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| | X_1 | X_2 | X_3 | X_4 | X_5 | X_6 | X_7 | X_8 | X_9 | X_{10} |
| Эксперт № 1 | 1 | 3 | 5 | 10 | 9 | 7 | 4 | 6 | 8 | 2 |
| Эксперт № 2 | 2 | 4 | 3 | 10 | 8 | 6 | 1 | 9 | 7 | 5 |
| Эксперт № 3 | 10 | 8 | 6 | 4 | 2 | 9 | 5 | 7 | 3 | 1 |
| Эксперт № 4 | 9 | 7 | 5 | 8 | 1 | 10 | 3 | 6 | 4 | 2 |
| Эксперт № 5 | 1 | 2 | 10 | 9 | 5 | 6 | 7 | 8 | 4 | 3 |
| Эксперт № 6 | 3 | 9 | 8 | 7 | 6 | 1 | 4 | 10 | 2 | 5 |
| Эксперт № 7 | 1 | 10 | 4 | 9 | 3 | 8 | 2 | 7 | 5 | 6 |
| Шифр де- фекта | Вид дефекта | | | Количество дефектов | | Время устранения на единицу, ч | | Затраты на устранение на единицу, т. руб. | | |
| 1 | 2 | | | 3 | | 4 | | 5 | | |
| 1 | Царапины | | | 27 | | 5 | | 21 | | |
| 2 | Трещины | | | 24 | | 3 | | 18 | | |
| 3 | Шероховатости на рабо- чей поверхности | | | 15 | | 1 | | 27 | | |
| 4 | Сколы | | | 9 | | 4 | | 13 | | |
| 5 | Прочие | | | 12 | | 2 | | 9 | | |
| Весовой коэффициент | | | | $K_N = 1$ | | $K_t = 2$ | | $K_3 = 5$ | | |

Таблица 2.10 – Вариант 10

| | | | | | | | | | | |
|------------------|----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
| Номера экспертов | <i>Количество факторов</i> | | | | | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| | X_1 | X_2 | X_3 | X_4 | X_5 | X_6 | X_7 | X_8 | X_9 | X_{10} |
| Эксперт № 1 | 8 | 6 | 4 | 2 | 10 | 9 | 1 | 3 | 5 | 7 |
| Эксперт № 2 | 10 | 9 | 1 | 2 | 8 | 3 | 7 | 4 | 6 | 5 |

| | | | | | | | | | | |
|---------------------|---|----|---|------------------------|---|---|--|---|---|----|
| Эксперт № 3 | 5 | 10 | 1 | 6 | 9 | 8 | 2 | 3 | 7 | 4 |
| Эксперт № 4 | 2 | 9 | 3 | 1 | 7 | 5 | 8 | 6 | 4 | 10 |
| Эксперт № 5 | 1 | 8 | 2 | 5 | 9 | 4 | 10 | 6 | 7 | 3 |
| Эксперт № 6 | 4 | 10 | 7 | 2 | 5 | 1 | 3 | 9 | 8 | 6 |
| Эксперт № 7 | 3 | 5 | 6 | 7 | 10 | 9 | 4 | 2 | 8 | 1 |
| Шифр де- фекта | Вид дефекта | | | Количество дефектов | Время устранения на единицу, ч | | Затраты на устранение на единицу, т. руб. | | | |
| 1 | 2 | | | 3 | 4 | | 5 | | | |
| 1 | Царапины | | | 18 | 1 | | 14 | | | |
| 2 | Трещины | | | 15 | 4 | | 23 | | | |
| 3 | Шероховатости на рабо- чей поверхности | | | 12 | 5 | | 19 | | | |
| 4 | Сколы | | | 8 | 2 | | 26 | | | |
| 5 | Прочие | | | 10 | 3 | | 15 | | | |
| Весовой коэффициент | | | | $K_N = 1$ | $K_t = 3$ | | $K_3 = 4$ | | | |

Таблица 2.11 – Вариант 11

| Номера экспертов | Количество факторов | | | | | | | | | |
|---------------------|---|-------|-------|------------------------|---|-------|--|-------|-------|----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| | X_1 | X_2 | X_3 | X_4 | X_5 | X_6 | X_7 | X_8 | X_9 | X_{10} |
| Эксперт № 1 | 9 | 6 | 4 | 3 | 9 | 10 | 1 | 3 | 5 | 7 |
| Эксперт № 2 | 11 | 9 | 2 | 2 | 8 | 6 | 3 | 4 | 6 | 6 |
| Эксперт № 3 | 6 | 10 | 4 | 6 | 9 | 8 | 2 | 3 | 7 | 4 |
| Эксперт № 4 | 3 | 9 | 3 | 4 | 7 | 7 | 4 | 6 | 5 | 9 |
| Эксперт № 5 | 3 | 8 | 6 | 5 | 9 | 4 | 4 | 6 | 7 | 5 |
| Эксперт № 6 | 5 | 10 | 7 | 2 | 6 | 8 | 3 | 5 | 8 | 6 |
| Эксперт № 7 | 4 | 7 | 6 | 7 | 10 | 9 | 4 | 2 | 8 | 4 |
| Шифр де- фекта | Вид дефекта | | | Количество дефектов | Время устранения на единицу, ч | | Затраты на устранение на единицу, т. руб. | | | |
| 1 | 2 | | | 3 | 4 | | 5 | | | |
| 1 | Царапины | | | 18 | 0,5 | | 14 | | | |
| 2 | Трещины | | | 15 | 4 | | 23 | | | |
| 3 | Шероховатости на рабо- чей поверхности | | | 12 | 5 | | 19 | | | |
| 4 | Сколы | | | 6 | 2 | | 26 | | | |
| 5 | Прочие | | | 5 | 1 | | 15 | | | |
| Весовой коэффициент | | | | $K_N = 1$ | $K_t = 2$ | | $K_3 = 4$ | | | |

Таблица 2.12 – Вариант 12

| Номера экспертов | Количество факторов | | | | | | | | | |
|------------------|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| | X_1 | X_2 | X_3 | X_4 | X_5 | X_6 | X_7 | X_8 | X_9 | X_{10} |
| Эксперт № 1 | 8 | 6 | 3 | 8 | 10 | 3 | 1 | 9 | 7 | 7 |
| Эксперт № 2 | 9 | 4 | 10 | 6 | 9 | 2 | 5 | 8 | 6 | 7 |

| | | | | | | | | | | |
|---------------------|--------------------------------------|---|---|---------------------|---|--------------------------------|---|---|----|---|
| Эксперт № 3 | 8 | 5 | 9 | 4 | 7 | 2 | 3 | 10 | 8 | 6 |
| Эксперт № 4 | 6 | 6 | 5 | 7 | 9 | 4 | 7 | 8 | 10 | 6 |
| Эксперт № 5 | 7 | 9 | 9 | 6 | 7 | 3 | 6 | 6 | 6 | 5 |
| Эксперт № 6 | 10 | 8 | 6 | 2 | 5 | 4 | 1 | 7 | 9 | 8 |
| Эксперт № 7 | 8 | 5 | 9 | 5 | 8 | 1 | 7 | 10 | 8 | 6 |
| Шифр дефекта | Вид дефекта | | | Количество дефектов | | Время устранения на единицу, ч | | Затраты на устранение на единицу, т. руб. | | |
| 1 | 2 | | | 3 | | 4 | | 5 | | |
| 1 | Царапины | | | 22 | | 1 | | 15 | | |
| 2 | Трещины | | | 16 | | 2 | | 5 | | |
| 3 | Шероховатости на рабочей поверхности | | | 14 | | 4 | | 8 | | |
| 4 | Сколы | | | 4 | | 2 | | 2 | | |
| 5 | Прочие | | | 3 | | 4 | | 4 | | |
| Весовой коэффициент | | | | $K_N = 1$ | | $K_t = 2$ | | $K_3 = 5$ | | |

Таблица 2.13 – Вариант 13

| Номера экспертов | Количество факторов | | | | | | | | | |
|---------------------|--------------------------------------|-------|-------|---------------------|-------|--------------------------------|-------|---|-------|----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| | X_1 | X_2 | X_3 | X_4 | X_5 | X_6 | X_7 | X_8 | X_9 | X_{10} |
| Эксперт № 1 | 8 | 6 | 7 | 8 | 6 | 3 | 2 | 9 | 7 | 7 |
| Эксперт № 2 | 9 | 4 | 10 | 6 | 9 | 2 | 5 | 8 | 6 | 7 |
| Эксперт № 3 | 8 | 5 | 9 | 4 | 7 | 2 | 3 | 10 | 8 | 6 |
| Эксперт № 4 | 6 | 6 | 5 | 7 | 9 | 4 | 7 | 8 | 10 | 6 |
| Эксперт № 5 | 7 | 7 | 9 | 6 | 7 | 3 | 6 | 6 | 6 | 5 |
| Эксперт № 6 | 11 | 8 | 6 | 4 | 5 | 4 | 1 | 7 | 9 | 8 |
| Эксперт № 7 | 8 | 6 | 9 | 5 | 8 | 2 | 5 | 10 | 8 | 6 |
| Шифр дефекта | Вид дефекта | | | Количество дефектов | | Время устранения на единицу, ч | | Затраты на устранение на единицу, т. руб. | | |
| 1 | 2 | | | 3 | | 4 | | 5 | | |
| 1 | Царапины | | | 23 | | 1 | | 12 | | |
| 2 | Трещины | | | 17 | | 2 | | 5 | | |
| 3 | Шероховатости на рабочей поверхности | | | 15 | | 4 | | 8 | | |
| 4 | Сколы | | | 5 | | 2 | | 2 | | |
| 5 | Прочие | | | 4 | | 3 | | 3 | | |
| Весовой коэффициент | | | | $K_N = 1$ | | $K_t = 2$ | | $K_3 = 3$ | | |

Таблица 2.14 – Вариант 14

| Номера экспертов | Количество факторов | | | | | | | | | |
|------------------|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| | X_1 | X_2 | X_3 | X_4 | X_5 | X_6 | X_7 | X_8 | X_9 | X_{10} |
| Эксперт № 1 | 7 | 6 | 8 | 5 | 6 | 4 | 2 | 9 | 7 | 7 |
| Эксперт № 2 | 8 | 7 | 10 | 6 | 8 | 2 | 5 | 8 | 6 | 7 |

| | | | | | | | | | | |
|---------------------|--------------------------------------|---|---|---------------------|---|--------------------------------|---|---|----|---|
| Эксперт № 3 | 8 | 5 | 9 | 4 | 7 | 2 | 3 | 10 | 8 | 6 |
| Эксперт № 4 | 6 | 6 | 6 | 7 | 9 | 4 | 7 | 8 | 10 | 4 |
| Эксперт № 5 | 7 | 7 | 9 | 6 | 7 | 3 | 6 | 6 | 6 | 5 |
| Эксперт № 6 | 10 | 8 | 6 | 7 | 5 | 4 | 3 | 7 | 9 | 8 |
| Эксперт № 7 | 8 | 7 | 8 | 5 | 8 | 2 | 5 | 9 | 8 | 6 |
| Шифр дефекта | Вид дефекта | | | Количество дефектов | | Время устранения на единицу, ч | | Затраты на устранение на единицу, т. руб. | | |
| 1 | 2 | | | 3 | | 4 | | 5 | | |
| 1 | Царапины | | | 20 | | 1 | | 13 | | |
| 2 | Трещины | | | 15 | | 2 | | 6 | | |
| 3 | Шероховатости на рабочей поверхности | | | 12 | | 4 | | 8 | | |
| 4 | Сколы | | | 4 | | 2 | | 3 | | |
| 5 | Прочие | | | 2 | | 3 | | 3 | | |
| Весовой коэффициент | | | | $K_N = 1$ | | $K_t = 3$ | | $K_3 = 3$ | | |

Таблица 2.15 – Вариант 15

| Номера экспертов | Количество факторов | | | | | | | | | |
|---------------------|--------------------------------------|-------|-------|---------------------|-------|--------------------------------|-------|---|-------|----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| | X_1 | X_2 | X_3 | X_4 | X_5 | X_6 | X_7 | X_8 | X_9 | X_{10} |
| Эксперт № 1 | 4 | 6 | 7 | 4 | 9 | 5 | 3 | 9 | 7 | 4 |
| Эксперт № 2 | 9 | 4 | 10 | 1 | 3 | 2 | 5 | 8 | 6 | 7 |
| Эксперт № 3 | 3 | 5 | 9 | 4 | 7 | 2 | 3 | 10 | 8 | 6 |
| Эксперт № 4 | 3 | 4 | 5 | 5 | 2 | 4 | 9 | 8 | 10 | 6 |
| Эксперт № 5 | 6 | 10 | 9 | 1 | 7 | 3 | 8 | 6 | 4 | 5 |
| Эксперт № 6 | 10 | 7 | 6 | 2 | 5 | 7 | 5 | 5 | 9 | 8 |
| Эксперт № 7 | 4 | 5 | 8 | 3 | 2 | 4 | 7 | 10 | 8 | 6 |
| Шифр дефекта | Вид дефекта | | | Количество дефектов | | Время устранения на единицу, ч | | Затраты на устранение на единицу, т. руб. | | |
| 1 | 2 | | | 3 | | 4 | | 5 | | |
| 1 | Царапины | | | 25 | | 3 | | 21 | | |
| 2 | Трещины | | | 18 | | 2 | | 6 | | |
| 3 | Шероховатости на рабочей поверхности | | | 13 | | 4 | | 8 | | |
| 4 | Сколы | | | 7 | | 1 | | 2 | | |
| 5 | Прочие | | | 5 | | 5 | | 5 | | |
| Весовой коэффициент | | | | $K_N = 1$ | | $K_t = 3$ | | $K_3 = 4$ | | |

Таблица 2.16 – Вариант 16

| Номера экспертов | Количество факторов | | | | | | | | | |
|------------------|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| | X_1 | X_2 | X_3 | X_4 | X_5 | X_6 | X_7 | X_8 | X_9 | X_{10} |
| Эксперт № 1 | 5 | 3 | 3 | 8 | 10 | 5 | 2 | 9 | 7 | 4 |
| Эксперт № 2 | 9 | 4 | 10 | 5 | 3 | 3 | 5 | 8 | 6 | 7 |

| | | | | | | | | | | |
|---------------------|---|----|---|------------------------|---|---|---|--|----|---|
| Эксперт № 3 | 7 | 5 | 9 | 4 | 7 | 2 | 3 | 10 | 8 | 6 |
| Эксперт № 4 | 3 | 1 | 5 | 7 | 4 | 4 | 9 | 8 | 10 | 7 |
| Эксперт № 5 | 6 | 10 | 9 | 2 | 7 | 3 | 8 | 6 | 8 | 5 |
| Эксперт № 6 | 10 | 3 | 6 | 2 | 5 | 7 | 1 | 4 | 9 | 8 |
| Эксперт № 7 | 4 | 5 | 8 | 3 | 3 | 4 | 7 | 10 | 8 | 6 |
| Шифр де- фекта | Вид дефекта | | | Количество дефектов | | Время устранения на единицу, ч | | Затраты на устранение на единицу, т. руб. | | |
| 1 | 2 | | | 3 | | 4 | | 5 | | |
| 1 | Царапины | | | 20 | | 3 | | 20 | | |
| 2 | Трещины | | | 14 | | 2 | | 5 | | |
| 3 | Шероховатости на рабо- чей поверхности | | | 11 | | 4 | | 8 | | |
| 4 | Сколы | | | 4 | | 2 | | 3 | | |
| 5 | Прочие | | | 5 | | 5 | | 5 | | |
| Весовой коэффициент | | | | $K_N = 1$ | | $K_t = 3$ | | $K_3 = 5$ | | |

Таблица 2.17 – Вариант 17

| Номера экспертов | Количество факторов | | | | | | | | | |
|---------------------|---|-------|-------|------------------------|-------|---|-------|--|-------|----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| | X_1 | X_2 | X_3 | X_4 | X_5 | X_6 | X_7 | X_8 | X_9 | X_{10} |
| Эксперт № 1 | 2 | 6 | 4 | 6 | 10 | 5 | 1 | 9 | 7 | 4 |
| Эксперт № 2 | 7 | 4 | 10 | 1 | 3 | 2 | 5 | 8 | 6 | 7 |
| Эксперт № 3 | 4 | 5 | 9 | 4 | 7 | 2 | 3 | 10 | 8 | 6 |
| Эксперт № 4 | 3 | 2 | 5 | 7 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 4 |
| Эксперт № 5 | 2 | 10 | 9 | 1 | 7 | 3 | 8 | 6 | 4 | 5 |
| Эксперт № 6 | 10 | 3 | 6 | 2 | 5 | 7 | 1 | 5 | 9 | 8 |
| Эксперт № 7 | 4 | 5 | 9 | 3 | 2 | 1 | 7 | 10 | 8 | 6 |
| Шифр де- фекта | Вид дефекта | | | Количество дефектов | | Время устранения на единицу, ч | | Затраты на устранение на единицу, т. руб. | | |
| 1 | 2 | | | 3 | | 4 | | 5 | | |
| 1 | Царапины | | | 18 | | 3 | | 20 | | |
| 2 | Трещины | | | 13 | | 2 | | 15 | | |
| 3 | Шероховатости на рабо- чей поверхности | | | 12 | | 4 | | 8 | | |
| 4 | Сколы | | | 4 | | 3 | | 2 | | |
| 5 | Прочие | | | 3 | | 1 | | 10 | | |
| Весовой коэффициент | | | | $K_N = 1$ | | $K_t = 2$ | | $K_3 = 4$ | | |

Таблица 2.18 – Вариант 18

| Номера экспертов | Количество факторов | | | | | | | | | |
|------------------|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| | X_1 | X_2 | X_3 | X_4 | X_5 | X_6 | X_7 | X_8 | X_9 | X_{10} |
| Эксперт № 1 | 2 | 9 | 1 | 10 | 5 | 7 | 8 | 3 | 6 | 4 |
| Эксперт № 2 | 5 | 8 | 2 | 4 | 9 | 6 | 10 | 3 | 7 | 1 |

| | | | | | | | | | | |
|---------------------|---|---|---|------------------------|---|----|----|--|----|---|
| Эксперт № 3 | 6 | 9 | 5 | 4 | 1 | 8 | 7 | 2 | 6 | 3 |
| Эксперт № 4 | 3 | 5 | 5 | 7 | 3 | 9 | 6 | 2 | 8 | 4 |
| Эксперт № 5 | 5 | 9 | 7 | 8 | 4 | 7 | 10 | 4 | 5 | 1 |
| Эксперт № 6 | 4 | 7 | 9 | 6 | 7 | 6 | 8 | 3 | 10 | 5 |
| Эксперт № 7 | 1 | 5 | 6 | 7 | 4 | 10 | 5 | 5 | 9 | 2 |
| Шифр де- фекта | Вид дефекта | | | Количество дефектов | Время устранения на единицу, ч | | | Затраты на устранение на единицу, т. руб. | | |
| 1 | 2 | | | 3 | 4 | | | 5 | | |
| 1 | Царапины | | | 18 | 3 | | | 13 | | |
| 2 | Трещины | | | 13 | 4 | | | 15 | | |
| 3 | Шероховатости на рабо- чей поверхности | | | 8 | 1 | | | 10 | | |
| 4 | Сколы | | | 2 | 5 | | | 16 | | |
| 5 | Прочие | | | 4 | 2 | | | 20 | | |
| Весовой коэффициент | | | | $K_N = 1$ | $K_t = 3$ | | | $K_3 = 5$ | | |

Таблица 2.19 – Вариант 19

| Номера экспертов | Количество факторов | | | | | | | | | |
|---------------------|---|-------|-------|------------------------|---|-------|-------|--|-------|----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| | X_1 | X_2 | X_3 | X_4 | X_5 | X_6 | X_7 | X_8 | X_9 | X_{10} |
| Эксперт № 1 | 2 | 9 | 4 | 10 | 5 | 7 | 8 | 3 | 6 | 4 |
| Эксперт № 2 | 5 | 8 | 2 | 4 | 9 | 6 | 10 | 3 | 7 | 1 |
| Эксперт № 3 | 6 | 9 | 5 | 4 | 6 | 8 | 7 | 2 | 6 | 3 |
| Эксперт № 4 | 1 | 5 | 10 | 7 | 3 | 9 | 6 | 2 | 8 | 4 |
| Эксперт № 5 | 3 | 9 | 7 | 8 | 2 | 6 | 10 | 4 | 5 | 1 |
| Эксперт № 6 | 4 | 6 | 9 | 5 | 7 | 6 | 8 | 3 | 10 | 5 |
| Эксперт № 7 | 2 | 3 | 6 | 7 | 4 | 10 | 5 | 6 | 9 | 2 |
| Шифр де- фекта | Вид дефекта | | | Количество дефектов | Время устранения на единицу, ч | | | Затраты на устранение на единицу, т. руб. | | |
| 1 | 2 | | | 3 | 4 | | | 5 | | |
| 1 | Царапины | | | 18 | 3 | | | 13 | | |
| 2 | Трещины | | | 13 | 4 | | | 16 | | |
| 3 | Шероховатости на рабо- чей поверхности | | | 8 | 2 | | | 10 | | |
| 4 | Сколы | | | 3 | 5 | | | 16 | | |
| 5 | Прочие | | | 6 | 2 | | | 22 | | |
| Весовой коэффициент | | | | $K_N = 1$ | $K_t = 2$ | | | $K_3 = 3$ | | |

Таблица 2.20 – Вариант 20

| Номера экспертов | Количество факторов | | | | | | | | | |
|------------------|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| | X_1 | X_2 | X_3 | X_4 | X_5 | X_6 | X_7 | X_8 | X_9 | X_{10} |
| Эксперт № 1 | 2 | 9 | 5 | 10 | 5 | 7 | 8 | 4 | 6 | 4 |
| Эксперт № 2 | 5 | 8 | 2 | 4 | 9 | 6 | 10 | 3 | 7 | 6 |

| | | | | | | | | | | |
|---------------------|---|---|----|------------------------|---|----|---|--|----|---|
| Эксперт № 3 | 7 | 9 | 5 | 4 | 6 | 8 | 7 | 2 | 6 | 3 |
| Эксперт № 4 | 1 | 5 | 10 | 7 | 3 | 9 | 6 | 5 | 8 | 4 |
| Эксперт № 5 | 3 | 9 | 7 | 8 | 2 | 6 | 9 | 4 | 5 | 2 |
| Эксперт № 6 | 4 | 7 | 9 | 3 | 7 | 6 | 8 | 3 | 10 | 5 |
| Эксперт № 7 | 2 | 3 | 6 | 7 | 4 | 10 | 5 | 8 | 9 | 2 |
| Шифр де- фекта | Вид дефекта | | | Количество дефектов | Время устранения на единицу, ч | | | Затраты на устранение на единицу, т. руб. | | |
| 1 | 2 | | | 3 | 4 | | | 5 | | |
| 1 | Царапины | | | 19 | 3 | | | 14 | | |
| 2 | Трещины | | | 14 | 4 | | | 16 | | |
| 3 | Шероховатости на рабо- чей поверхности | | | 9 | 2 | | | 10 | | |
| 4 | Сколы | | | 2 | 5 | | | 16 | | |
| 5 | Прочие | | | 6 | 2 | | | 21 | | |
| Весовой коэффициент | | | | $K_N = 1$ | $K_t = 2$ | | | $K_3 = 4$ | | |

Таблица 2.21 – Вариант 21

| | | | | | | | | | | |
|---------------------|---|-------|-------|------------------------|---|-------|-------|--|-------|----------|
| Номера экспертов | <i>Количество факторов</i> | | | | | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| | X_1 | X_2 | X_3 | X_4 | X_5 | X_6 | X_7 | X_8 | X_9 | X_{10} |
| Эксперт № 1 | 2 | 7 | 5 | 9 | 5 | 7 | 8 | 4 | 6 | 4 |
| Эксперт № 2 | 5 | 8 | 2 | 4 | 9 | 6 | 10 | 3 | 7 | 6 |
| Эксперт № 3 | 3 | 9 | 5 | 3 | 6 | 8 | 7 | 2 | 6 | 3 |
| Эксперт № 4 | 1 | 5 | 4 | 7 | 3 | 9 | 6 | 5 | 8 | 4 |
| Эксперт № 5 | 7 | 6 | 7 | 8 | 2 | 6 | 4 | 4 | 5 | 2 |
| Эксперт № 6 | 4 | 7 | 9 | 3 | 6 | 6 | 8 | 3 | 10 | 5 |
| Эксперт № 7 | 3 | 4 | 6 | 7 | 4 | 10 | 5 | 8 | 9 | 2 |
| Шифр де- фекта | Вид дефекта | | | Количество дефектов | Время устранения на единицу, ч | | | Затраты на устранение на единицу, т. руб. | | |
| 1 | 2 | | | 3 | 4 | | | 5 | | |
| 1 | Царапины | | | 16 | 3 | | | 11 | | |
| 2 | Трещины | | | 14 | 4 | | | 10 | | |
| 3 | Шероховатости на рабо- чей поверхности | | | 9 | 2 | | | 9 | | |
| 4 | Сколы | | | 2 | 5 | | | 16 | | |
| 5 | Прочие | | | 4 | 1 | | | 17 | | |
| Весовой коэффициент | | | | $K_N = 1$ | $K_t = 2$ | | | $K_3 = 3$ | | |

Таблица 2.22 – Вариант 22

| | | | | | | | | | | |
|------------------|----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
| Номера экспертов | <i>Количество факторов</i> | | | | | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| | X_1 | X_2 | X_3 | X_4 | X_5 | X_6 | X_7 | X_8 | X_9 | X_{10} |
| Эксперт № 1 | 4 | 9 | 5 | 10 | 5 | 7 | 5 | 4 | 6 | 4 |
| Эксперт № 2 | 5 | 8 | 3 | 4 | 9 | 6 | 10 | 3 | 7 | 6 |

| | | | | | | | | | | |
|---------------------|---|---|----|------------------------|---|----|--|---|----|---|
| Эксперт № 3 | 6 | 7 | 5 | 2 | 5 | 8 | 7 | 2 | 6 | 3 |
| Эксперт № 4 | 2 | 5 | 10 | 7 | 3 | 9 | 6 | 5 | 8 | 4 |
| Эксперт № 5 | 3 | 8 | 7 | 8 | 6 | 4 | 9 | 4 | 5 | 7 |
| Эксперт № 6 | 4 | 7 | 8 | 9 | 7 | 6 | 8 | 3 | 10 | 5 |
| Эксперт № 7 | 5 | 3 | 6 | 7 | 4 | 10 | 4 | 8 | 9 | 2 |
| Шифр де- фекта | Вид дефекта | | | Количество дефектов | Время устранения на единицу, ч | | Затраты на устранение на единицу, т. руб. | | | |
| 1 | 2 | | | 3 | 4 | | 5 | | | |
| 1 | Царапины | | | 29 | 3 | | 13 | | | |
| 2 | Трещины | | | 24 | 4 | | 16 | | | |
| 3 | Шероховатости на рабо- чей поверхности | | | 19 | 3 | | 10 | | | |
| 4 | Сколы | | | 12 | 5 | | 16 | | | |
| 5 | Прочие | | | 16 | 2 | | 20 | | | |
| Весовой коэффициент | | | | $K_N = 1$ | $K_t = 2$ | | $K_z = 4$ | | | |

Раздел 3. Корреляционно-регрессионный анализ (диаграмма разброса)

Предприятию требуется изготовить валы заданной безотказности (времени работы до первого отказа). Принято решение изготовить стальные валы со спецлегирующими присадками, количество которых будет определено при производстве ускоренных испытаний (данные ускоренных испытаний приведены в таблицах 3.1–3.22). При испытании должны быть выяснены преимущества одного из двух видов закалки – в машинном масле, в расплаве сталей. Критерий качества вала – безотказность (на стенде) не менее 24 часов.

В задаче требуется:

1. Построить диаграммы рассеяния для двух видов закалки.
2. Выполнить регрессионный анализ.
3. Рассчитать показатели рассеяния (при закалке сталей в расплаве солей и в машинном масле).
4. Рассчитать уравнение корреляции $y = a + b \cdot x$ для двух случаев, определив точки для построения линий.

Таблица 3.1 – Вариант 1

| | | | | | | | | | | | | |
|---|-------------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Количество легированных присадок X_i ед. (условно) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | |
| Количество часов работы до поломки при ускоренном испытании | Закалка в расплаве сталей (y_i) | 3 | 4 | 9 | 13 | 11 | 16 | 23 | 21 | 27 | 23 | 24 |
| | Закалка в машинном масле (y_i) | 11 | 13 | 13 | 12 | 14 | 15 | 13 | 15 | 18 | 19 | 25 |

Таблица 3.2 – Вариант 2

| | | | | | | | | | | | |
|--|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|
| Количество легированных присадок X_i ед. (условно) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|--|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|

| | | | | | | | | | | | | |
|---|-------------------------------------|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Количество часов работы до поломки при ускоренном испытании | Закалка в расплаве сталей (y_i) | 1 | 2 | 7 | 11 | 9 | 14 | 21 | 19 | 25 | 21 | 22 |
| | Закалка в машинном масле (y_i) | 9 | 11 | 11 | 10 | 12 | 13 | 11 | 13 | 16 | 17 | 23 |

Таблица 3.3 – Вариант 3

| | | | | | | | | | | | | |
|---|-------------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Количество легированных присадок X_i ед. (условно) | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| Количество часов работы до поломки при ускоренном испытании | Закалка в расплаве сталей (y_i) | 5 | 6 | 11 | 15 | 13 | 18 | 25 | 23 | 29 | 25 | 26 |
| | Закалка в машинном масле (y_i) | 13 | 15 | 15 | 14 | 16 | 17 | 15 | 17 | 20 | 21 | 27 |

Таблица 3.4 – Вариант 4

| | | | | | | | | | | | | |
|---|-------------------------------------|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Количество легированных присадок X_i ед. (условно) | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| Количество часов работы до поломки при ускоренном испытании | Закалка в расплаве сталей (y_i) | 4 | 6 | 9 | 13 | 15 | 22 | 24 | 28 | 31 | 36 | 37 |
| | Закалка в машинном масле (y_i) | 6 | 7 | 11 | 18 | 20 | 21 | 22 | 23 | 23 | 25 | 24 |

Таблица 3.5 – Вариант 5

| | | | | | | | | | | | | |
|---|-------------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Количество легированных присадок X_i ед. (условно) | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| Количество часов работы до поломки при ускоренном испытании | Закалка в расплаве сталей (y_i) | 13 | 17 | 17 | 18 | 19 | 21 | 21 | 19 | 17 | 25 | 27 |
| | Закалка в машинном масле (y_i) | 15 | 12 | 15 | 16 | 19 | 21 | 28 | 25 | 22 | 25 | 23 |

Таблица 3.6 – Вариант 6

| | | | | | | | | | | | | |
|---|-------------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Количество легированных присадок X_i ед. (условно) | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| Количество часов работы до поломки при ускоренном испытании | Закалка в расплаве сталей (y_i) | 3 | 5 | 7 | 14 | 28 | 27 | 31 | 39 | 33 | 31 | 26 |
| | Закалка в машинном масле (y_i) | 24 | 16 | 19 | 12 | 13 | 15 | 11 | 10 | 12 | 7 | 8 |

Таблица 3.7 – Вариант 7

| | | | | | | | | | | | | |
|--|--|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|
| Количество легированных присадок X_i ед. (условно) | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|--|--|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|

| | | | | | | | | | | | | |
|---|-------------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Количество часов работы до поломки при ускоренном испытании | Закалка в расплаве сталей (y_i) | 4 | 5 | 17 | 14 | 18 | 23 | 21 | 19 | 23 | 21 | 16 |
| | Закалка в машинном масле (y_i) | 14 | 16 | 19 | 22 | 23 | 25 | 21 | 20 | 22 | 27 | 28 |

Таблица 3.8 – Вариант 8

| | | | | | | | | | | | | |
|---|-------------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Количество легированных присадок X_i ед. (условно) | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| Количество часов работы до поломки при ускоренном испытании | Закалка в расплаве сталей (y_i) | 24 | 25 | 19 | 13 | 11 | 16 | 15 | 15 | 13 | 17 | 14 |
| | Закалка в машинном масле (y_i) | 21 | 18 | 20 | 23 | 23 | 25 | 26 | 28 | 29 | 27 | 25 |

Таблица 3.9 – Вариант 9

| | | | | | | | | | | | | |
|---|-------------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Количество легированных присадок X_i ед. (условно) | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| Количество часов работы до поломки при ускоренном испытании | Закалка в расплаве сталей (y_i) | 7 | 11 | 18 | 19 | 10 | 18 | 23 | 24 | 29 | 32 | 34 |
| | Закалка в машинном масле (y_i) | 13 | 19 | 15 | 19 | 23 | 25 | 26 | 18 | 23 | 25 | 31 |

Таблица 3.10 – Вариант 10

| | | | | | | | | | | | | |
|---|-------------------------------------|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Количество легированных присадок X_i ед. (условно) | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| Количество часов работы до поломки при ускоренном испытании | Закалка в расплаве сталей (y_i) | 5 | 10 | 18 | 21 | 22 | 22 | 27 | 29 | 23 | 20 | 23 |
| | Закалка в машинном масле (y_i) | 7 | 14 | 20 | 24 | 20 | 19 | 21 | 23 | 26 | 24 | 22 |

Таблица 3.11 – Вариант 11

| | | | | | | | | | | | | |
|---|-------------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Количество легированных присадок X_i ед. (условно) | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| Количество часов работы до поломки при ускоренном испытании | Закалка в расплаве сталей (y_i) | 15 | 16 | 18 | 21 | 22 | 22 | 27 | 29 | 23 | 25 | 23 |
| | Закалка в машинном масле (y_i) | 7 | 12 | 15 | 17 | 20 | 19 | 21 | 23 | 26 | 24 | 22 |

Таблица 3.12 – Вариант 12

| | | | | | | | | | | | | |
|--|--|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|
| Количество легированных присадок X_i ед. (условно) | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|--|--|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|

| | | | | | | | | | | | | |
|---|-------------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Количество часов работы до поломки при ускоренном испытании | Закалка в расплаве сталей (y_i) | 15 | 17 | 18 | 21 | 22 | 22 | 24 | 27 | 23 | 25 | 26 |
| | Закалка в машинном масле (y_i) | 8 | 12 | 15 | 17 | 18 | 19 | 21 | 23 | 26 | 24 | 23 |

Таблица 3.13 – Вариант 13

| | | | | | | | | | | | | |
|---|-------------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Количество легированных присадок X_i ед. (условно) | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| Количество часов работы до поломки при ускоренном испытании | Закалка в расплаве сталей (y_i) | 17 | 12 | 11 | 11 | 12 | 10 | 7 | 6 | 6 | 5 | 7 |
| | Закалка в машинном масле (y_i) | 12 | 15 | 16 | 18 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 27 | 32 |

Таблица 3.14 – Вариант 14

| | | | | | | | | | | | | |
|---|-------------------------------------|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Количество легированных присадок X_i ед. (условно) | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| Количество часов работы до поломки при ускоренном испытании | Закалка в расплаве сталей (y_i) | 2 | 6 | 9 | 13 | 15 | 22 | 24 | 28 | 30 | 32 | 32 |
| | Закалка в машинном масле (y_i) | 3 | 5 | 7 | 12 | 20 | 21 | 22 | 23 | 23 | 25 | 23 |

Таблица 3.15 – Вариант 15

| | | | | | | | | | | | | |
|---|-------------------------------------|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Количество легированных присадок X_i ед. (условно) | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| Количество часов работы до поломки при ускоренном испытании | Закалка в расплаве сталей (y_i) | 6 | 8 | 9 | 10 | 15 | 22 | 24 | 28 | 30 | 31 | 36 |
| | Закалка в машинном масле (y_i) | 2 | 5 | 7 | 12 | 15 | 17 | 22 | 23 | 23 | 22 | 22 |

Таблица 3.16 – Вариант 16

| | | | | | | | | | | | | |
|---|-------------------------------------|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Количество легированных присадок X_i ед. (условно) | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| Количество часов работы до поломки при ускоренном испытании | Закалка в расплаве сталей (y_i) | 2 | 4 | 9 | 10 | 11 | 12 | 14 | 15 | 16 | 18 | 18 |
| | Закалка в машинном масле (y_i) | 2 | 5 | 7 | 12 | 13 | 17 | 22 | 23 | 24 | 22 | 23 |

Таблица 3.17 – Вариант 17

| | | | | | | | | | | | | |
|--|--|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|
| Количество легированных присадок X_i ед. (условно) | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|--|--|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|

| | | | | | | | | | | | | |
|---|-------------------------------------|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|
| Количество часов работы до поломки при ускоренном испытании | Закалка в расплаве сталей (y_i) | 1 | 2 | 4 | 9 | 10 | 11 | 12 | 14 | 15 | 16 | 18 |
| | Закалка в машинном масле (y_i) | 3 | 2 | 5 | 7 | 12 | 13 | 17 | 22 | 23 | 24 | 22 |

Таблица 3.18 – Вариант 18

| | | | | | | | | | | | | |
|---|-------------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Количество легированных присадок X_i ед. (условно) | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| Количество часов работы до поломки при ускоренном испытании | Закалка в расплаве сталей (y_i) | 11 | 12 | 14 | 16 | 10 | 11 | 17 | 18 | 20 | 16 | 18 |
| | Закалка в машинном масле (y_i) | 3 | 2 | 5 | 7 | 12 | 13 | 17 | 22 | 23 | 24 | 22 |

Таблица 3.19 – Вариант 19

| | | | | | | | | | | | | |
|---|-------------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Количество легированных присадок X_i ед. (условно) | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| Количество часов работы до поломки при ускоренном испытании | Закалка в расплаве сталей (y_i) | 11 | 12 | 14 | 16 | 10 | 11 | 17 | 18 | 20 | 16 | 18 |
| | Закалка в машинном масле (y_i) | 13 | 12 | 15 | 17 | 16 | 13 | 19 | 20 | 23 | 24 | 22 |

Таблица 3.20 – Вариант 20

| | | | | | | | | | | | | |
|---|-------------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Количество легированных присадок X_i ед. (условно) | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| Количество часов работы до поломки при ускоренном испытании | Закалка в расплаве сталей (y_i) | 21 | 20 | 14 | 16 | 10 | 11 | 7 | 6 | 5 | 6 | 5 |
| | Закалка в машинном масле (y_i) | 13 | 12 | 15 | 17 | 16 | 13 | 19 | 20 | 23 | 24 | 22 |

Таблица 3.21 – Вариант 21

| | | | | | | | | | | | | |
|---|-------------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Количество легированных присадок X_i ед. (условно) | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| Количество часов работы до поломки при ускоренном испытании | Закалка в расплаве сталей (y_i) | 19 | 20 | 14 | 16 | 10 | 11 | 7 | 6 | 5 | 6 | 5 |
| | Закалка в машинном масле (y_i) | 23 | 22 | 15 | 17 | 16 | 13 | 12 | 12 | 11 | 10 | 4 |

Таблица 3.22 – Вариант 22

| | | | | | | | | | | | | |
|--|--|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|
| Количество легированных присадок X_i ед. (условно) | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|--|--|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|

| | | | | | | | | | | | | |
|---|-------------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|---|
| Количество часов работы до поломки при ускоренном испытании | Закалка в расплаве сталей (y_i) | 19 | 18 | 14 | 16 | 10 | 11 | 7 | 6 | 5 | 6 | 3 |
| | Закалка в машинном масле (y_i) | 26 | 22 | 19 | 18 | 16 | 13 | 12 | 10 | 11 | 9 | 7 |

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

- 1 *Басовский Л.Е., Протасьев В.Б.* Управление качеством: учебник. – М.: ИНФРА-М, 2010. – 224 с.
- 2 *Ильенкова С.Д., Ильенкова Н.Д., Мхитарян В.С.* Управление качеством: учебник для вузов. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2009. – 352 с.
- 3 *Кане М.М., Иванов Б.В., Корешков В.Н., Схиртладзе А.Г.* Системы, методы и инструменты менеджмента качества: учебник для вузов / под ред. М.М. Кане. – СПб.: Питер, 2009. – 560 с.
- 4 *Ефимов В.В.* Статистические методы в управлении качеством: учеб. пособие. – Ульяновск: УлГТУ, 2003. – 134 с.
- 5 *Пономарев С.В., Мищенко С.В., Белобрагин В.Я., Самородов В.А., Герасимов Б.И., Трофимов А.В., Пахомова С.А., Пономарева О.С.* Управление качеством продукции. Инструменты и методы менеджмента качества: учеб. пособие. – М.: РИА «Стандарты и качество», 2005. – 248 с.
- 6 *Козырев В.А., Лисенков А.Н., Палкин С.В.* Развитие систем менеджмента качества: учеб. пособие / под ред. В.А. Козырева. – М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2014. – 268 с.
- 7 *Майборода В.П., Азаров В.Н., Паньчев А.Ю.* Основы обеспечения качества: учебник. – М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2015. – 314 с.
- 8 *Соколов Ю.И.* Менеджмент качества на железнодорожном транспорте: учеб. пособие. – М.: Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2014. – 196 с.

11 «ПРАВИЛА ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ»

11.1 Методические указания к практическим занятиям

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.

Анализ заданного профиля пути

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

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

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

$$s_c = s_1 + s_2 + \dots + s_n,$$

крутизна i'_c вычисляется по формуле:

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

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

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

$$s_i \leq \frac{2000}{\Delta i},$$

где s_i – длина спрямляемого участка, м;

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

Данной проверке подлежит каждый элемент спрямляемой группы. Чем короче элементы спрямленной группы и чем ближе они по крутизне, тем более вероятно, что проверка их на удовлетворение условию окажется положительной.

Кривые на спрямленном участке заменяются фиктивным подъемом, крутизна которого определяется по формуле:

$$i''_c = \frac{700}{s_c} \sum_1^n \frac{s_{kpi}}{R_i},$$

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

Крутизна спрямленного участка с учетом фиктивного подъема от кривой:

$$i_c = i'_c + i''_c$$

Принимаем для движения туда значения i'_c положительным, а значения обратного движения i'_c отрицательным, т.е. подъем становится спуском.

Нельзя спрямлять следующие элементы: расчетный подъем, крутой подъем, максимальный спуск. Площадки на перегоне между элементами разного знака также нельзя включать в спрямление. Спрямленный профиль должен сохранять все особенности действительного профиля в смысле относительного расположения повышенных и пониженных точек.

После спрямления профиля пути производим его анализ с целью выявления расчетного подъема, максимального подъема и максимального спуска.

Расчетным подъемом называют такой подъем, на котором устанавливается расчетная скорость, данный подъем является наиболее труднопреодолимым элементом профиля пути. Расчетным подъемом будет являться подъем, для которого произведения его длины на величину уклона является наибольшим (на основе анализа заданного профиля).

Короткий подъем крутизной больше расчетного – это такой подъем, при котором $i_{расч} < i_{кр}$, но протяженность его меньше чем расчетного и поэтому поезд преодолевает его достаточно легко за счет кинетической энергии, накопленной на предыдущих более легких элементах профиля. Крутой спуск – это самый крутой спуск на заданном участке. Для величины этого спуска проводится решение тормозной задачи с целью определения максимально допустимой скорости на участке.

Определение массы состава. Расчет массы производим по формуле:

$$Q = \frac{F_{кр} - P(w'_0 + i_p) \cdot g}{(w''_0 + i_p) \cdot g},$$

где $F_{кр}$ – расчетная сила тяги локомотива;

i_p – крутизна расчетного подъема;

P – расчетная масса локомотива;

w'_0 – основное удельное сопротивление локомотива, Н/кН;

w''_0 – основное удельное сопротивление состава в Н/кН.

g – ускорение свободного падения, 9,81 м/с².

Основное удельное сопротивление локомотива зависит от скорости и определяется по формуле:

$$w'_0 = 1,9 + 0,008 \cdot v + 0,00025 \cdot v^2.$$

Основное удельное сопротивление состава в Н/кН, рассчитываем соответственно но тоже для расчетной скорости по формуле:

$$w''_0 = \alpha(\alpha_{04}^{ск} w''_{04ск} + \alpha_{04}^{кач} w''_{04кач}) + \gamma w''_{08},$$

где α , β , γ – соответственно доли 4-, 6- и 8-осных вагонов.

w''_{04} – основное удельное сопротивление 4-осных груженных вагонов

Так же по заданию определяем доли 4-осных вагонов на подшипниках скольжения и качения.

- на подшипниках скольжения:

$$w''_{04ск} = 0,7 + \frac{8 + 0,08v + 0,002v^2}{q_{04}}, \text{ Н/кН}$$

- на подшипниках качения:

$$w_{04кач}'' = 0,7 + \frac{3 + 0,09v + 0,002v^2}{q_{04}}, \text{ Н/кН}$$

где q_{04} , q_{06} , q_{08} – нагрузка от оси на рельсы в т/ось соответственно 4-, 6-, 8-осных вагонов равная:

$$q_{04} = \frac{q_4}{4},$$

$$q_{06} = \frac{q_6}{6},$$

$$q_{08} = \frac{q_8}{8}.$$

Основное удельное сопротивление 6-осных вагонов:

$$w_{06}'' = 0,7 + \frac{8 + 0,08v + 0,002v^2}{q_{06}},$$

Основное удельное сопротивление 8-осных вагонов:

$$w_{08}'' = 0,7 + \frac{6 + 0,026v + 0,0017v^2}{q_{08}}$$

Проверки массы состава с учетом ограничений

Проверка массы состава по длине приемоотправочных путей станции и определение количества осей в составе

Чтобы выполнить проверку массы состава по длине приемоотправочных путей, необходимо вначале определить число вагонов в составе и длину поезда.

Число вагонов в составе поезда:

$$\text{4-осных } m_4 = \frac{Q \cdot \alpha}{q_4}, \text{ ваг. ;}$$

$$\text{6-осных } m_6 = \frac{Q \cdot \beta}{q_6}, \text{ ваг. ;}$$

$$\text{8-осных } m_8 = \frac{Q \cdot \gamma}{q_8}, \text{ ваг.}$$

Количество осей в составе:

$$n = m_4 \cdot 4 + m_6 \cdot 6 + m_8 \cdot 8, \text{ осей .}$$

Расчёт 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 груженные 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 К – 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 ползком.

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.

Устройства по соединению и пересечению путей

Переход подвижного состава с одного пути на другой обеспечивают устройства по соединению и пересечению путей, относящиеся к их верхнему строению. Соединение путей друг с другом осуществляют стрелочными переводами, а пересечение путей – глухими пересечениями. Применяя стрелочные переводы и глухие пересечения, создают соединения путей, называемые стрелочными улицами и съездами.

В зависимости от назначения и условий соединения путей различают одиночные, двойные и перекрестные стрелочные переводы. Одиночные переводы подразделяют на обыкновенные, симметричные и несимметричные. Обыкновенный стрелочный перевод, служащий для соединения двух путей, может быть право- или левосторонним. Он применяется при отклонении бокового пути от прямолинейного в ту или иную сторону. Этот вид переводов наиболее распространен. В состав стрелочного перевода входят собственно стрелка, крестовина с контррельсами, соединительная часть, расположенная между ними, и переводные брусья. Стрелка включает в себя два рамных рельса, два остряка, предназначенные для направления подвижного состава на прямой или боковой путь, и переводной механизм.

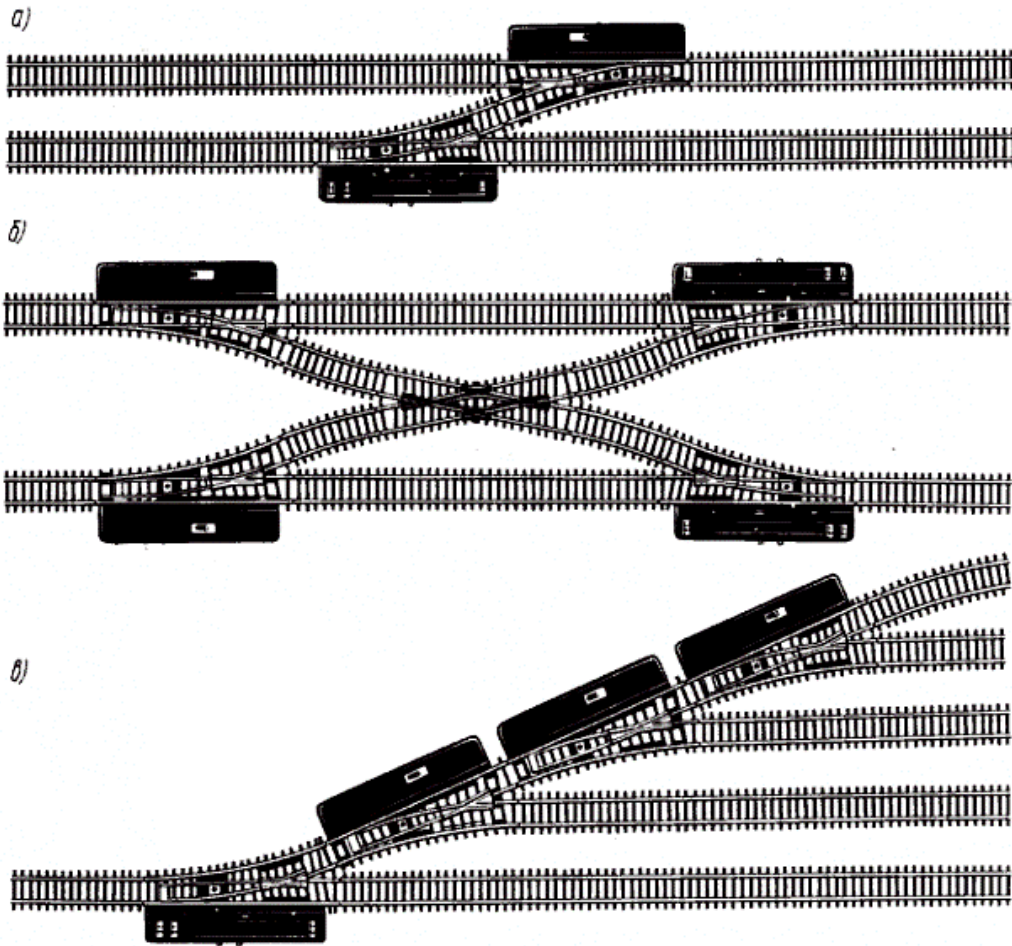


Рис. 1. Устройства по соединению и пересечению путей
 а – обыкновенный съезд; б – перекрёстный съезд; в – стрелочная улица

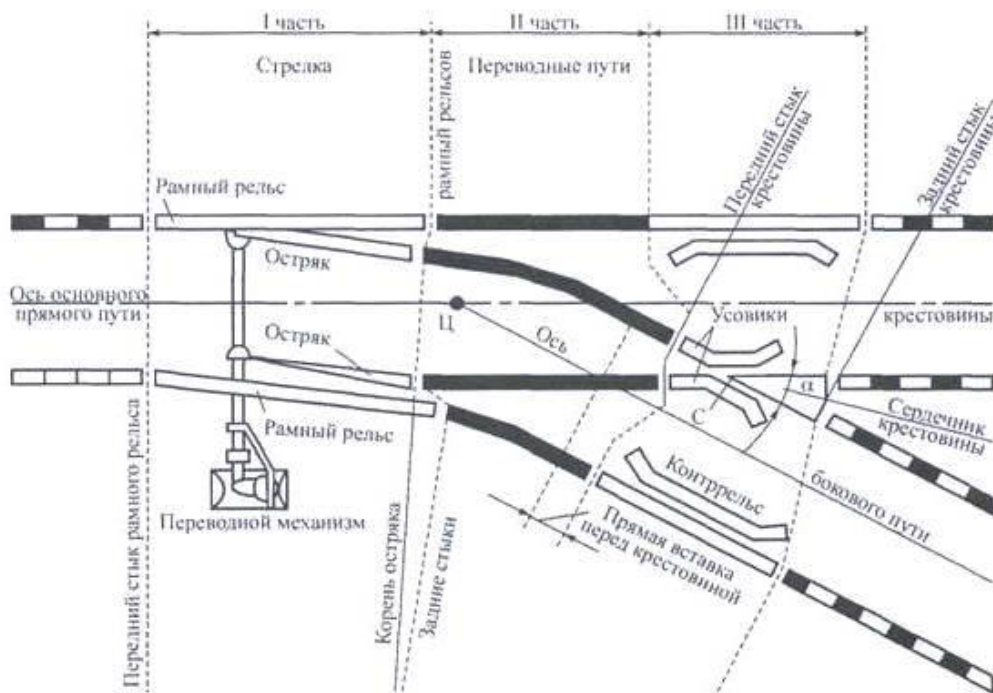


Рис. 2. Состав стрелочного перевода

Остряки соединяют друг с другом поперечными стрелочными тягами, с помощью которых один из них подводится вплотную к рамному рельсу, в то время как другой отводится от другого рамного рельса на расстояние, необходимое для свободного прохода гребней колес. Перевод остряков из одного положения в другое осуществляется специальными стрелочными приводами через одну из тяг, а в пологих стрелочных переводах, остряки которых имеют значительную длину, – через две тяги и более. В приводе имеется устройство, запирающее остряки в том или ином положении и контролирующее их плотное прилегание к рамным рельсам. Тонкая часть остряка называется острием, а другой его конец – корнем. Корневое крепление обеспечивает поворот остряков в горизонтальной плоскости и соединение с примыкающими к ним рельсами. Крестовина состоит из сердечника, двух усювиков и желобов. Она обеспечивает пересечение гребнем колес рельсовых головок, а контррельсы направляют гребни колес в соответствующие желоба при прохождении колесной пары по крестовине. Точка пересечения продолжения рабочих граней сердечника крестовины называется ее математическим центром, а самое узкое место между усювиками – горлом крестовины. Угол α , образуемый рабочими гранями сердечника, называется углом крестовины. Наиболее важным параметром стрелочного перевода является марка крестовины. В зависимости от назначения пути используют стрелочные переводы с крестовинами, имеющими следующие марки:

Таблица 1. Марки крестовины стрелочных переводов

| Пути, на которых расположены стрелочные переводы | Марки крестовины стрелочных переводов | |
|--|---------------------------------------|----------------|
| | обыкновенных | симметричных |
| Главные и приёмootправочные пассажирские | Не круче 1/11 | - |
| Приёмootправочные для грузового движения | Не круче 1/9 | Не круче 1/6 |
| Прочие | Не круче 1/8 | Не круче 1/4,5 |

При проходе пассажирских поездов только по прямому пути допустимы переводы с маркой крестовины 1/9.

На железных дорогах широко применяется стрелочный перевод усиленной конструкции с литой крестовиной марки 1/11 и гибкими остряками, допускающий движение поездов по прямому пути со скоростью до 160 км/ч. Существующие переводы пологой марки 1/18 применяют на маршрутах следования поездов при отклонении их с главного пути на боковое направление, где скорость движения составляет 80 км/ч. На линии Москва–Санкт-Петербург используют стрелочные переводы с крестовиной марки 1/11, предназначенные для движения пассажирских поездов по прямому пути со скоростью 200 км/ч. Конструктивной особенностью этого перевода является наличие крестовины, имеющей гибкий подвижной сердечник). В рабочих положениях такой сердечник плотно прилегает к соответствующей боковой грани усювика крестовины, благодаря чему образуется непригодная поверхность катания для колес подвижного состава.

Для определения фактической марки крестовины необходимо найти отношение ширины сердечника (b) к его длине (l) от математического центра крестовины (A) до «хвоста» (рис. 4).

Рельсы и стрелочные переводы на главных и станционных путях по мощности и состоянию должны соответствовать условиям эксплуатации (грузонапряженности, осевым нагрузкам и скоростям движения поездов).

Нормы износа рельсов и стрелочных переводов устанавливаются инструкцией. Стрелочные переводы должны иметь крестовины следующих марок:



Рис. 3. Стрелочный перевод

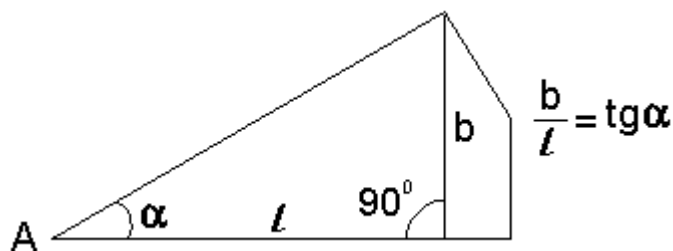


Рис. 4. Схема определения фактической марки крестовины

- на главных и приемоотправочных пассажирских путях – не круче 1/11, а перекрестные переводы и одиночные, являющиеся продолжением перекрестных, – не круче 1/9; стрелочные переводы, по которым пассажирские поезда проходят только по прямому пути перевода, могут иметь крестовины марки 1/9. Допускается отклонение пассажирских поездов на боковой путь по стрелочным переводам марки 1/9, если замена таких переводов на марку 1/11 вызывает переустройство стрелочных горловин, осуществить которое в данное время не представляется возможным;

- на приемоотправочных путях грузового движения – не круче 1/9, а симметричные – не круче 1/6;

- на прочих путях – не круче 1/8, а симметричные – не круче 1/4,5.

Перед острьяками всех противошерстных стрелочных переводов на главных путях должны быть уложены отбойные брусья.

Укладка вновь стрелочных переводов в главные пути на кривых участках не допускается. В исключительных случаях такая укладка может производиться только с разрешения владельца инфраструктуры.

Применение вновь перекрестных стрелочных переводов и глухих пересечений допускается только с разрешения Главного управления пути.

Централизованные стрелки в зависимости от климатических и других условий оборудуются устройствами механизированной очистки или снеготаяния.

Запрещается эксплуатировать стрелочные переводы и глухие пересечения, у которых допущена хотя бы одна из следующих неисправностей:

- разъединение стрелочных острьяков и подвижных сердечников крестовин с тягами;

- отставание остряка от рамного рельса, подвижного сердечника крестовины от усовика на 4 мм и более, измеряемое у остряка и сердечника тупой крестовины против

первой тяги, у сердечника острой крестовины – в острие сердечника при запертом положении стрелки;

- выкрашивание остряка или подвижного сердечника, при котором создается опасность набегания гребня, и во всех случаях выкрашивание длиной:

| | |
|-----------------------------|----------------|
| На главных путях | 200 мм и более |
| На приемо-отправочных путях | 300 мм и более |
| На прочих станционных путях | 400 и более |

- понижение остряка против рамного рельса и подвижного сердечника против усовика на 2 мм и более, измеряемое в сечении, где ширина головки остряка или подвижного сердечника поверху 50 мм и более (рис. 5);

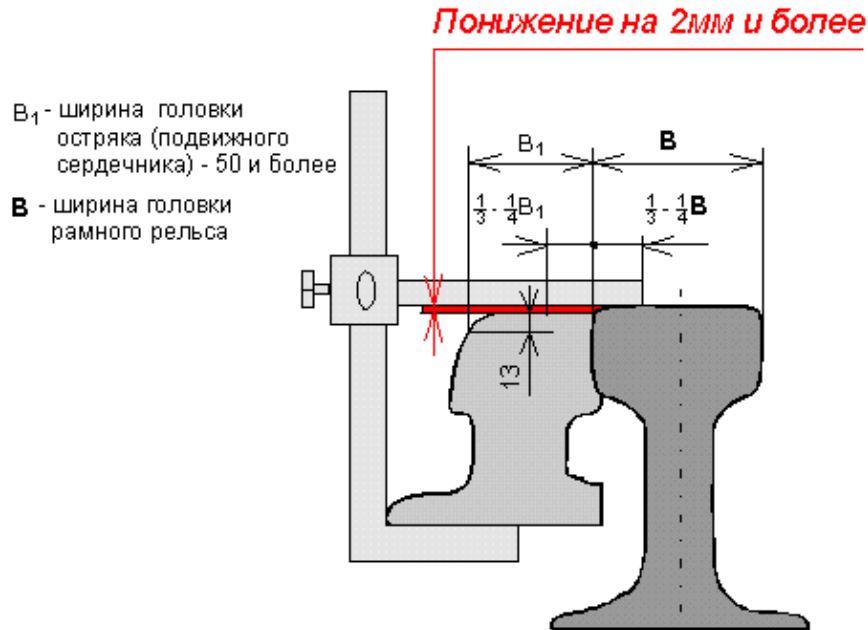


Рис. 5. Понижение остряка против рамного рельса

- расстояние между рабочей гранью сердечника крестовины и рабочей гранью головки контррельса менее 1472 мм;

- расстояние между рабочими гранями головки контррельса и усовика более 1435 мм;

- излом остряка или рамного рельса;

- излом крестовины (сердечника, усовика или контррельса);

- разрыв контррельсового болта в одноболтовом или обоих в двухболтовом вкладыше (рис. 6).

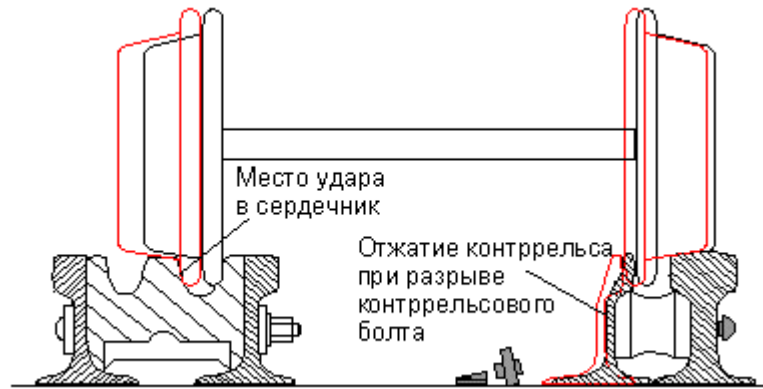


Рис. 6. Разрыв контррельсового болта в одноболтовом или обоих в двухболтовом вкладыше

Вертикальный износ рамных рельсов, острияков, усювиков и сердечников крестовин и порядок эксплуатации их при превышении норм износа устанавливаются инструкцией МПС.

Рельсы на главных путях должны проверяться вагоном-дефектоскопом по графику, утвержденному начальником службы пути.

Рельсы и стрелочные переводы на главных и приемоотправочных путях проверяются дефектоскопными тележками по графику, утвержденному начальником дистанции пути. Порядок пропуска поездов по рельсам и элементам стрелочных переводов, имеющим опасные дефекты (остродефектные).

Укладка и снятие стрелочных переводов и глухих пересечений на станциях производятся по распоряжению начальника железной дороги.

Вновь уложенные и переустроенные стрелочные переводы и глухие пересечения на станциях и стрелочные переводы на перегонах принимаются в эксплуатацию комиссией, назначаемой начальником отделения железной дороги, а при отсутствии в составе железной дороги отделений – главным инженером железной дороги и, как правило, включаются в зависимость. Временно не включенные в зависимость стрелочные переводы могут быть приняты комиссией, но при этом начальником отделения железной дороги, а при отсутствии в составе железной дороги отделений – главным инженером железной дороги устанавливается порядок осмотра, закрепления острияков и проверки этих стрелок.

Контрольными стрелочными замками должны быть оборудованы нецентрализованные стрелки:

- расположенные на путях, по которым производится прием и отправление поездов, а также охранные;
- ведущие на пути, выделенные для стоянки вагонов с опасными грузами класса 1 (взрывчатыми материалами);
- ведущие на пути, предназначенные для стоянки восстановительных и пожарных поездов;
- ведущие в предохранительные и улавливающие тупики;
- ведущие на пути, выделенные для отстоя вагонов-дефектоскопов, путеизмерительных вагонов, путевых машин.

Стрелки и подвижные сердечники крестовин (кроме расположенных на горочных и сортировочных путях), в том числе централизованные и имеющие контрольные замки, должны быть оборудованы приспособлениями для возможности запираения их навесными замками. Эти приспособления должны обеспечивать плотное прилегание острияка к рамному рельсу, подвижного сердечника крестовины к усювику.

Нецентрализованные стрелки должны быть оборудованы стрелочными указателями – освещаемыми или неосвещаемыми, что указывается в техническо-распорядительном акте станции.

Стрелки, включенные в электрическую централизацию, и стрелки подгорочных горловин сортировочных парков указателями не оборудуются.

Ремонт и текущее содержание стрелочных переводов и глухих пересечений, установка, ремонт и содержание стрелочных указателей, сбрасывающих остряков, башмакосбрасывателей, поворотных брусьев, шарнирно-коленчатых замыкателей производятся дистанцией пути. Ремонт и техническое обслуживание имеющихся средств СЦБ на этих устройствах производятся дистанцией сигнализации и связи.

Возвышение наружного рельса

При движении экипажа по кривой появляется центробежная сила. Эта сила создает дополнительное давление колес на наружную рельсовую нить, приводящее к повышенному износу рельс этой нити, появляется так называемое непогашенное ускорение, при больших значениях которого пассажиры испытывают неприятные ощущения.

Центробежная сила I определяется по формуле:

$$I = \frac{m \cdot V^2}{R}, \text{ мм}$$

где m – масса экипажа;

V – скорость движения, км/ч;

R – радиус кривой, м.

Чтобы добиться равномерности нагрузки наружных и внутренних рельсовых нитей, делают возвышение наружного рельса.

Исходя из технико-экономических соображений возвышение наружного рельса устанавливается таким, чтобы были оптимальные условия работы рельсов как наружной, так и внутренней нитей.

Определим возвышение наружного рельса из условий обеспечения равномерности нагрузок наружного и внутреннего рельсов. На рис. 7 изображена схема сил, действующих на экипаж в кривой.

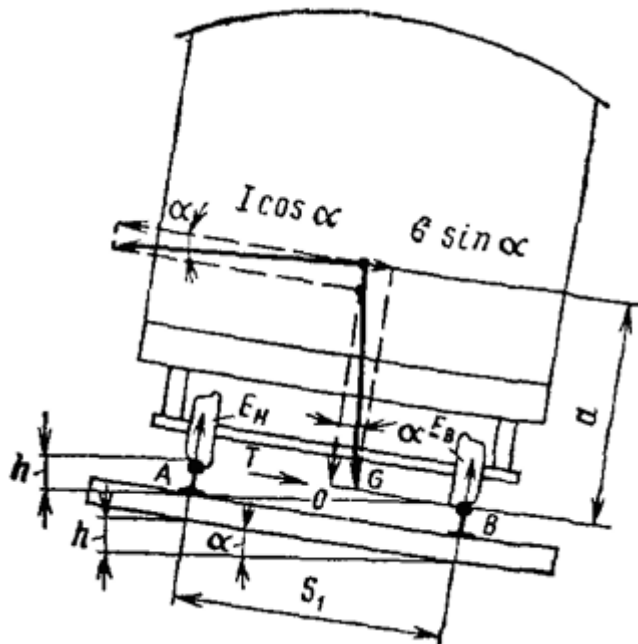


Рис. 7. Положение экипажа в кривой с возвышением наружного рельса

На основании схемы сил, действующих на локомотив в кривой получим:

$$h = 12,5 \cdot \frac{V^2}{R}, \text{ мм}$$

Из данной формулы видно, что в одной и той же кривой величина оптимального возвышения зависит от скорости движения поездов. Разные поезда движутся с различными скоростями, поэтому если для какой-либо кривой возвышение определено по средней скорости, то для одних поездов оно будет недостаточным, а для других – избыточным и в результате на подвижной состав будет действовать горизонтальная сила, направленная от центра или к центру кривой.

Максимальная величина возвышения не должна превышать 150 мм. Перерасчету подлежат возвышения в кривых, в которых наблюдаются повышенный износ рельсов по одной из ниток, интенсивные расстройствa по ширине колеи и направлению в плане, допускаемые скорости по возвышению и его отводу не соответствуют друг другу, начало и конец отводов по кривизне и возвышению не совпадают более чем на 10 м, реализуемые скорости на 10 – 15 % отличаются от максимальных установленных дорожным приказом или от ранее принятых в расчете возвышения, в том числе и из-за введения длительных ограничений скорости, а также кривые на участках запланированных капитальных работ.

Величина возвышения в круговой кривой определяется начальником дистанции пути и утверждается начальником железной дороги.

3. Величина возвышения в кривой в мм определяется по формулам:

- для пассажирского поезда:

$$h = 12,5 \cdot \frac{V_{\text{max.пас}}^2}{R} - 115, \text{ мм};$$

- для грузового поезда:

$$h = 12,5 \cdot \frac{V_{\text{max.гп}}^2}{R} - 50, \text{ мм}.$$

где $V_{\text{max.пас}}$ и $V_{\text{max.гп}}$ – максимальные скорости соответственно пассажирского и грузового поезда, км/ч.

R – радиус кривой (м).

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

- 1 Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации. – М.: ООО «Техинформ», 2013. – 520 с.
- 2 Правила тяговых расчетов для поездной работы. – М.: Транспорт, 1985. – 287 с.
- 3 Гребенюк П.Т., Долганов А.Н., Скворцова А.И. Тяговые расчеты: справочник. – М.: Транспорт, 1987. – 272 с.
- 4 Шапшал А.С., Илларионов А.В., Шапшал С.А. Тяга поездов: учебно-методическое пособие к выполнению курсовой работы. – Ростов н/Д: РГУПС, 2014. – 52 с.
- 5 Камаев А.А., Михальченко Г.С. Взаимодействие локомотива и пути в кривых участках пути: учеб. пособие. – Тула: Тульский политехнический институт, 1977. – 68 с.

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

12.1 Методические указания к практическим занятиям и выполнению индивидуального задания (расчетно-графическая работа)

Практическое занятие № 1

Автоматические выключатели

Автоматические выключатели предназначены для автоматического размыкания электрических цепей тепловоза при ненормальных режимах и для оперативных переключений при нормальных режимах работы. Автоматические выключатели различаются:

- по числу полюсов: одно-, двух- и трехполюсные;
- по виду расцепителя: с электромагнитным, тепловым и комбинированным расцепителями.

Выключатель А-3161 (рис. 1). Условное обозначение выключателя А-3161: А – автоматический выключатель; 31 – порядковый номер разработки; 6 – обозначение величины выключателя; 1 – число полюсов.

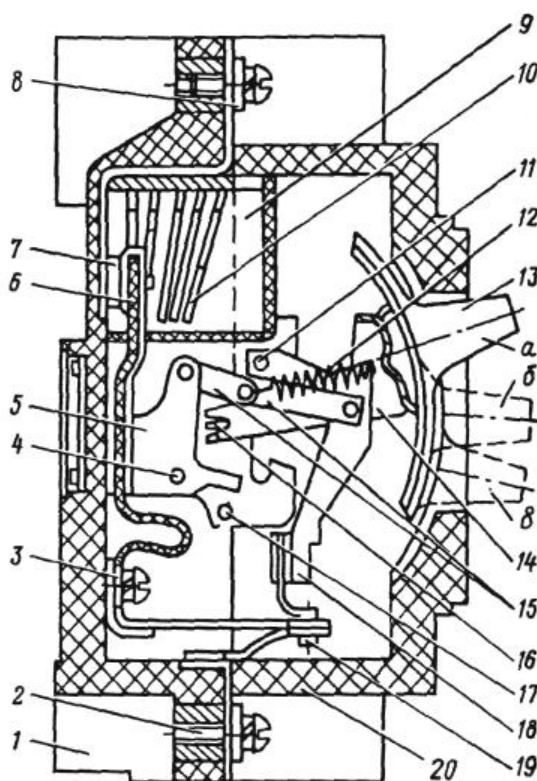


Рис. 1. Выключатель автоматический А- 3161:

- 1 – корпус; 2, 8 – контактные зажимы; 3 – биметаллическая пластина расцепителя; 4, 11 – оси неподвижные; 5 – рычаг контактный; 6 – контакт подвижной; 7 – контакт неподвижный; 9 – камера дугогасительная; 10 – пластина металлическая; 12 – пружина;
- 13 – рукоятка; 14 – рычаг управления; 15 – рычаги переключения; 16 – упор рычага управления; 17 – упор; 18 – рычаг взвода; 19 – штырек; 20 – крышка;
- a* – включен; *б* – выключен автоматически; *в* – выключен вручную

Выключатель состоит из следующих основных узлов: кожуха, коммутирующего устройства, дугогасительных камер, механизма управления, расцепителя максимального тока. Данные выключателя приведены в табл. 1.

Таблица 1. Характеристика выключателей А-3100

| Выключатель | Число полюсов | Напряжение главной цепи, В | |
|-------------|---------------|----------------------------|------------------------------------|
| | | постоянного тока | переменного тока частотой 50-60 Гц |
| А-3161 | 1 | 110 | 220 |
| А-3163 | 3 | 220 | 380 |
| А-3114 | 3 | 220 | 500 |
| А-3134 | 3 | 220 | 500 |
| А-3124П | 3 | 230 | 400 |
| А-3134П | 3 | 230 | 400 |

Корпус автомата выполнен из пластмассы. Он состоит из основания, на котором смонтированы все части автомата, и крышки.

Коммутирующее устройство состоит из неподвижных и подвижных контактов, которые соединены с шинами расцепителя максимального тока. Держатели подвижных контактов соединены изоляционной траверсой и посредством механизма свободного расцепления связаны с рукояткой автомата. Контакты изготовлены из металлокерамики, вследствие чего они не подгорают и устойчиво работают в течение гарантийного срока.

Контакты каждого полюса заключены в дугогасительную камеру, где происходит гашение дуги путем дробления ее поперечными стальными пластинами. Механизм управления обеспечивает мгновенное замыкание и размыкание контактов с постоянной скоростью, не зависящей от скорости движения рукоятки. Благодаря механизму свободного расцепления автоматическое отключение при перегрузках и коротких замыканиях происходит независимо от положения в этот момент рукоятки управления.

Расцепитель максимального тока может быть тепловым, срабатывающим с находящейся в обратной зависимости от тока выдержкой времени при перегрузках и коротких замыканиях; электромагнитным, срабатывающим мгновенно при токах, превышающих уставку на ток срабатывания; комбинированным, состоящим из теплового и электромагнитного элементов.

Автоматы А-3160 выпускаются только с тепловым расцепителем, а автоматы всех остальных типов – только с электромагнитным или комбинированным расцепителем.

При возникновении в любой фазе перегрузки или короткого замыкания срабатывает тепловой или электромагнитный элемент расцепителя, соответствующий данному полюсу, и поворачивает общую отключающую рейку. Механизм свободного расцепления срабатывает и все полюсы автомата размыкаются одновременно. Расцепители автоматов А-3160 и А-3110 – несъемные, смонтированы непосредственно в корпусе автомата, а расцепители автоматов остальных типов – съемные и имеют самостоятельный кожух. Приспособлений для регулировки тока уставки в эксплуатации расцепители не имеют.

Выключатели рассчитаны для работы до полного износа без зачистки контактов и смены частей.

Выключатель А-63. Условное обозначение: А – автоматический выключатель; 63 – порядковый номер.

Выключатель предназначен для установки в электрических цепях напряжением до 110 В постоянного тока или до 380 В переменного тока частотой 50–60 Гц для защиты от перегрузок и коротких замыканий и для оперативных включений и отключений указанных цепей с частотой до 30 включений в 1 ч.

Выключатели выполняются на номинальные токи от 0,6 до 25 А и рассчитаны для работы без замены каких-либо частей. Выключатели с расцепителем МГ в основном устанавливаются в цепях защиты от коротких замыканий.

Выключатель состоит из следующих основных частей: механизма свободного расцепления, контактной системы, дугогасительного устройства, электромагнитного максимального расцепителя тока.

Все узлы выключателя размещены в корпусе. Механизм свободного расцепления обеспечивает мгновенное размыкание и замыкание контактов. Отключение выключателя при перегрузках и коротких замыканиях происходит независимо от того, удерживается ли рукоятка управления во включенном положении или нет.

Выключатели изготавливаются с нерегулируемыми в условиях эксплуатации уставками на ток срабатывания. Монтаж выключателей ведется в закрытых шкафах и распределительных устройствах.

Установка, присоединение проводников к зажимам и осмотр должны производиться при снятом напряжении.

Выключатель АК-63 (рис. 2). Условное обозначение выключателя АК-63-2-МГ: АК-63 – обозначение серии; 2 – число полюсов; МГ – обозначение исполнения по виду расцепителя.

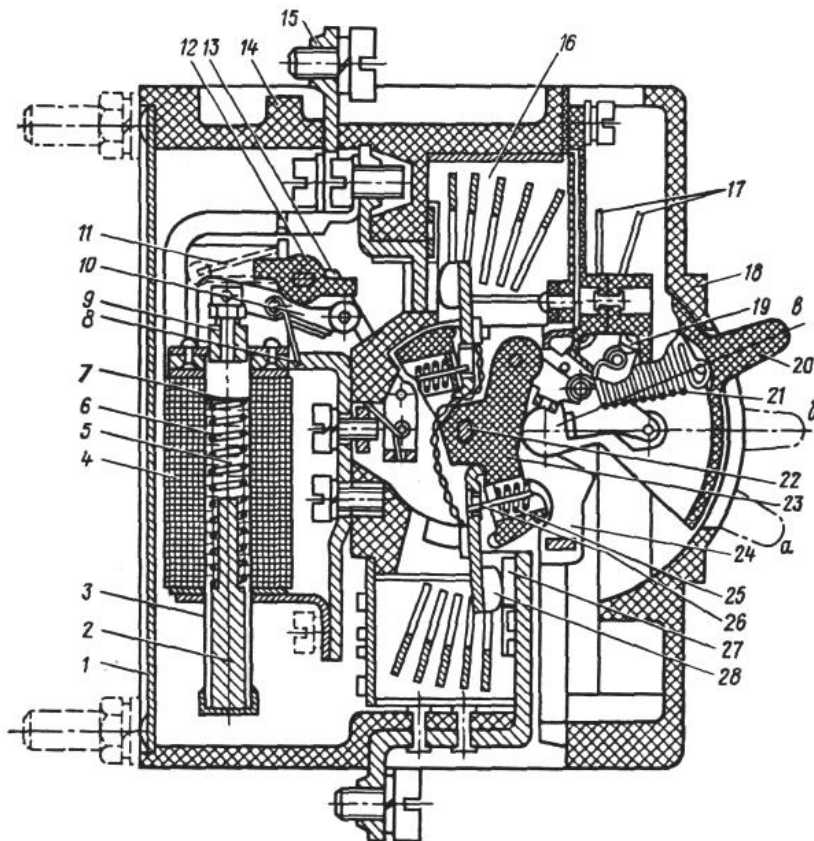


Рис. 2. Выключатель автоматический АК-63:

- 1 – дно; 2 – плунжер; 3 – трубка; 4 – катушка; 5 – жидкость специальная; 6, 8, 11, 21, 25 – пружины; 7 – наконечник полюсный; 9 – якорь; 10 – коромысло; 12 – рейка; 13 – рычаг; 14 – корпус; 15 – вывод; 16 – камера дугогасительная; 17 – выводы; 18 – крышка; 19 – вспомогательные контакты; 20 – рукоятка; 22 – ось; 23 – барабан; 24 – стойка; 26 – стержень; 27, 28 – контакты;

a – включен; *b* – выключен автоматически; *в* – выключен вручную

Выключатели предназначены для отключения при перегрузках и коротких замыканиях электрических цепей напряжением постоянного тока до 240 В или переменного тока частотой 50 или 60 Гц до 500 В, оперативных включений и отключений (до шести в 1 ч) этих цепей. Их данные приведены в табл. 2.

Таблица 2. Технические данные выключателей АК-63

| Выключатель | Номинальный ток, А | Номинальное напряжение, В |
|-------------|--------------------|---------------------------|
| АК-63-1М | 0,6-63 | 220, 380, 500 |
| АК-63-2М | 0,6-63 | 220, 380, 500 |
| АК-63-3М | 0,6-63 | 220, 380, 500 |
| АК-63-2М1 | 0,6-63 | 220, 380, 500 |
| АК-63-3М1 | 0,6-63 | 220, 380, 500 |

Выключатели допускают повторное включение практически мгновенно после автоматического отключения. Они состоят из следующих узлов: механизма управления, контактной системы, дугогасительного устройства, расцепителей максимального тока. Свободные контакты являются самостоятельным узлом, кинематически связанным с траверсой главных подвижных контактов.

Узлы смонтированы в пластмассовом корпусе, который закрывается со стороны механизма крышкой, со стороны расцепителей – дном.

Включение и отключение выключателя моментное как при автоматическом отключении, так и при оперативном вручную. Отключение выключателя при перегрузках и коротких замыканиях происходит независимо от того, удерживается рукоятка управления во включенном положении или нет. Расцепители изготавливаются с нерегулируемыми в условиях эксплуатации уставками на ток и время срабатывания.

Дополнительная металлическая оболочка единых для двух- и трехполюсных выключателей габаритных размеров может иметь для ввода проводников по два отверстия сверху и снизу.

Установка, присоединение проводников к главным и свободным контактам и осмотр выключателей выполняются при снятом напряжении. Корпус металлической оболочки выключателя должен быть заземлен проводником сечением не менее 2,5 мм². Бесконтактный тахометрический блок

Назначение устройства – измерение частоты вращения вала дизеля и формирование сигнала по частоте вращения вала дизеля, вводимого в систему регулирования генератора. Блок БА-420, принципиальная схема которого приведена на рисунке 3, состоит из насыщающегося трансформатора Тр1, компенсирующего трансформатора Тр2, выпрямительного моста В, сглаживающего фильтра, состоящего из индуктивности С конденсатора L и резистора R. Детали блока размещены в металлическом корпусе. Насыщающийся трансформатор выполнен на тороидальном сердечнике из пермаллоя, компенсирующий трансформатор – на тороидальном альсиферовом сердечнике. Обмотки трансформаторов залиты эпоксидным компаундом. Сглаживающий фильтр-дроссель и два электролитических конденсатора смонтированы на изоляционной панели.

Принцип действия такого устройства основан на использовании свойств насыщенного трансформатора Тр1 изменять выходное напряжение и ток нагрузки по линейной зависимости от частоты питающего напряжения. Так как источник питания СПВ – синхронный подвозбудитель имеет частоту, пропорциональную частоте вращения дизеля, то и ток нагрузки трансформатора Тр1 является линейной функцией от частоты вращения вала дизеля.

Для устранения погрешности измерения частоты вследствие неидеальности петли гистерезиса сердечника в схему включен компенсирующий трансформатор Тр2, у которого первичная обмотка соединена последовательно с первичной обмоткой трансформатора Тр1, а вторичная обмотка – встречно со вторичной обмоткой Тр1 и ее э. д. с. компенсирует часть э. д. с. вторичной обмотки Тр1, обусловленную изменением намагничивающего тока при насыщении сердечника. Выходное напряжение трансформаторов Тр1 и Тр2 выпрямляется мостом В, сглаживается фильтром, и подается на задающую обмотку амплистата ОЗ.

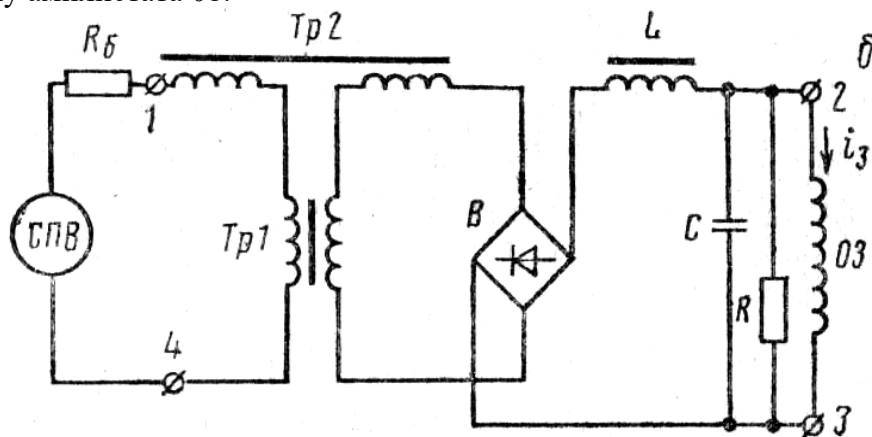


Рис. 3. Бесконтактное тахометрическое устройство

В тепловозах с передачей переменного-постоянного тока источником входного сигнала служит синхронный возбудитель СВ, частота переменного напряжения которого также пропорциональна частоте вращения коленчатого вала дизеля. Вместо задающей обмотки амплистата выходное напряжение с блока подается в диодно-потенциометрический селективный узел для управления возбуждением синхронного генератора.

При длительной эксплуатации блока БА-420 установлена высокая его надежность. В настоящее время используется бесконтактное тахометрическое устройство типа БА-430, отличающееся наличием еще одной вторичной обмотки у трансформатора Тр1 для питания индуктивного датчика.

Практическое занятие № 2

Бесконтактный регулятор напряжения БРН-ЗВ

Регулятор предназначен для поддержания с заданной точностью напряжения вспомогательного генератора в широком диапазоне изменения частоты вращения и тока нагрузки якоря.

Характеристика регулятора

Номинальное напряжение регулятора, В 75 ± 1

Номинальный ток, А 6

Наибольший ток возбуждения, А 10

Схема регулятора содержит две основные части: измерительный и регулирующий органы. Основу измерительного органа составляют стабилитрон $VD3$, транзисторы $VT1$, $VT2$, $VT3$ и резисторы R' , $R1$, $R2$, $R3$, $R4$. Измерительный орган собран по мостовой схеме, в которой стабилизированное напряжение на $VD3$ сравнивается с напряжением между выводом генератора $Я2$ и движком потенциометра $R2$, которое будет меняться с изменением напряжения вспомогательного генератора.

Регулирующий орган построен на двух тиристорах $VS4$ и $VS5$, конденсаторе $C2$. Остальные элементы в цепях тиристоров необходимы для их нормальной работы и защиты. Нагрузкой регулирующего органа является обмотка возбуждения вспомогательного генератора OB , зашунтированная диодом $VD10$ для уменьшения перенапряжений на обмотке возбуждения в момент выключения тиристора $VS4$.

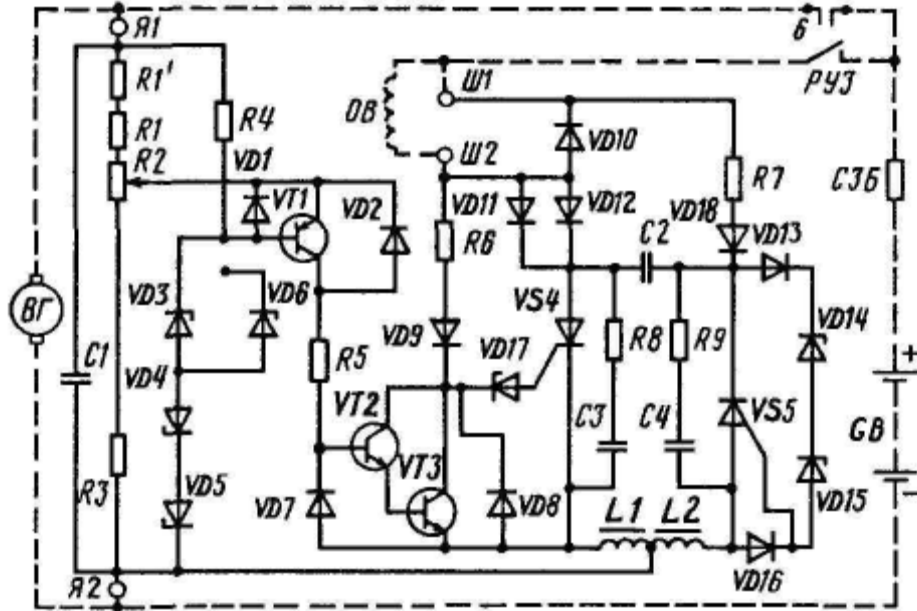


Рис. 1. Принципиальная схема регулятора напряжения БРН-3В

Регулирующий орган представляет собой мультивибратор, собранный на двух тиристорах $VS4$ и $VS5$ (рис. 2). Мультивибратор работает следующим образом. После включения рубильника P подается отпирающий положительный импульс на управляющий электрод тиристора $VS4$ через обмотку возбуждения OB и резистор $R6$, тиристор открывается, в результате чего ток начинает протекать по цепям: $+GB \rightarrow OB \rightarrow VS4 \rightarrow L1 \rightarrow -BA$ и $+BA \rightarrow R7 \rightarrow VD18 \rightarrow C2 \rightarrow VS4 \rightarrow L1 \rightarrow -GB$. По мере заряда конденсатора $C2$ напряжение на нем возрастает и становится достаточным для пробоя стабилитронов $VD14$, $VD15$. Через стабилитроны протекает ток, который обеспечивает открытие $VS5$. Заряженный положительно конденсатор $C2$ начинает разряжаться через открывшийся $VS5$ и еще открытый $VS4$.

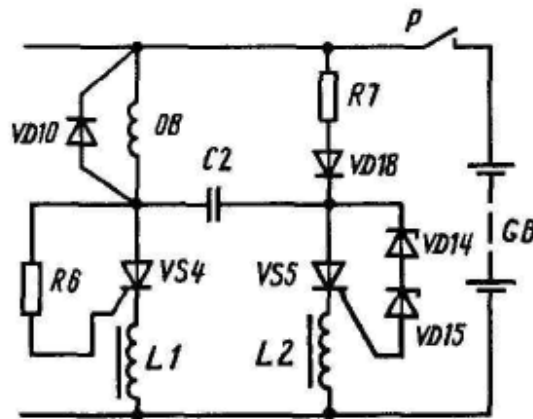


Рис. 2. Схема мультивибратора регулятора

Этот разряд конденсатора закрывает тиристор $VS4$ подачей напряжения обратной полярности (положительный потенциал правой обкладки конденсатора $C2$ прикладывается к катоду $VS4$, левая, отрицательно заряженная, обкладка соединена с анодом $VS4$). После запираания $VS4$ происходит перезаряд конденсатора через обмотку возбуждения OB и открытый тиристор $VS5$. Потенциал анода и ток управления $VS4$ растут, тиристор $VS4$ открывается, а $VS5$ закрывается разрядным током конденсатора, и процесс повторяется. В результате возникает устойчивый режим автоколебаний с частотой около 600 Гц. Периодическое запираание тиристора $VS4$ в режиме автоколебаний позволяет обеспечить периодическое отключение нагрузки, т.е. обмотки возбуждения вспомогательного генератора.

После запуска дизеля напряжение вспомогательного генератора растет пропорционально частоте вращения якоря, поэтому между движком потенциометра $R2$ и выводом $Я2$ (см. рис. 1) появится напряжение, пропорциональное напряжению вспомогательного генератора. Когда напряжение вспомогательного генератора $U_{ВГ}$ достигает 75 В, открывается транзистор $VT1$, что приводит к открыванию транзисторов $VT2$ и $VT3$.

После открывания транзистора $VT3$ им шунтируется переход «управляющий электрод – катод» тиристора $VS4$. Ток управления тиристора $VS4$ резко уменьшается благодаря наличию $VD17$, поэтому он не может включаться. Работа мультивибратора прекращается. Это приводит к уменьшению тока возбуждения, а значит и напряжения вспомогательного генератора. Снижение $U_{ВГ}$ происходит до тех пор, пока напряжение на входе транзистора $VT1$ уменьшится настолько, что $VT1$, а значит, $VT2$ и $VT3$ закроются. Мультивибратор снова переходит в автоколебательный режим, $U_{ВГ}$ растет, и процесс повторяется. Следовательно, процесс регулирования напряжения вспомогательного генератора имеет колебательный характер, частота которого определяется электрическими и механическими параметрами генератора. Напряжение генератора регулируется изменением среднего значения тока, протекающего по обмотке возбуждения. Это осуществляется изменением средней продолжительности включенного состояния тиристора $VS4$. Форма напряжения на обмотке OB показана на рис. 3.

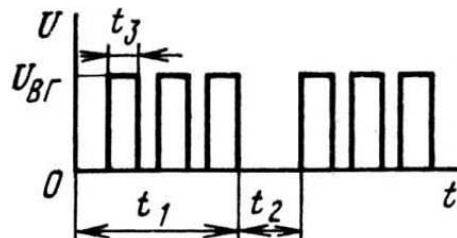


Рис. 3. Форма напряжения на обмотке OB : t_1 , t_2 – время работы и покоя мультивибратора;
 t_3 – время открытого состояния $VS4$

Практическое занятие № 3

Измерительные преобразователи, применяемые на современных локомотивах

Для измерения токов и напряжений в силовых цепях, цепях управления и вспомогательных машин тепловозов на сегодняшний день применяются специальные измерительные преобразователи. Они представляют собой электронные устройства, в которых величина измеряемого тока или напряжения преобразуется в пропорциональный токовый сигнал малой величины, поступающий затем в микропроцессорную систему управления локомотивом. Такие преобразователи пришли на смену измерительным

трансформаторам постоянного тока и постоянного напряжения, которые использовались в схемах тепловозов постройки 70–90-х годов. На тепловозах устанавливаются преобразователи ПН1.

Преобразователь напряжения измерительный ПН1 (рис. 1) предназначен для преобразования входного напряжения постоянного или переменного тока в пропорциональный токовый сигнал в диапазоне 0...5 мА.



Рисунок 1 – Измерительный преобразователь напряжения ПН1

Преобразователь имеет четыре гальванически связанных между собой входа, рассчитанные на следующие напряжения:

- по входу 1.....75 мВ;
- по входу 2.....150 В;
- по входу 3.....1000 В;
- по входу 4.....1500 В.

Для измерения тока используется вход 1 (рис. 2, а), подключаемый к выводам шунта, включенного в измеряемую цепь. Для измерения напряжений используются входы 2 – 4, на которые подается непосредственно измеряемое напряжение (рис. 2, б).

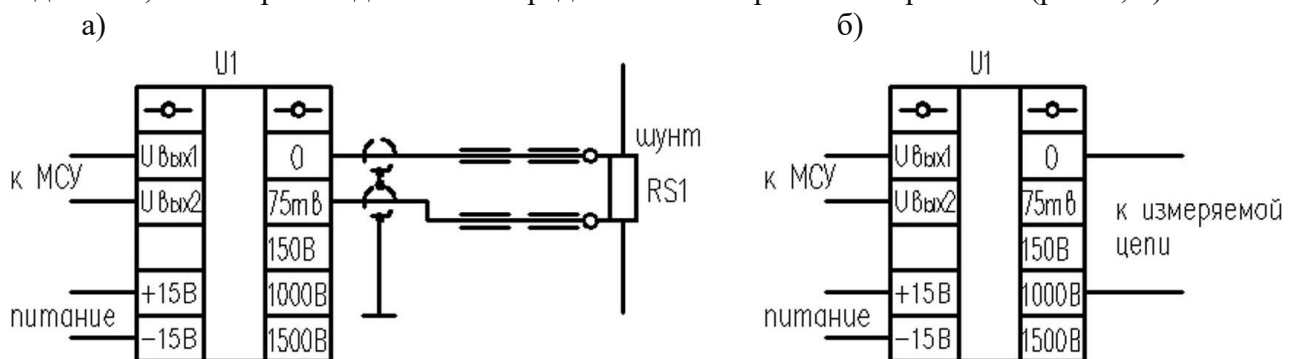


Рисунок 2 – Схемы включения преобразователя

Преобразователь имеет линейную зависимость выходного тока от входного напряжения. Для работы преобразователя требуется напряжение питания постоянного тока величиной 15 В. Допускаемая погрешность преобразователя – не более $\pm 1\%$.

Основные характеристики преобразователя:

- диапазон рабочих температур.....от $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$;

- масса.....не более 1,5 кг;
- габаритные размеры (В×Ш×Г), мм.... 200×80×130;
- потребляемая мощность.....не более 0,7 Вт;
- режим работы преобразователя.....непрерывный;
- средняя наработка на отказ.....не менее 24000 ч;
- срок службы.....не менее 10 лет.

Практическое занятие № 4

Полупроводниковые приборы и их применение на тепловозах

Широкое внедрение устройств автоматики, микропроцессорной и компьютерной техники на тепловозах стало возможным благодаря развитию и применению различных полупроводниковых приборов – диодов, транзисторов, тиристоров, интегральных микросхем и т.д.

Основу таких приборов составляют полупроводники – материалы IV группы периодической системы элементов Менделеева, обладающие свойством изменять свою электрическую проводимость с изменением температуры.

Полупроводники ведут себя как диэлектрики при температуре 0 °К (–273 °С). С ростом температуры их проводимость увеличивается, что вызывается температурными колебаниями кристаллической решетки материала. Различают собственные полупроводники и примесные.

Наибольшее применение в электронике нашли такие полупроводники, как германий и кремний.

При внесении в структуру полупроводника примеси V группы периодической системы образуется по одному свободному электрону от каждого атома примеси. Электрон носит отрицательный заряд (negative), поэтому полупроводник носит название n-типа.

При внесении в структуру полупроводника примеси III группы периодической системы образуется нехватка одного электрона от каждого атома примеси – «дырка», которую условно считают носителем положительного заряда (positive), поэтому полупроводник называется p-типа.

Под действием температуры процессы возникновения и исчезновения пар свободных носителей заряда хаотически постоянно происходят внутри кристаллической решетки полупроводника.

В полупроводнике p-типа основными носителями заряда являются дырки, обусловленные наличием примеси, а неосновными – электроны, появившиеся в результате тепловых колебаний решетки, неосновных носителей во много раз меньше, чем основных.

Аналогично в полупроводнике n-типа основными носителями заряда являются электроны, обусловленные наличием примеси, а неосновными – дырки, появившиеся в результате тепловых колебаний решетки.

При соединении друг с другом двух полупроводниковых областей разной проводимости образуется pn-переход (рис. 1).

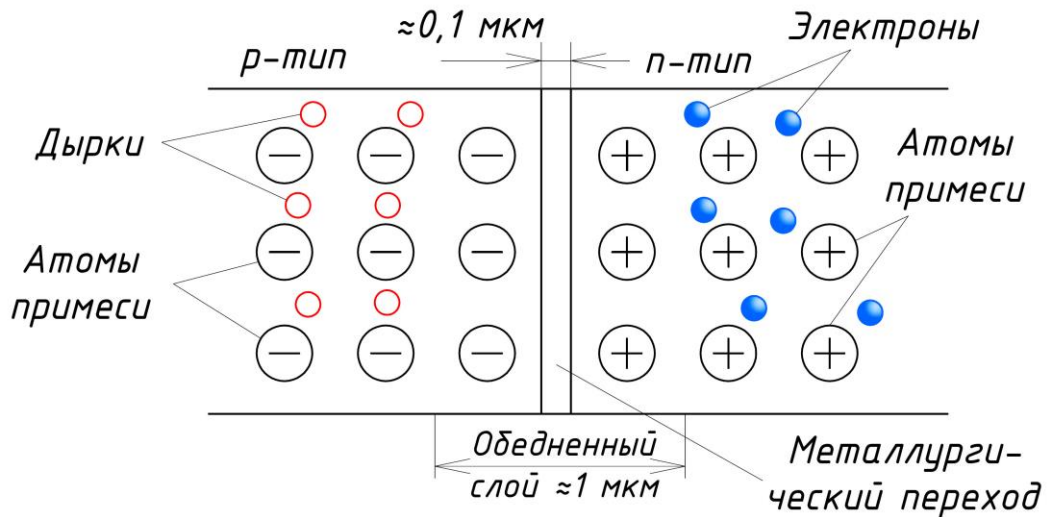


Рис. 1. Структура полупроводникового рп-перехода

В области соединения этих областей образуется технологический переход толщиной около 0,1 мкм, а в приграничных зонах областей – слой, обедненный свободными носителями заряда. Обедненный слой возникает из-за проникновения электронов и дырок, находящихся у границы перехода. При этом возникает объемный заряд, препятствующий дальнейшему переходу носителей заряда в соседние области. Если оснастить такой рп-переход электродами по краям, получится полупроводниковый диод. Возможны два случая его подключения к источнику энергии (рис. 2).

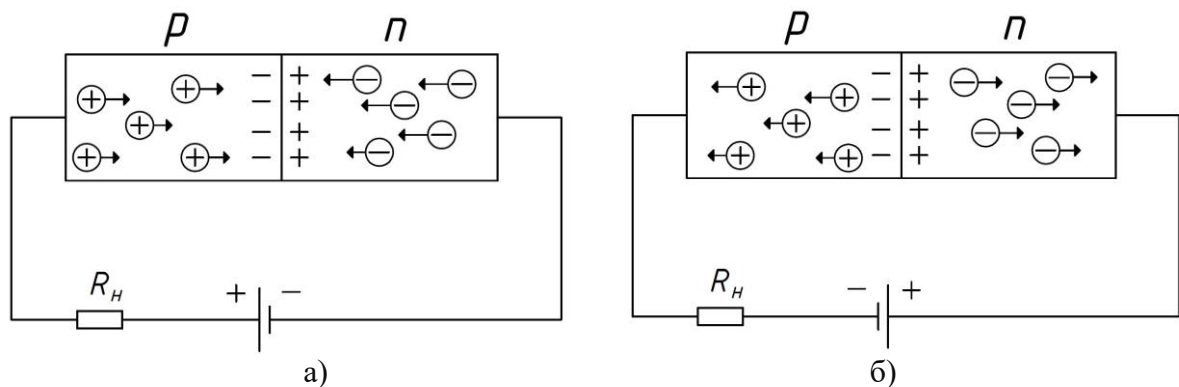


Рис. 2. Прямое (а) и обратное (б) включение рп-перехода

При прямом включении основным носителям заряда сообщается дополнительная энергия, достаточная для преодоления обедненного слоя, что вызывает их проникновение в соседнюю область, т.е. возникает электрический ток через переход.

При обратном включении основные носители заряда устремляются от границы перехода к краям своих областей, обедненный слой расширяется, возникновения тока через переход практически не происходит, очень малый ток будет обусловлен неосновными носителями.

Диоды – это приборы, состоящие из двух полупроводниковых областей разной проводимости и обладающие свойством проводить электрический ток только в одном направлении. Вывод диода, соединенный с р-областью, называют анодом, а соединенный с n-областью – катодом (рис. 3). Диод будет открыт, т.е. будет проводить ток при условии, что потенциал на его аноде будет выше потенциала на катоде.

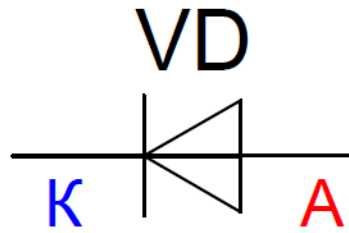


Рис. 3. Обозначение полупроводникового диода

Диоды используются в выпрямительных установках, управляемых и неуправляемых выпрямителях, блоках автоматики, цепях управления и защит тепловозов.

Стабилитроны – это специальный полупроводниковый диод, предназначенный для стабилизации напряжения (рис. 4). Отличие стабилитрона от диода состоит в том, что его используют не в прямом, а в обратном включении. При достижении определенного значения напряжения, приложенного к стабилитрону, происходит его пробой, в результате которого напряжение на стабилитроне далее не будет расти, а будет оставаться неизменным, т.е. стабилизируется. Пробой стабилитрона, в отличие от диодов, является обратимым в определенном диапазоне токов, и не приводит к выходу прибора из строя.

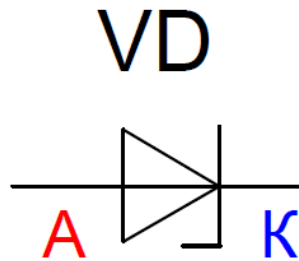


Рис. 4. Обозначение полупроводникового стабилитрона

Транзистор – это полупроводниковый прибор, предназначенный для усиления и генерирования электрических сигналов, а также для коммутации электрических цепей. Транзистор состоит из трех смежных чередующихся полупроводниковых областей, образующих два рп-перехода. Крайние области называют коллектором и эмиттером, а среднюю – базой. В зависимости от проводимости своих областей транзисторы могут быть р-п-р или п-р-п типа (рис. 5). С помощью очень малых значений тока базы можно управлять достаточно большими значениями цепи коллектор-эмиттер.

Транзисторы используются в блоках автоматики в качестве бесконтактных ключей или усилительных элементов, а также в силовых тяговых преобразователях.

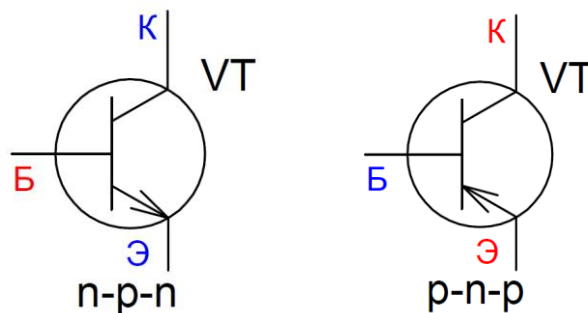


Рис. 5. Обозначение транзисторов

Тиристор – это полупроводниковый прибор, предназначенный для коммутации электрических цепей. Он может находиться в двух состояниях – открытом или закрытом.

В закрытом состоянии тиристор обладает очень большим сопротивлением, а в открытом – очень малым, что делает его почти идеальным ключом, наряду с высоким быстродействием и КПД.

Тиристор состоит из четырех смежных чередующихся полупроводниковых областей, образующих три рп-перехода. Крайнюю р-область называют анодом, крайнюю n-область – катодом, а одну из средних – управляющим электродом (рис. 6).

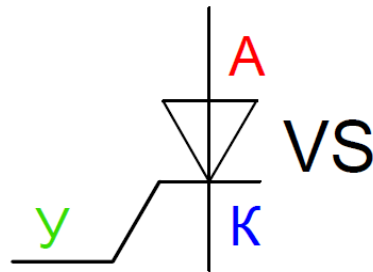


Рис. 6. Обозначение тиристора

Тиристоры используются в блоках автоматики и в силовых тяговых преобразователях в качестве бесконтактных ключей.

Интегральная микросхема – это полупроводниковое устройство, представляющее собой миниатюрный электронный блок, содержащий в общем корпусе транзисторы, диоды, резисторы и другие элементы, сформированные на едином кристалле кремния, число которых может достигать нескольких десятков тысяч.

Все микросхемы могут быть разделены на аналоговые и цифровые (рис. 7).

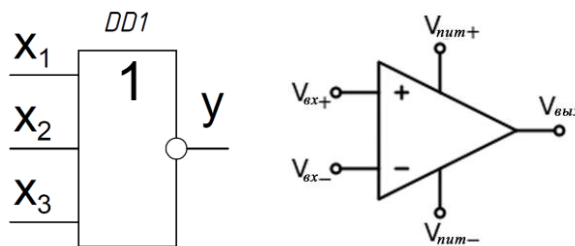


Рис. 7. Примеры обозначения микросхем (слева – цифровая, справа – аналоговая)

Отдельный класс цифровых микросхем – микроконтроллеры и микропроцессоры. Это программируемые микросхемы с высокой степенью интеграции для построения сложных систем управления.

Микросхемы используются в современных микропроцессорных системах управления тепловозом и блоках автоматики.

Практическое занятие № 5

Бесконтактное электронное реле времени

Бесконтактное реле времени предназначено для управления контактором маслопрокачивающего насоса и пусковыми контакторами при запуске дизеля и обеспечивает большие выдержки времени с высокой точностью.

Реле времени ВЛ-50 представляет собой малогабаритный полупроводниковый блок со встроенными выходными электромагнитными реле. Это реле разработано специально для тепловозов, имеет высокую надежность и небольшие размеры.

В схему реле ВЛ-50 (рис. 1) входят блок питания со стабилизацией выходного напряжения (выпрямитель ВП, резисторы R1, R3, стабилитрон Д1), генератор импульсов и их счетчик (микросхема У), каскад установки нуля (транзистор Т1), выходной усилитель (транзисторы Т2...Т4) и реле Р.

При поступлении напряжения каскад установки нуля устанавливает счетчик в нулевое состояние. Потенциал на его выходе низок, транзисторы Т2...Т4 закрыты, реле Р обесточено. Генератор импульсов, состоящий из порогового усилителя, собранного на микросхеме У типа 512 ПС8, конденсаторов С4, С5 и резисторов R13 – R23, вырабатывает импульсы, поступающие на вход счетчика. Когда количество импульсов становится равным коэффициенту пересчета счетчика, на его выходе появляется сигнал, поступающий в усилитель, и реле Р включается. Через открывшийся диод Д2 на генератор подается высокий потенциал – генерация импульсов и выдержка времени заканчиваются. При снятии напряжения питания схема возвращается в исходное состояние.

Функциональная схема реле приведена на рис. 2.

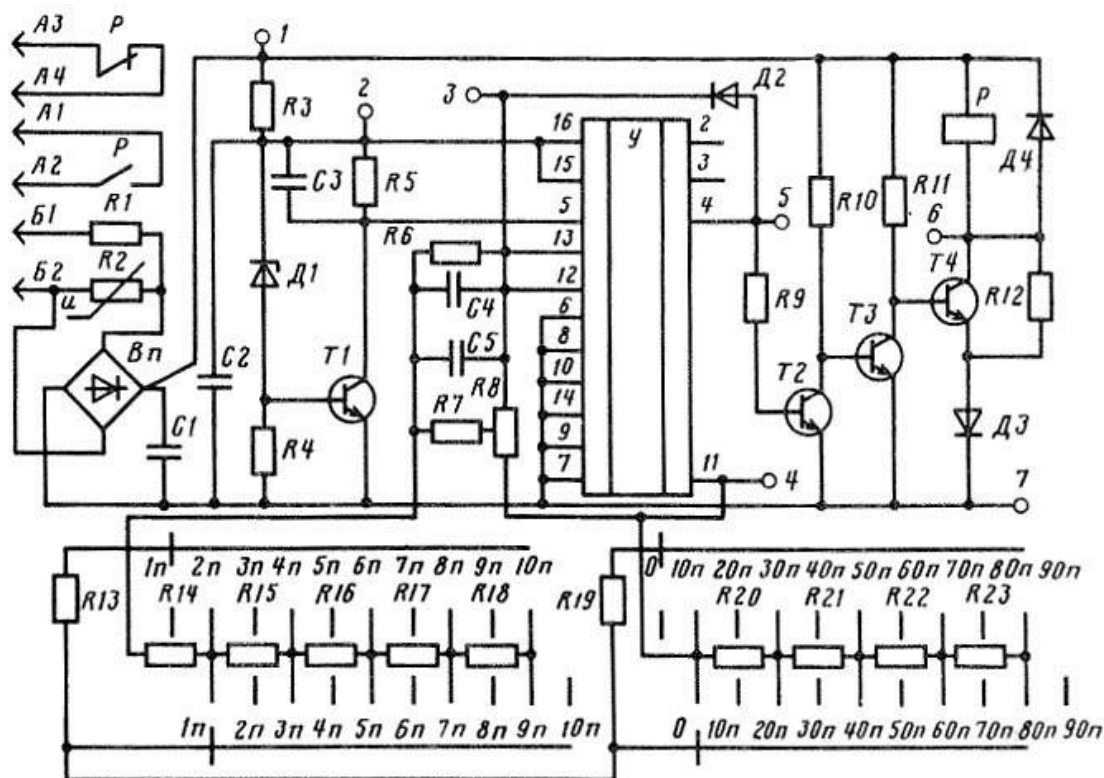


Рисунок 1 – Принципиальная схема реле ВЛ-50

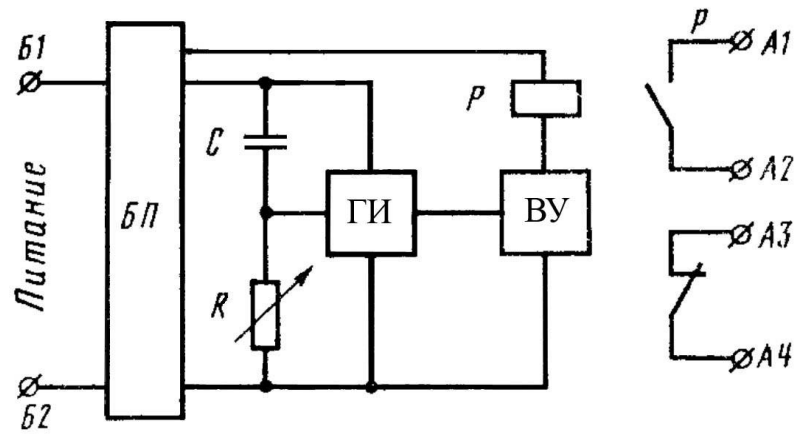


Рисунок 2 – Функциональная схема реле ВЛ-50:

БП – блок питания; ГИ – генератор импульсов; ВУ – выходное устройство; Р – реле

13 «ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПЕРЕДАЧИ ЛОКОМОТИВОВ»

13.1 Методические указания к практическим занятиям и выполнению индивидуального задания (курсовая работа)

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. Результативное изучение может быть достигнуто лишь при условии наличия основных знаний по курсам ТОЭ, «Электрические машины и аппараты», «Локомотивные энергетические установки», «Теория автоматического регулирования» и ряда других.

1 Этапы развития тягового электропривода локомотивов

Экономические показатели железнодорожных перевозок в значительной степени определяются характеристиками магистральных локомотивов: электровозов и тепловозов. По этой причине, достижения науки и техники очень быстро находят свое применение на железнодорожном транспорте. Достаточно вспомнить историю развития тягового подвижного состава в XIX и XX веках: использование паровой машины, электропривода, двигателя внутреннего сгорания.

И в прежние времена, и сейчас, в XXI веке, использование достижений науки при создании локомотивов обеспечивало улучшение их эксплуатационных характеристик и снижение затрат на перемещение грузов и пассажиров. Только за несколько последних десятилетий это позволило повысить единичную мощность серийно выпускаемых электровозов и тепловозов в 2,5...3,0 раза, а силу тяги в 2,0...2,5 раза.

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 |

2 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

$$M = C_m \Phi(I_g) I_a, \quad (1)$$

где $\Phi(I_g)$ – магнитный поток системы возбуждения, приходящийся на одно полюсное деление, Вб;

I_g – ток в обмотке возбуждения, А;

I_a – ток в якорной цепи, А;

$$C_m = \frac{pN}{2a\pi}, \text{ Н}\cdot\text{м}/(\text{Вб}\cdot\text{А}) \text{ – машинная постоянная;}$$

p – число пар главных полюсов;

N – число проводников обмотки якоря;

a – число параллельных ветвей обмотки якоря.

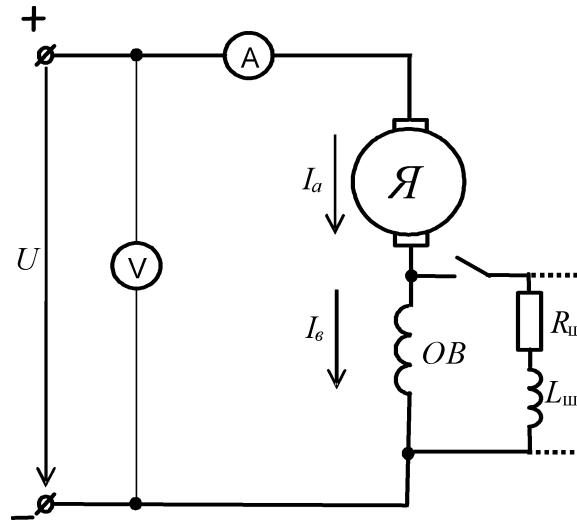


Рис. 1. Схема подключения коллекторного ТЭД последовательного возбуждения: Я – якорь; ОВ – обмотка возбуждения; I_a – ток в якорной цепи; I_g – ток в обмотке возбуждения; $R_{ш}$ – резистор шунтировки обмотки возбуждения; $L_{ш}$ – индуктивность шунтировки; U – напряжение; А, V – датчики тока и напряжения

Противо-ЭДС двигателя, В, определяется по формуле

$$E = C_e \Phi(I_g) n, \quad (2)$$

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

$$P = M\omega = \frac{2\pi}{60} Mn = C_e \Phi(I_g) n I_a = E I_a, \quad (3)$$

где ω – угловая скорость вращения вала двигателя, рад/с.

На рис. 2 приведена зависимость $E/\omega = C_e \Phi = f(I_g)$ (так называемая кривая намагничивания) для тягового электродвигателя ТЛ-2К1.

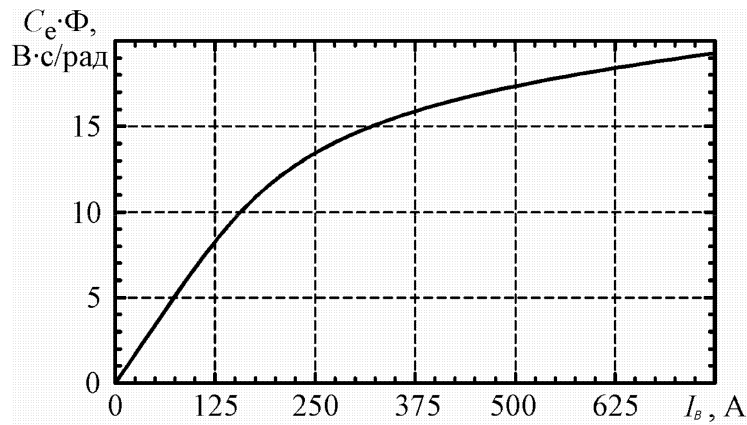


Рис. 2. Кривая намагничивания (холостого хода)
тягового двигателя ТЛ-2К1

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.

Характеристики некоторых коллекторных ТЭД электровозов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Технические характеристики коллекторных ТЭД электровозов

| Тип тягового двигателя | Серия электровоза | Мощность, кВт | | Напряжение длительного режима, В | Ток, А | | Частота вращения, об/мин | | Масса, кг | Удельная масса, кг/кВт |
|-------------------------------|-------------------|---------------|------------|----------------------------------|-----------------|------------|--------------------------|--------------|-----------|------------------------|
| | | Часовая | Длительная | | Часового режима | Длительный | Длительная | Максимальная | | |
| <i>ТЭД постоянного тока</i> | | | | | | | | | | |
| ТЛ-2К1 | ВЛ10 | 670 | 575 | 1500 | 480 | 410 | 790 | 1625 | 4700 | 7,0 |
| ДТК-800А | 2ЭС4к | 800 | 740 | 1500 | 570 | 525 | 765 | 1720 | 4600 | 5,75 |
| АЛ4846еТ | ЧС2 | 700 | 618 | 1500 | 495 | 435 | 630 | 1150 | 5250 | 7,5 |
| ДТК-800КЭ | ЭП2к | 825 | 735 | 1500 | 585 | 520 | 1000 | 1780 | 3850 | 4,7 |
| <i>ТЭД пульсирующего тока</i> | | | | | | | | | | |
| НБ-418К6 | ВЛ80к | 790 | 740 | 950 | 880 | 820 | 915 | 1950 | 4350 | 5,5 |
| НБ-514Б | 2ЭС5к | 820 | 765 | 1000 | 870 | 810 | 940 | | 4300 | 5,2 |
| АЛ444пР | ЧС4 | 850 | 820 | 800 | 1140 | 1100 | 1215 | 1860 | 2950 | 3,5 |
| НБ-520В | ЭП1, ЭП1м | 800 | 750 | 1000 | 845 | 795 | 1050 | 2020 | 3500 | 4,4 |

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.

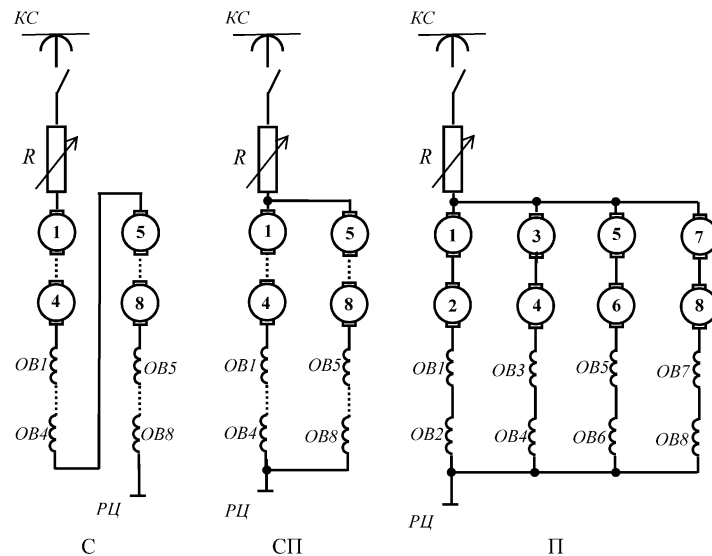


Рис. 3. Последовательное (С), последовательно-параллельное (СП) и параллельное (П) соединение ТЭД; OB – обмотка возбуждения; $КС$ – контактная сеть; $РЦ$ – рельсовая цепь; R – реостат

При соединении С напряжение U на каждом двигателе составляет $1/8$ напряжения контактной сети, то есть $U = U_{кc} / 8 = 375$ В, и через 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 $U = U_{кc} / 4 = 750$ В, а через каждый двигатель протекает половина тока, потребляемого электровозом из контактной сети: $I_a = 1/2 I_{кc}$. В результате скорость движения возрастает, а тяга уменьшается.

При соединении П напряжение U на каждом двигателе составляет $1/2$ напряжения контактной сети, то есть $U = U_{кc} / 2 = 1500$ В, а через каждый двигатель протекает четверть тока, потребляемого электровозом из контактной сети: $I_a = 1/4 I_{кc}$. 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 $R_{ш}$, 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 двигатели, 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 $U_{кc}$, 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.

3 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).

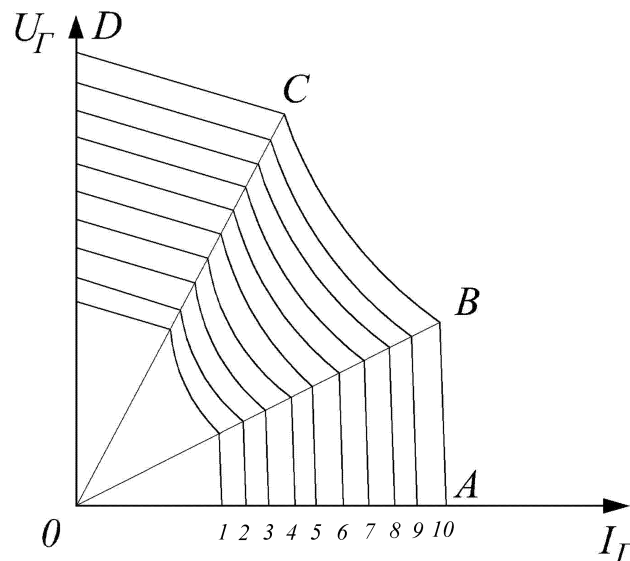


Рис. 4. Внешняя характеристика тягового генератора в зависимости от набранной позиции КМ: 1, ..., 10 – номера позиций

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_G 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.

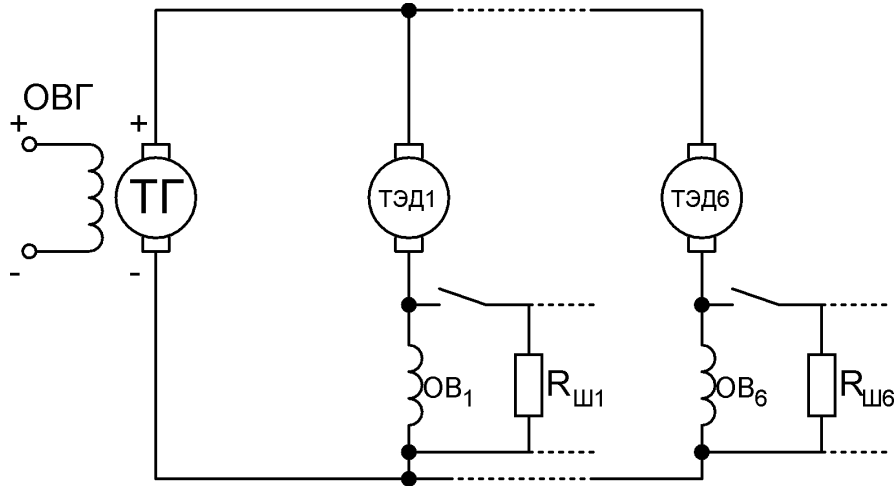


Рис. 5. Принципиальная схема электрической передачи постоянного тока (параллельное соединение ТЭД): ТГ – тяговый генератор; ТЭД – тяговый электродвигатель; ОВГ – обмотка возбуждения генератора; ОВ – обмотки возбуждения ТЭД

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.

Технические характеристики ТГ и ТЭД некоторых тепловозов с ЭПМ постоянного тока приведены в табл. 3 и 4.

ЭПМ постоянного тока выполняют с постоянным соединением тяговых генераторов и электродвигателей, а управление осуществляется изменением напряжения тягового генератора и магнитного потока электродвигателей.

Таблица 3

**Технические характеристики тяговых генераторов
тепловозов с ЭПМ постоянного тока**

| Тип тягового генератора | Серия тепловоза | Мощность, кВт | Ток продолжительного режима, А | Напряжение, В (числитель – максимальное, знаменатель – номинальное) | Частота вращения, об/мин | Масса, кг | Удельная масса, кг/кВт |
|-------------------------|--------------------------------|---------------|--------------------------------|---|--------------------------|-----------|------------------------|
| ГПЗ11Б | 2ТЭ10М, 3ТЭ10М, 2ТЭ10Л, 2ТЭ10В | 2000 | 4320 | 700/465 | 850 | 8900 | 4,45 |
| ГПЗ12 | М62, 2М62 | 1270 | 3570 | 570/365 | 750 | 7400 | 5,8 |
| ГПЗ11В | ТЭП60, 2ТЭП60 | 2000 | 4320 | 635/465 | 750 | 9000 | 4,5 |
| ГПЗ00Б | ТЭМ2, ТЭМ2М | 780 | 1210 | 870/645 | 750 | 5000 | 6,4 |
| TD-802 | ЧМЭЗ | 885 | 1565 | 565 / 377 | 750 | 4700 | 5,3 |

Примечание: возбуждение независимое для всех типов генераторов.

Таблица 4

**Технические характеристики ТЭД
тепловозов с ЭПМ постоянного тока**

| Тип тягового двигателя | Серия теплового | Мощность, кВт | Ток продолжительного режима, А | Напряжение длительное, В | Частота вращения, об/мин | | Масса, кг | Удельная масса, кг/кВт |
|------------------------|-----------------------------------|---------------|--------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------|-----------|------------------------|
| | | | | | Длительная | Максимальная | | |
| ЭД-118А | 2ТЭ10М, 3ТЭ10М, 2ТЭ10Л, 2ТЭ10В | 305 | 720 | 463 | 585 | 2290 | 3100 | 10,2 |
| ЭД-107А | М62, 2М62 | 193 | 595 | 356 | 474 | 2290 | 3100 | 16 |
| ЭД-108А | ТЭП60, 2ТЭП60 | 305 | 700 | 475 | 610 | 1870 | 3350 | 11 |
| ЭД-118А | ТЭМ2, ТЭМ2М | 105 | 605 | 203 | 247 | 1300 | 3100 | 29,5 |
| ТЕ-006 | ЧМЭЗ | 123 | 750 | 197 | 295 | 1660 | 2450 | 19,9 |

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 ЧМЭ3.

Кратко остановимся на принципе действия и устройстве такой схемы, использующей генератор-возбудитель с продольным расщеплением полюсов, применительно к тепловозу ТЭМ2 (рис. 6).

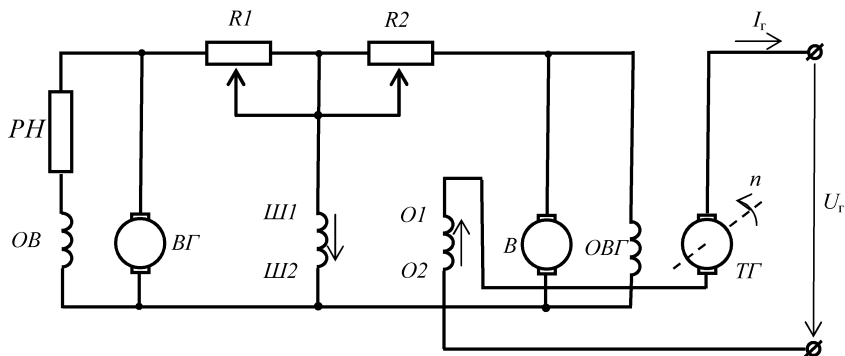


Рис. 6. Принципиальная блок-схема электромашинной системы автоматического регулирования напряжения тягового генератора (схема Лемпа)

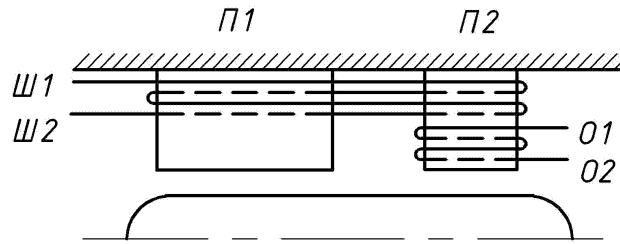


Рис. 7. Размещение обмоток на расщепленном полюсе возбудителя:
Ш1-Ш2 – обмотка параллельного возбуждения; *О1-О2* – дифференциальная обмотка

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 *В* 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 *В*, так и от вспомогательного генератора *ВГ*.

На насыщенной части полюса *П2* смонтирована дифференциальная обмотка *О1-О2*, включенная последовательно с якорем тягового генератора, причем ее витки намотаны на сердечник противоположно виткам обмотки *Ш1-Ш2*. Поэтому магнитодвижущая сила дифференциальной обмотки *О1-О2* направлена встречно МДС параллельной обмотки *Ш1-Ш2*.

ЭДС возбудителя, *В*, 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

$$F_{П1} = F_{шв}.$$

Магнитный поток насыщенной части полюсов $\Phi_{П2}$ определяется как разность МДС параллельной и дифференциальной обмоток:

$$F_{П2} = F_{шв} - F_{дв}.$$

На рис. 8 представлен характер изменения величин $E_{П1}$, $E_{П2}$ и E_b в зависимости от тока нагрузки I_T тягового генератора.

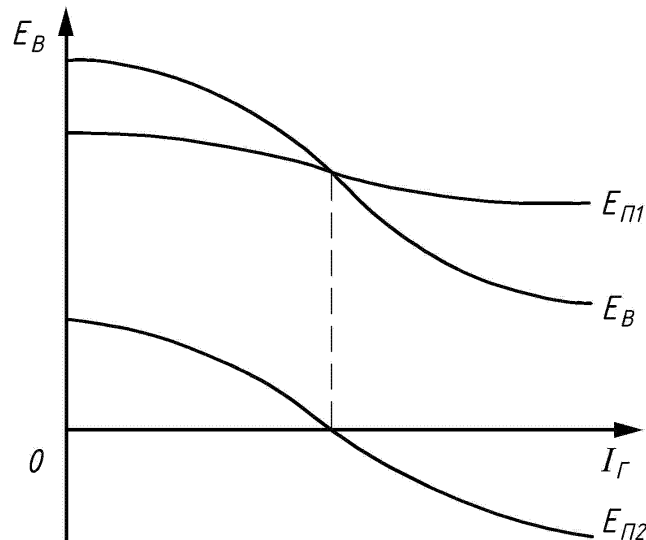


Рис. 8. Характеристики возбудителя с продольным расщеплением полюсов: $E_{П1}$ – ЭДС возбудителя при возбуждении от ненасыщенной части полюсов; $E_{П2}$ – ЭДС возбудителя при возбуждении от насыщенной части полюсов; E_B – результирующая ЭДС возбудителя

Как указывалось выше, составляющая ЭДС $E_{П1}$ определяется МДС параллельной обмотки $F_{пв}$. Если бы эта обмотка питалась только от цепи вспомогательного генератора $BГ$, то $E_{П1}$ 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 $\Phi_{П1}$ и ЭДС $E_{П1}$ с увеличением тока нагрузки тягового генератора будут снижаться (см. линию $E_{П1}$ 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 возбудителя B .

На рис. 9 представлена характеристика возбудителя с продольно-расщепленными полюсами МВТ-25/9 тепловоза ТЭМ2. Характеристика тягового генератора ГП-300Б подобна характеристике возбудителя (рис. 10). Обратим внимание на то, что напряжение U_B , подаваемое на независимую обмотку возбуждения тягового генератора, измеряется десятками вольт, а напряжение U_r на его клеммах – сотнями вольт, то есть тяговый генератор работает как усилитель напряжения.

Таким образом, при увеличении тока I_r в силовой цепи напряжение генератора U_r 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:

$$M = C_M \Phi(I_e) I_r,$$

(10)

что обеспечивает устойчивую работу дизель-генераторной установки.

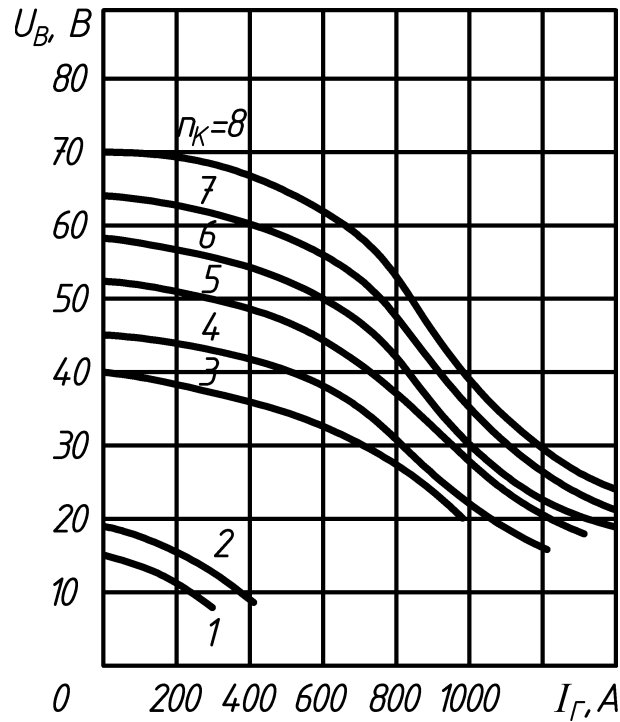


Рис. 9. Характеристика возбудителя МВТ-25/9 для различных позиций КМ:
1, ..., 8 – номера позиций

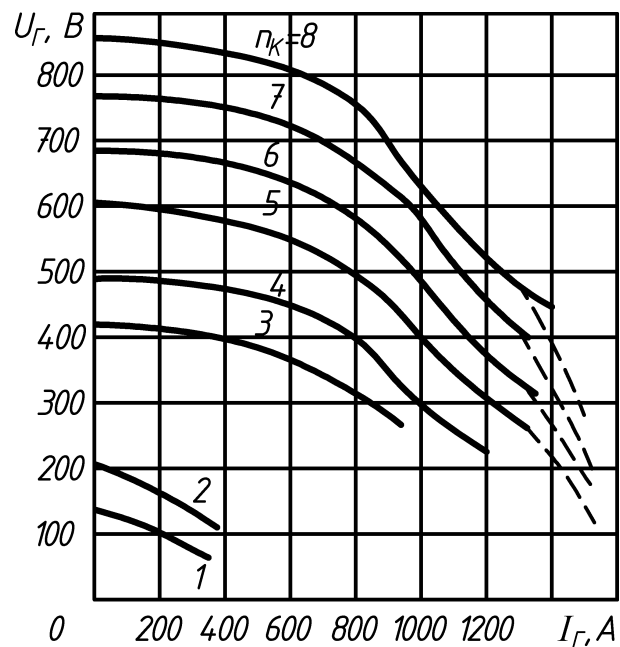


Рис. 10. Внешняя характеристика генератора ГП-300Б для различных позиций КМ:
1, ..., 8 – номера позиций

С точки зрения теории автоматического управления (ТАУ), описанная выше схема Лемпа представляет собой простейшую систему автоматического регулирования по возмущению (рис. 11).

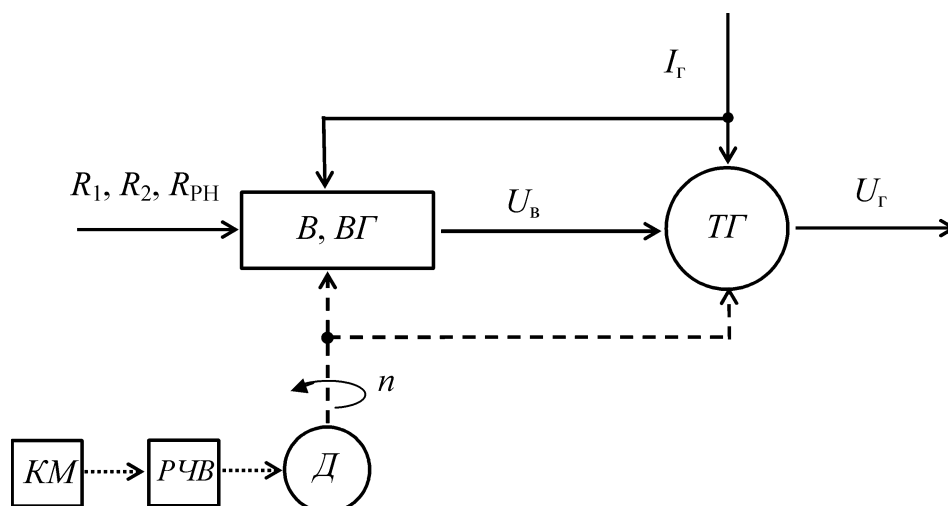


Рис. 11. Функциональная схема системы автоматического регулирования напряжения тягового генератора по возмущению

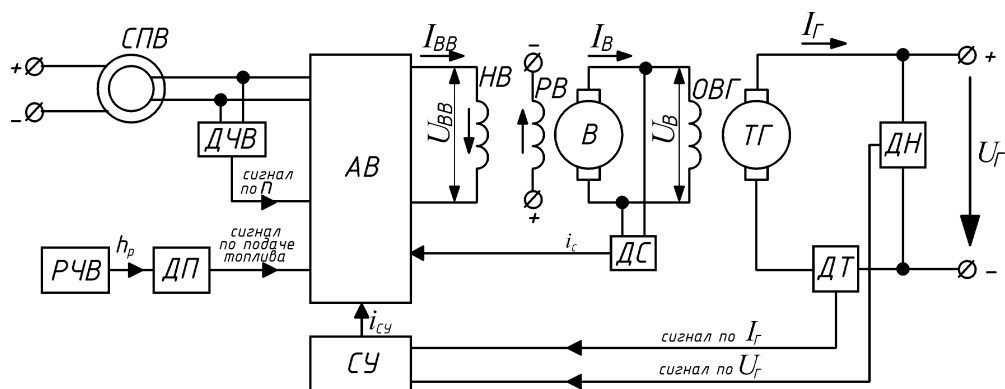
Объектом управления является тяговый генератор, возмущением для него является ток нагрузки I_{Γ} . Управляемой величиной является напряжение тягового генератора U_{Γ} .

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_B , 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.



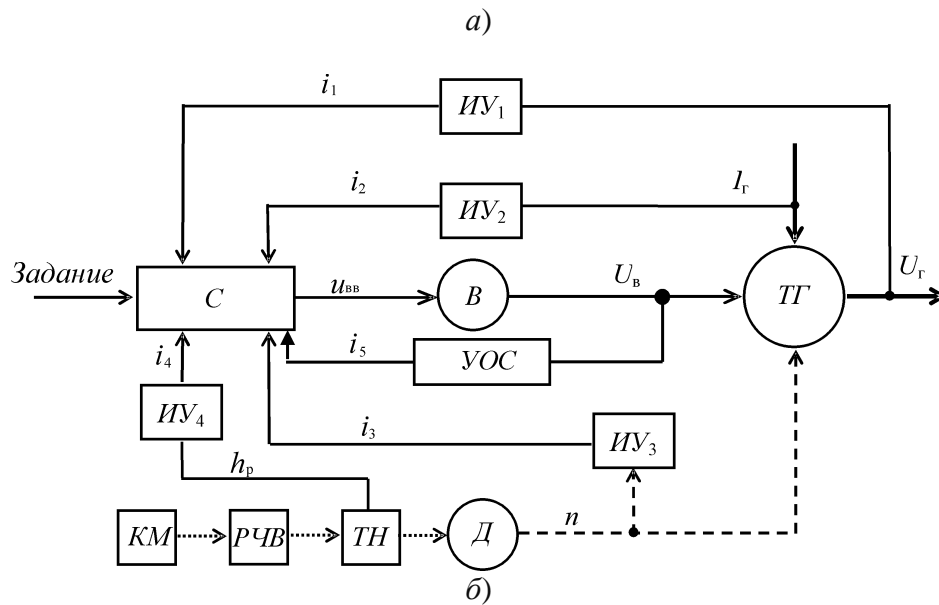


Рис. 12. Структурная (а) и функциональная (б) схемы комбинированной автоматической системы регулирования напряжения тягового генератора: *КМ* – контроллер машиниста; *РЧВ* – регулятор частоты вращения; *ТН* – топливный насос; *Д* – дизель

В качестве сигналов по возмущениям тягового генератора *ТГ* 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 *С* (амплистат возбуждения *АВ*).

На выходе сумматора формируется напряжение возбуждения возбудителя $U_{вв}$, которое подается на возбудитель *В*, 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 амплистата *АВ*.

Для настройки регуляторов применены переменные сопротивления, играющие роль задающих устройств (на схеме не показаны).

Напряжение $U_{в}$, подаваемое от возбудителя на обмотку возбуждения *ТГ*, 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_r (при параллельном соединении ТЭД), либо ему пропорционально (при последовательно-параллельном соединении). 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 степени 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 проходит 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 степени ослабления поля.

4 Электровозы переменного тока с коллекторными ТЭД пульсирующего тока

Массовая электрификация железных дорог нашей страны на переменном токе (напряжение $U_{kc} = 25$ кВ, частота $f = 50$ Гц) и применение электровозов переменного тока стали возможными после освоения производства выпрямительных установок: сначала на базе ртутных вентилях (игнитроны), а затем, в 60-х годах XX века, на базе полупроводниковых кремниевых диодов.

Первое поколение электровозов переменного тока. Принципиальная блок-схема силовых цепей электровозов переменного тока с неуправляемой выпрямительной установкой (ВЛ60к, ВЛ80 всех модификаций, кроме ВЛ80р, а также ЧС4, ЧС4т, ЧС8) показана на рис. 13.

От токоприемника напряжение контактной сети U_{kc} подается на сетевую (первичную) обмотку понижающего тягового трансформатора TP . Напряжение регулируется на первичной (электровозы ЧС) или на вторичной (электровозы ВЛ) обмотке, что требует большого числа выводов. Далее будем рассматривать только конструкцию, принятую на электровозах ВЛ.

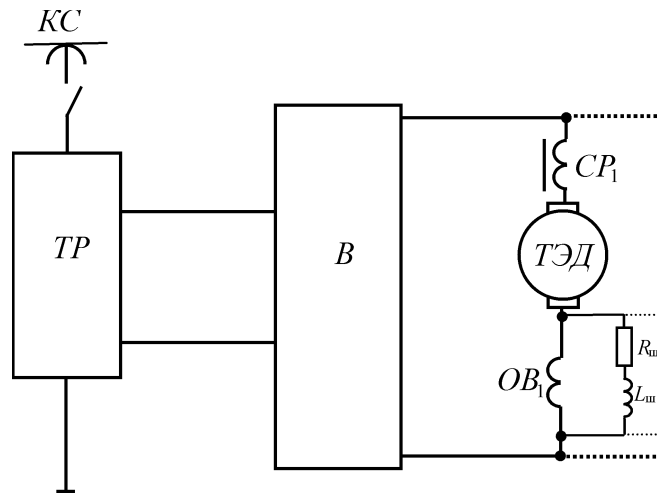


Рис. 13. Принципиальная блок-схема силовых цепей электровоза переменного тока с неуправляемой выпрямительной установкой

Напряжение с выводов вторичной обмотки подается на выпрямительную установку B , а затем на тяговые двигатели последовательного возбуждения.

Диодная выпрямительная установка выполнена по мостовой схеме (рис. 14) и состоит из четырех плеч $VD1 - VD4$, подключенных ко вторичной обмотке трансформатора.

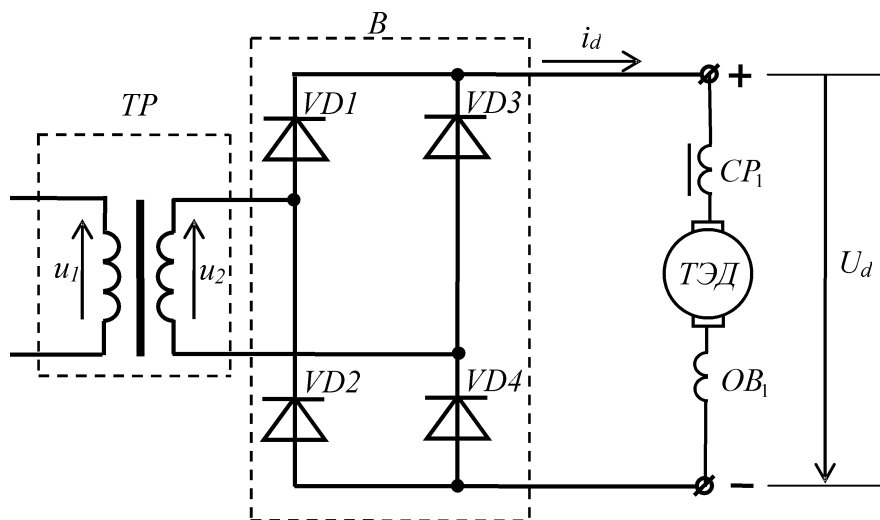
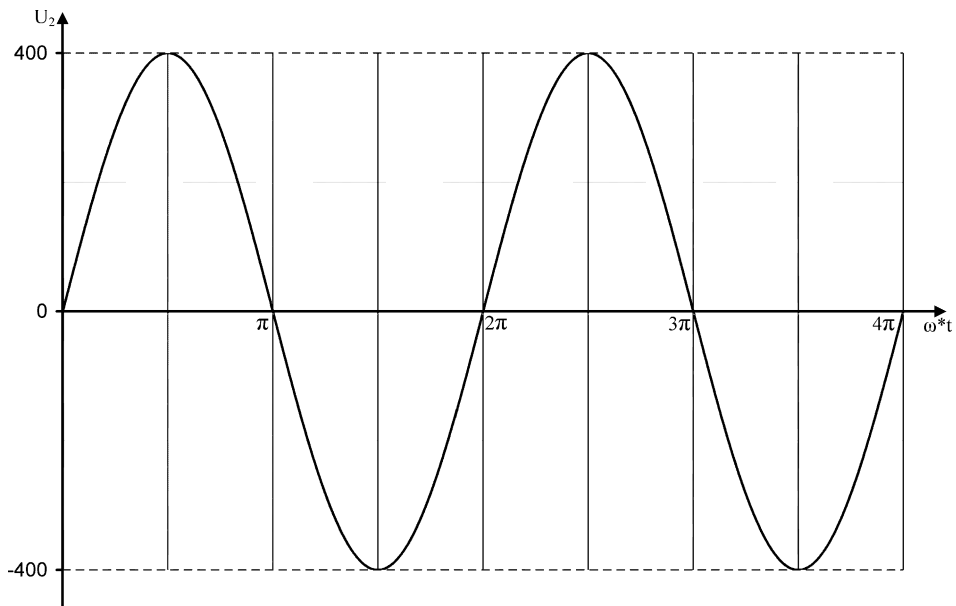


Рис. 14. Схема однофазной мостовой выпрямительной установки

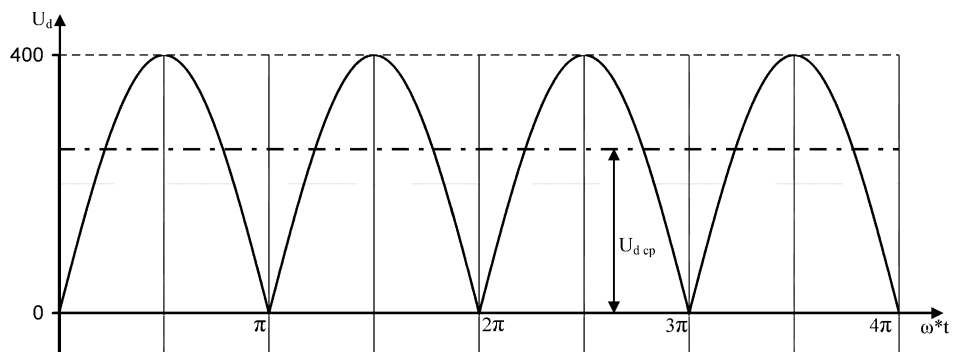
В течение одного полупериода при направлении ЭДС, показанном на рис. 14 стрелкой, ток проходит от одного вывода вторичной обмотки трансформатора через вентиль $VD1$, нагрузку и вентиль $VD4$ к другому выводу. В течение второго полупериода (при противоположном направлении ЭДС) ток проходит от второго вывода трансформатора через вентиль $VD3$, нагрузку и вентиль $VD2$ к первому выводу. В обоих случаях через нагрузку ток i_d проходит в одном направлении.

Диаграммы напряжения u_2 на вторичной обмотке трансформатора и выпрямленного напряжения U_d показаны на рис. 15 а, б.

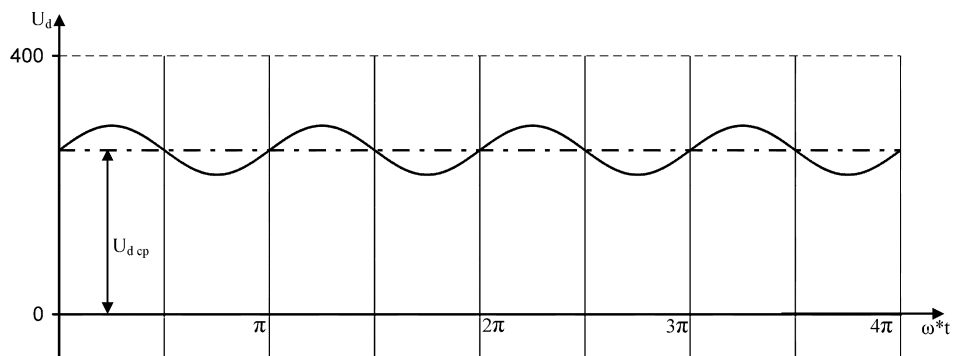
Выпрямленное напряжение U_d при разложении в ряд Фурье содержит постоянную составляющую, равную среднему значению, и переменную составляющую, которая представляет собой сумму высших гармонических составляющих.



а)



б)



в)

Рис. 15. Диаграммы напряжения на вторичной обмотке трансформатора (а), выпрямленного напряжения (б) и напряжения, подаваемого на ТЭД после сглаживающего реактора (в)

Среднее значение выпрямленного напряжения

$$U_{\text{сред}} = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} U_{M2} \sin \varphi d\varphi = \frac{U_{M2}}{\pi} (-\cos \varphi) \Big|_0^{\pi} =$$

$$= \frac{2}{\pi} U_{M2} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} U_2 \approx 0,9U_2;$$

где U_{M2} – амплитудное значение напряжения вторичной обмотки трансформатора;
 U_2 – эффективное значение этого напряжения;

$$\varphi = \omega^* t; \quad \omega^* = 2\pi f.$$

Синусная составляющая ряда отсутствует, так как U_d – четная функция, а косинусная составляющая имеет только четные гармоники. Амплитуды гармонических составляющих порядков $n = 2, 4, 6, \dots$ таковы:

$$a_{(n)} = \frac{2}{n^2 - 1} U_{\text{сред}}.$$

Численные значения, характеризующие интенсивность гармоник переменной составляющей выпрямленного напряжения при частоте питающей сети $f = 50$ Гц, приведены ниже.

| n | 2 | 4 | 6 | 8 |
|-----------------------------|------|-------|------|-------|
| $f_n = n f$, Гц | 100 | 200 | 300 | 400 |
| $a_{(n)} / U_{\text{сред}}$ | 0,66 | 0,134 | 0,06 | 0,032 |

Отсюда следует, что в кривой выпрямленного напряжения ярко выражена вторая ($n = 2$) гармоническая составляющая с частотой $f_2 = 100$ Гц, амплитуда которой достигает 66% постоянной составляющей. Доля других высших гармоник незначительна.

Качество выпрямленного напряжения оценивается коэффициентом пульсации, представляющим собой отношение амплитуды переменной составляющей (которая может быть приближенно принята равной амплитуде старшей гармоники) к среднему значению выпрямленного напряжения:

$$k_q \approx \frac{a_{(2)}}{U_{\text{сред}}} = 0,66.$$

Отсюда ясно, что качество выпрямленного напряжения невысокое. Для сглаживания пульсаций выпрямленного тока применяются сглаживающие реакторы *СР* (см. рис. 13). График напряжения, подаваемого на ТЭД после сглаживающего реактора, показан на рис. 15, в. Однако, если подать такое пульсирующее напряжение на тяговый двигатель, применяющийся на электровозах постоянного тока, это приведет к его перегреву вследствие ухудшения условий коммутации.

Поэтому были разработаны коллекторные ТЭД пульсирующего тока, специальные конструктивные меры позволили приспособить эти двигатели к нормальной работе в условиях наличия гармоники 100 Гц в питающем напряжении. Характеристики ТЭД пульсирующего тока приведены в табл. 2.

На электровозах переменного тока ТЭД всегда подключены параллельно, перегруппировка двигателей и пусковые реостаты не применяются.

Скорость движения регулируется изменением напряжения, подводимого к ТЭД, что достигается на электровозах ВЛ переключением под нагрузкой секций тяговой обмотки трансформатора и встречным или согласованным соединением нерегулируемых и регулируемых секций этой обмотки (так называемое зонное регулирование). Переключения выполняются главным контроллером при помощи кулачковых валов и контакторов.

Применяется ослабление поля возбуждения ТЭД: три ступени на электровозах ВЛ (0,70; 0,52; 0,43), пять ступеней на электровозах ЧС (0,72; 0,60; 0,51; 0,44; 0,40).

Второе поколение электровозов переменного тока. Существенным недостатком электровозов первого поколения являются ступенчатое изменение напряжения на ТЭД и невозможность реализации режима рекуперативного торможения.

Эти недостатки удалось устранить за счет применения управляемого преобразователя на тиристорах, который позволил реализовать в режиме тяги плавное регулирование напряжения путем изменения угла отпирания тиристоров (зонно-фазное регулирование).

Преобразовательная установка получила название выпрямительно-инверторного преобразователя *ВИП*, она применяется на грузовых (ВЛ80р, ВЛ85 и семейства «Ермак») и пассажирских (ВЛ65, ЭП1 и его модификациях) электровозах. Принципиальная блок-схема силовых цепей этих электровозов показана на рис. 16.

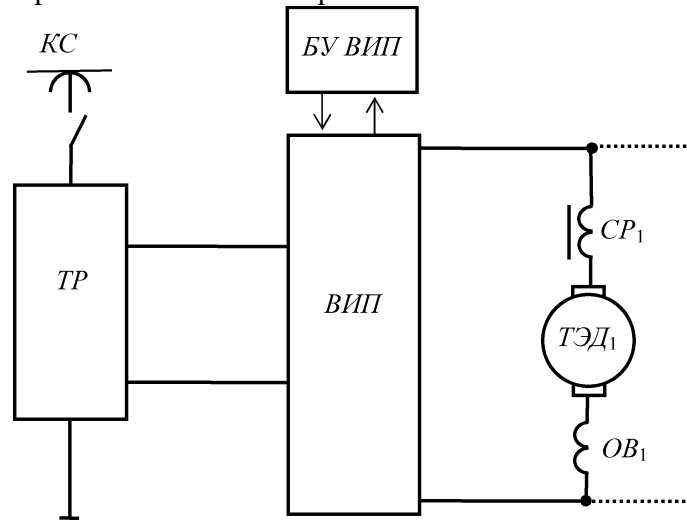


Рис. 16. Принципиальная блок-схема силовых цепей электровоза переменного тока с выпрямительно-инверторным преобразователем

ВИП подключается ко вторичной обмотке трансформатора, состоящей из трех секций (рис. 17). Каждый *ВИП* питает два тяговых электродвигателя, в цепи которых установлены сглаживающие реакторы. Для управления *ВИП* используется блок управления *БУ ВИП*. Система импульсно-фазового управления преобразует команды, поступающие с контроллера машиниста, в импульсы управления тиристорами согласно алгоритму работы.

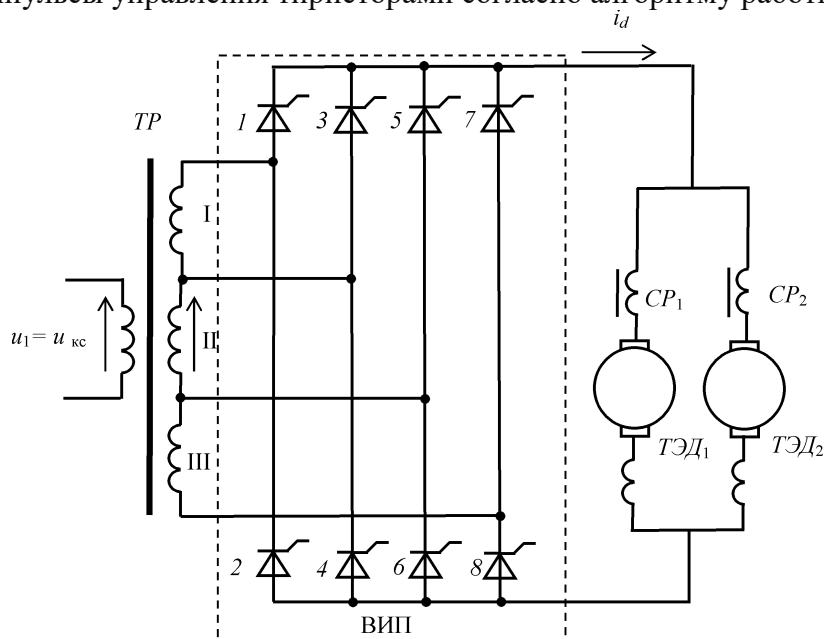


Рис. 17. Функциональная схема *ВИП*: I, II, III – секции вторичной обмотки трансформатора; 1, ..., 8 – плечи; CP_1 , CP_2 – сглаживающие реакторы; ТЭД₁, ТЭД₂ – тяговые двигатели

Силовая часть *ВИП* содержит восемь плеч. На электровозах семейства «Ермак» плечи укомплектованы тиристорами Т353-800. Первое, второе, седьмое и восьмое плечи укомплектованы тиристорами 28 класса с неповторяющимся импульсным напряжением в закрытом состоянии не менее 3600 В; третье, четвертое, пятое и шестое плечи – 28 класса с неповторяющимся импульсным напряжением в закрытом состоянии не менее 3100 В.

ВИП позволяет реализовать четыре зоны регулирования выпрямленного напряжения при трех секциях вторичной обмотки трансформатора (табл. 5, где обозначены режимы работы тиристорov: «р» – регулируемый, «о» – открытый, «з» – открытый с задержкой).

Таблица 5

Зоны регулирования напряжения ВИП

| Зоны регулирования | Номера секций трансформатора | Номера плеч |
|--------------------|------------------------------|------------------------------|
| 1: 0 ... 350 В | II | ↑(3о, 6р); ↓(5о, 4р) |
| 2: 350 ... 700 В | I + II | ↑(1р, 3з, 6о); ↓(5о, 2р, 4з) |
| 3: 700 ... 1050 В | II + III | ↑(3р, 5з, 8о); ↓(7о, 4р, 6з) |
| 4: 1050 ... 1400 В | I + II + III | ↑(1р, 3з, 8о); ↓(7о, 2р, 4з) |

Напряжение на секциях I и II составляет 350 В, на секции III – 700 В. Покажем, каким образом можно плавно увеличить напряжение на ТЭД в режиме тяги от 0 до 1400 В.

Регулирование начинается в 1-й зоне, питание осуществляется от секции II. При направлении ЭДС, показанном стрелкой на рис. 17, ток идет через плечо 3 (тиристоры которого полностью открыты), через нагрузку и затем через регулируемые тиристоры плеча 6 возвращается на секцию II. При противоположном направлении ЭДС ток проходит через открытое плечо 5, через нагрузку и затем возвращается через регулируемые тиристоры плеча 4. Угол отпирания регулируемых тиристорov плавно изменяется от $\alpha_{\text{pmax}} = 180^\circ - \alpha_0$ до $\alpha_{\text{pmin}} = \alpha_0$, при этом напряжение на нагрузке возрастает от 0 до 350 В.

Затем осуществляется переход на 2-ю зону, питание осуществляется от секций I и II. При направлении ЭДС, показанном стрелкой, ток идет на нагрузку через регулируемое плечо I и от вывода между I и II секциями через плечо 3 (открытое с задержкой по фазе $\alpha_{03} = \alpha_0 + \gamma_0'$), и возвращается через открытое плечо 6. При обратном направлении ЭДС ток проходит через открытое плечо 5, через нагрузку и затем возвращается через регулируемое плечо 2 и через плечо 4, имеющее задержку по фазе. Напряжение на нагрузке повышается от 350 до 700 В.

В 3-й зоне регулирования питание осуществляется от секций II и III. При направлении ЭДС, показанном стрелкой, ток идет на нагрузку через регулируемое плечо 3 и от вывода между II и III секциями через плечо 5 (открытое с задержкой по фазе α_{03}), и возвращается через открытое плечо 8. При обратном направлении ЭДС ток проходит через открытое плечо 7, через нагрузку и затем возвращается через регулируемое плечо 4 и через плечо 6, имеющее задержку по фазе. Напряжение на нагрузке повышается от 700 до 1050 В.

В 4-й зоне регулирования питание осуществляется от всех трех секций. При направлении ЭДС, показанном стрелкой, ток идет на нагрузку через регулируемое плечо I и от отпайки между I и II секциями через плечо 3 (открытое с задержкой по фазе α_{03}), и возвращается через открытое плечо 8. При обратном направлении ЭДС ток проходит через открытое плечо 7, через нагрузку и затем возвращается через регулируемое плечо 2 и через плечо 4, имеющее задержку по фазе. Напряжение на нагрузке повышается от 1050 до 1400 В.

На рис. 18 показано изменение напряжения на ТЭД в зависимости от угла отпирания тиристорov α_p по зонам регулирования.

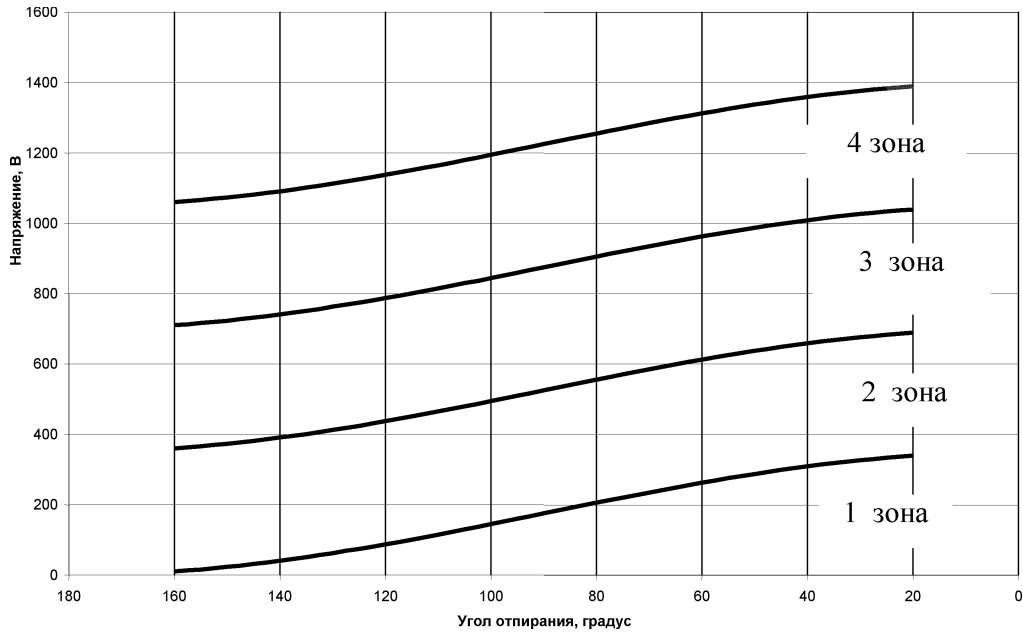


Рис. 18. Изменение напряжения на ТЭД в зависимости от угла отпирания тиристоров α_p по зонам

В режиме рекуперации *ВИП* работает как ведомый сетью инвертор, он преобразует постоянное напряжение на выводах ТЭД, работающих в генераторном режиме, в однофазное переменное напряжение частоты 50 Гц, которое затем повышается трансформатором *ТР* и отдается обратно в контактную сеть.

Выпускаемые в настоящее время электровозы переменного тока (семейство «Ермак», ЭП1) оснащены многоуровневыми микропроцессорными системами управления.

5 Тепловозы с электрической передачей переменного-постоянного тока

Выпуск тепловозов, оснащенных ЭПМ переменного-постоянного тока, был начат в конце 60-х годов XX века практически одновременно с электровозами переменного тока. ЭПМ переменного-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.

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.

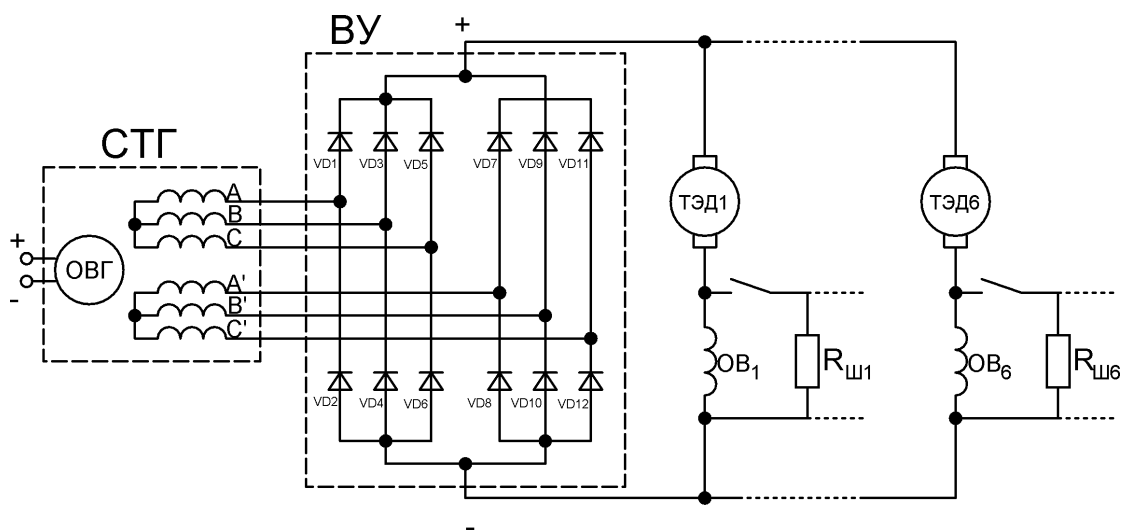


Рис. 19. Принципиальная схема ЭПМ переменного-постоянного тока: *СТГ* – синхронный тяговый генератор; *ОВГ* – обмотка возбуждения генератора; *ВУ* – выпрямительная установка; *ТЭД* – тяговый электродвигатель; *ОВ* – обмотка возбуждения; *R_ш* – резисторы

Необходимость применения выпрямительной установки несколько снижает преимущества синхронного генератора. Кроме того, в ЭПМ переменного-постоянного тока применяются коллекторные ТЭД постоянного тока, параметры которых, так же как и в ЭПМ постоянного тока, приближаются к предельным по использованию электромагнитных свойств материалов и коммутации.

Технические характеристики электрических машин и выпрямительной установки, применяемых в ЭПМ переменного-постоянного тока, приведены в табл. 6 – 8.

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».

Таблица 6

**Технические характеристики синхронных тяговых генераторов
тепловозов с ЭПМ переменного тока**

| Тип тягового генератора (агрегата) | Серия тепловоза | Мощность активная, кВт | Напряжение линейное, В (максимальное / номинальное) | Действующее значение линейного тока, А | Номинальная частота вращения, об/мин | Масса, кг | Удельная масса, кг/кВт |
|--|--------------------|------------------------|---|--|--------------------------------------|-----------|------------------------|
| Генератор ГС-501А У2 | ТЭП70 | 2750 | <u>580</u> 405 | <u>2×1500</u> 2×2150 | 1000 | 6000 | 2,14 |
| Генератор ГС-501А У2 | 2ТЭ116 | 2190 | <u>535</u> 290 | <u>2×1330</u> 2×2350 | 1000 | 6000 | 2,74 |
| Генератор ГС-501А Т2 | ТЭ114 (экспорт) | 1850 | <u>535</u> 345 | <u>2×1100</u> 2×1700 | 1000 | 6000 | 3,24 |
| Генераторы ГС-515 У2 (ГСТ 1400-1000 У2) | ТЭМ7(А) | 1400 | <u>280</u> 175 | <u>2×1540</u> 2×2500 | 1000 | 5200 | 3,71 |
| Агрегат АСТ 2800/400-1000 У2 | 2ТЭ25к | 2300 | <u>580</u> 330 | <u>2×1150</u> 2×2070 | 1000 | 7300* | 2,70* |

Примечания. 1. Возбуждение независимое для всех типов генераторов.

2. Линейное напряжение равно фазному, умноженному на $\sqrt{3}$.

3. Звездочкой (*) отмечены показатели тягового агрегата (общая масса и суммарная мощность тягового и вспомогательного генераторов)

Таблица 7

Технические характеристики тяговых двигателей тепловозов с ЭПМ переменного-постоянного тока

| Тип тягового двигателя | Серия тепловоза | Мощность, кВт | Ток длительного режима, А | Напряжение длительного режима, В | Частота вращения, об/мин | | Масса, кг | Удельная масса, кг/кВт |
|------------------------|-----------------|---------------|---------------------------|----------------------------------|--------------------------|--------------|-----------|------------------------|
| | | | | | Длительная | Максимальная | | |
| ЭД121А | ТЭП70 | 413 | 830 | 542 | 704 | 2320 | 2950 | 7,2 |
| ЭД118А(Б) | 2ТЭ116 | 305 | 750 | 449 | 585 | 2290 | 3100 | 10,2 |
| ЭДУ-133Ц | 2ТЭ25к | 340 | 890 | 415 | 493 | 2320 | 3100 | 9,1 |
| ЭД120А | ТЭМ7 | 135 | 800 | 205 | 245 | 1890 | 3000 | 22,2 |

Таблица 8

Техническая характеристика выпрямительной установки УВКТ-5

| | |
|---|--------------------------|
| Номинальная мощность, кВт | 4200 |
| Номинальный выпрямленный ток, А | 5700 |
| Номинальное выпрямленное напряжение не более, В | 750 |
| Частота питающей сети, Гц | 30...133 |
| Напряжение питающего генератора, В | 575/350 |
| Охлаждение | воздушное принудительное |
| Количество вентиляторов | 240 |
| Тип вентиляторов | ВЛ-200-8 |
| Масса, кг | 650 |

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;

$$C_e – \text{конструкционная постоянная, в данном случае } C_e = 4,44 w k_{об} k_c \frac{P}{60};$$

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:

$$P_T = 2 \cdot 3 \cdot U_\phi \cdot I_\phi \cdot \cos \varphi, \quad (13)$$

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:

$$M = 2 \cdot 3 \cdot \frac{U_\phi I_\phi}{\omega} \cos \varphi = 2 \cdot 3 \cdot C_M \Phi(i_e) I_\phi \cos \varphi, \quad (14)$$

$$\text{где } \omega = 2\pi n/60; \quad C_M = \frac{60}{2\pi} C_e = 4,44 w k_{об} k_c \frac{P}{2\pi}.$$

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).

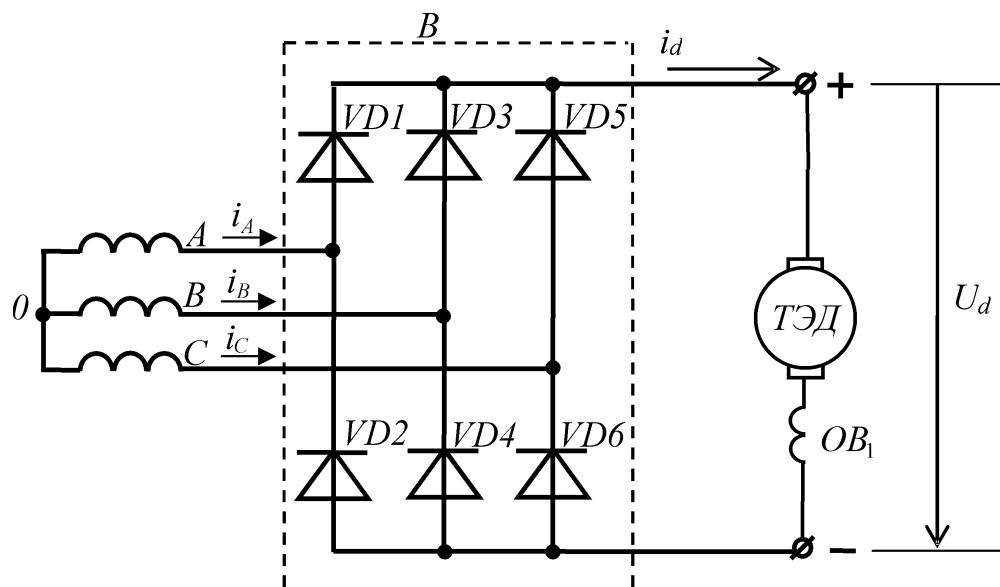


Рис. 20. Схема мостового выпрямителя трехфазного тока

Он питается от трехфазной обмотки, фазы A , B , C 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, a показаны напряжения фаз A , B , C , на рис. 21, b – кривая выпрямленного напряжения U_d , она имеет шесть пульсаций за один период питающего напряжения, откуда и происходит термин «шестипульсовая схема».

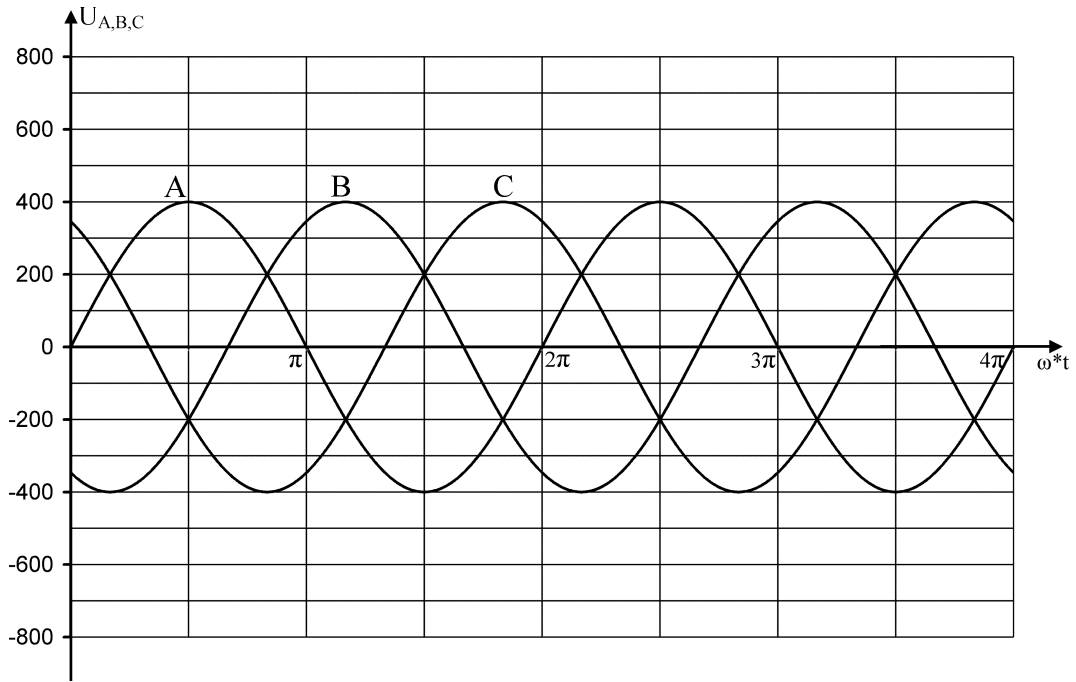
Среднее значение выпрямленного напряжения

$$U_{d\text{сред}} = \frac{1}{\pi/3} \int_{-\pi/6}^{\pi/6} U_{ML} \cos \varphi d\varphi = \frac{3}{\pi} U_{ML} = \frac{3}{\pi} \sqrt{2} U_L \approx 1,35 U_L, \quad (15)$$

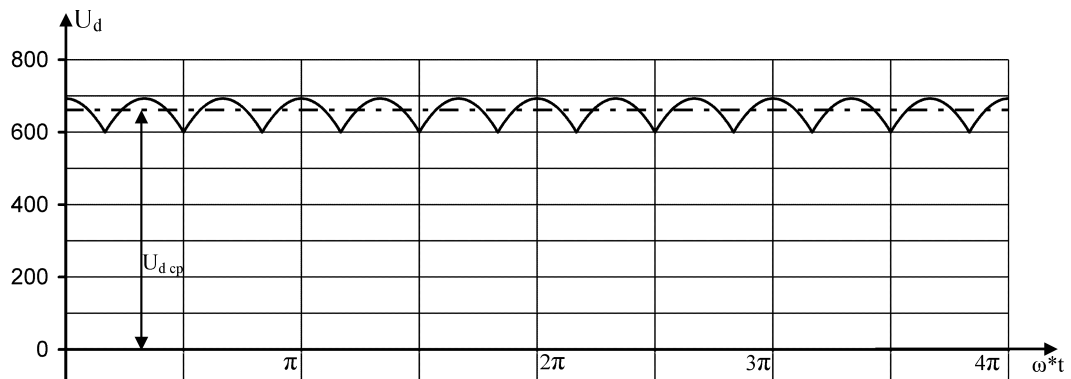
где U_{ML} , U_L – соответственно амплитудное и действующее значения линейного напряжения.

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 $U_{d\text{сред}} = 1,35 U_L = 661,4$ В.

Качество выпрямленного напряжения в такой схеме высокое. Коэффициент пульсаций $k_q = 0,057$ (напомним, что для выпрямителя однофазного тока, установленного на электровозах, $k_q = 0,66$).



a)



б)

Рис. 21. Диаграммы работы трехфазного мостового выпрямителя: напряжения фаз (а) и выпрямленное напряжение (б)

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.

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.

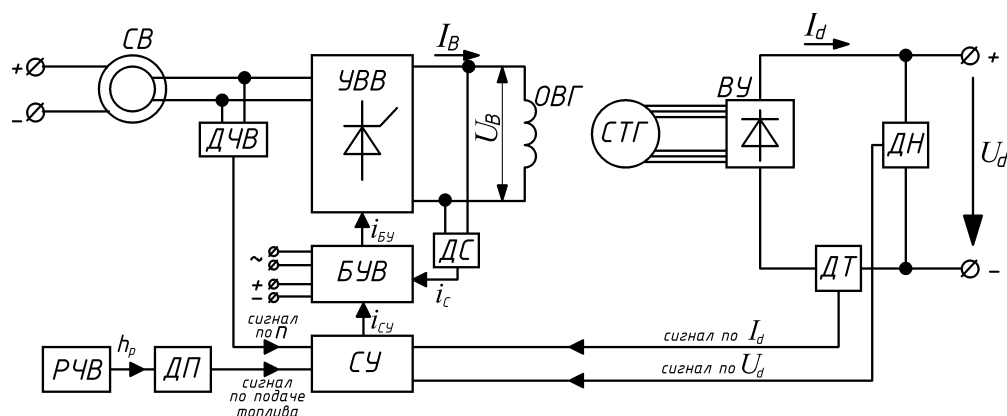


Рис. 22. Структурная схема комбинированной автоматической системы регулирования напряжения: СТГ – синхронный тяговый генератор; ВУ – выпрямительная установка; ДТ – датчик тока; ДН – датчик напряжения; СУ – селективный узел; БУВ – блок управления возбуждением; УВВ – управляемый выпрямитель возбуждения; 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.

6 Регулирование электрической передачи и согласование с работой дизеля

6.1. 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 ЧМЭ3 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 управления 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 соответствующей рабочей зоне I или, что то же самое, выдерживать заданное положение реек топливного насоса высокого давления в зависимости от частоты вращения коленвала дизеля.

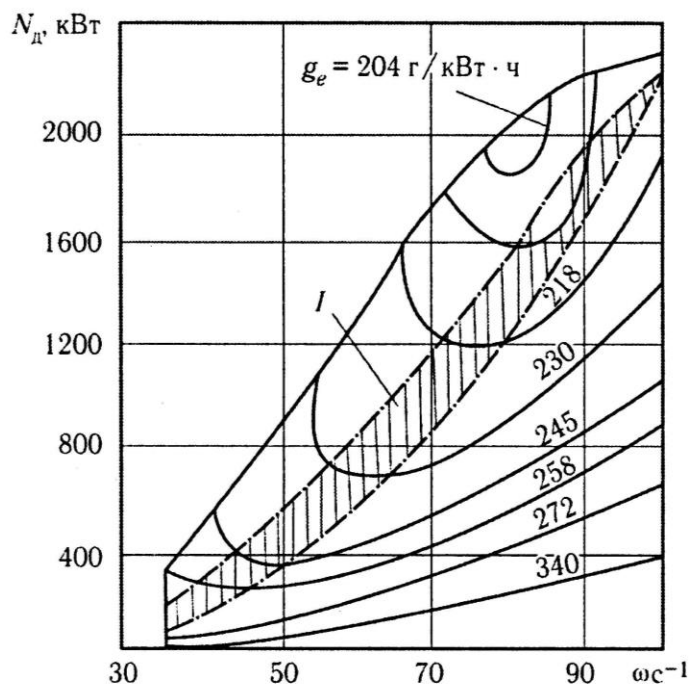


Рис. 23. Универсальная характеристика дизеля 16ЧН 26/26;
 I – рабочая зона; N_d – мощность дизеля; ω – угловая скорость вращения коленчатого вала дизеля ($\omega = 2\pi n/60$)

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.

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. $\omega_{\text{диз}} = \omega_{\text{ос}}$ 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.

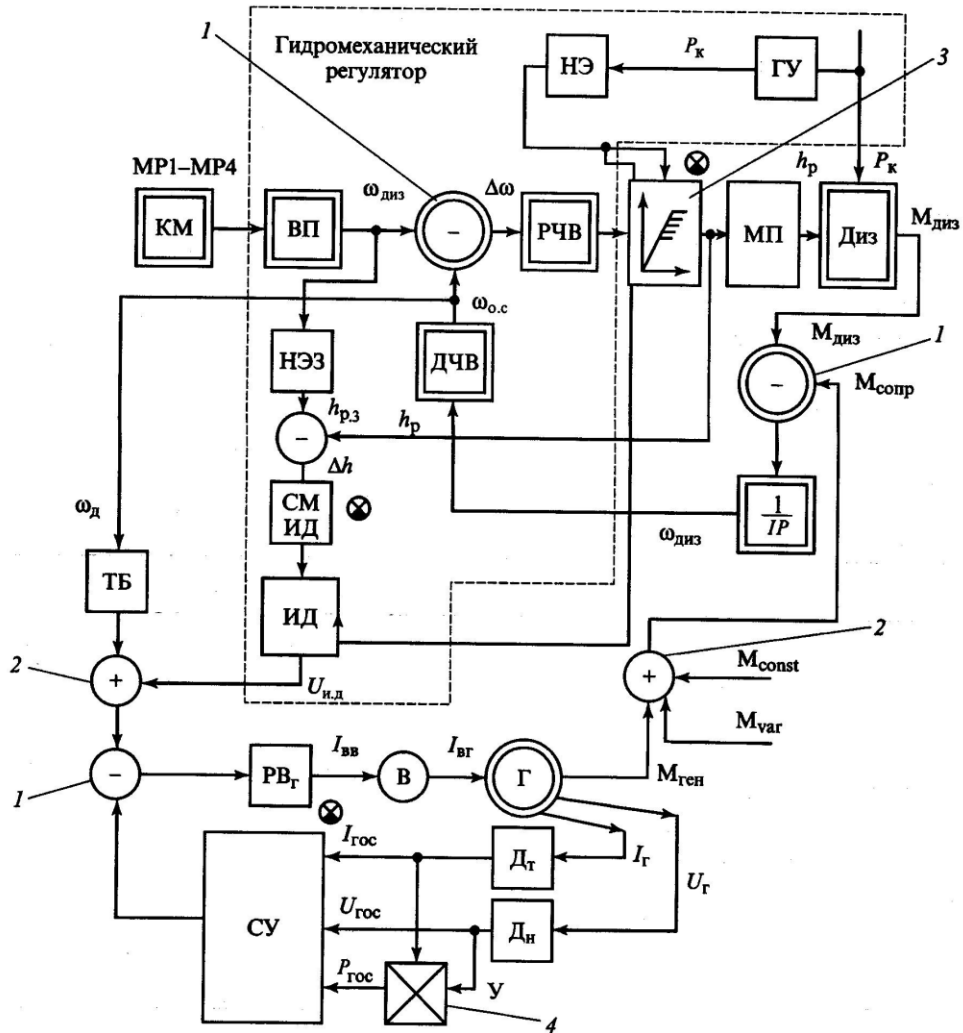


Рис. 24. Упрощённая структурная схема системы объединённого регулирования дизель-генератора:

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; Мдиз – момент дизеля; Мсопр – момент сопротивления; Мconst – постоянные нагрузки; Мvar – переменные нагрузки; Мген – момент генератора; Iгос, Uгос, Pгос – сигналы обратной связи по току, напряжению и мощности генератора; У – множительное устройство; ⊗ – регулировочный параметр; ТБ – тахометрический блок; Pк – давление воздуха; ДЧВ – датчик частоты вращения коленвала; Iг – ток генератора; Uг – напряжение генератора; hрз – заданные положения реек; hр – фактическое положение реек; Δh – отклонение от заданного положения реек; Uид – сигнал индуктивного датчика; ωд – заданная частота вращения коленвала; ωдиз – частота вращения коленвала; Δωос – обратная связь по частоте вращения коленвала; 1 – узел сравнения; 2 – сумматор; 1/IP – коэффициент учета инерционности вращающихся масс дизеля; 3 – корректор подачи топлива по наддуву; 4 – множитель

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.).

6.2 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 оборудования. 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, полиспада 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, жидкостные 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} , $E_{C2} = 410$ В; $L_f = 40$ мкГн; $R_f = 0,00115$ Ом; $L_{dc} = 1$ мГн.

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.

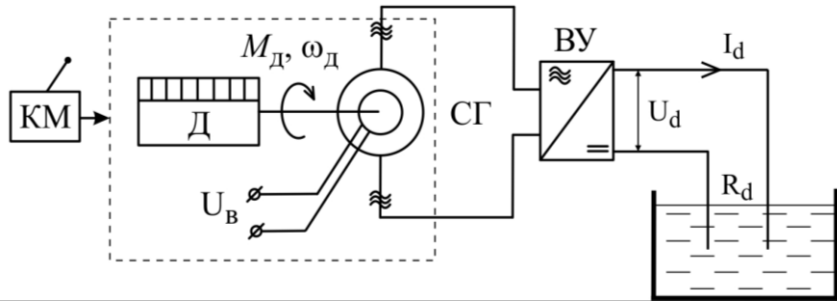


Рис. 25. Расчетная схема модели «дизель – синхронный генератор – выпрямительная установка» применительно к реостатным испытаниям:

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.

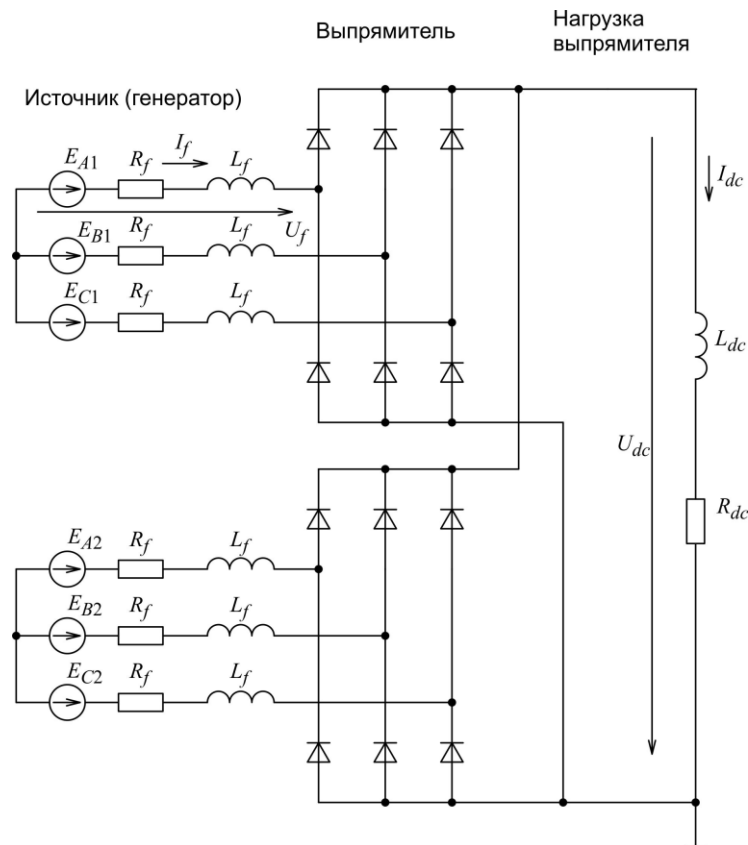


Рис. 26. Схема замещения модели:

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.

Результаты реостатных испытаний

| Номер позиции КМ | Число оборотов $n_{диз}$, об/мин (ω , рад/с) | Тяговый генератор | | | |
|------------------|---|---------------------------------|---------------------------|----------------------------------|-----------------------|
| | | Момент нагрузки M_n , кН*м | Ток после НВ I_d , А | Напряжение после НВ U_d , В | Мощность P , кВт |
| 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 (□) – 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.

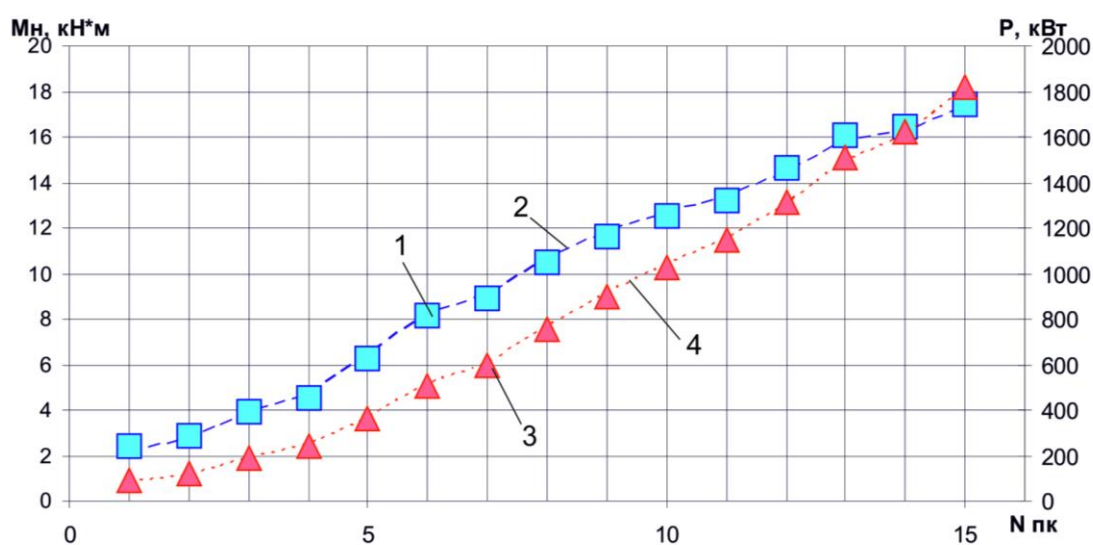


Рис. 27. Сравнение результатов испытаний и расчетов по компьютерной модели: 1, 2 – момент; 3, 4 – мощность

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.

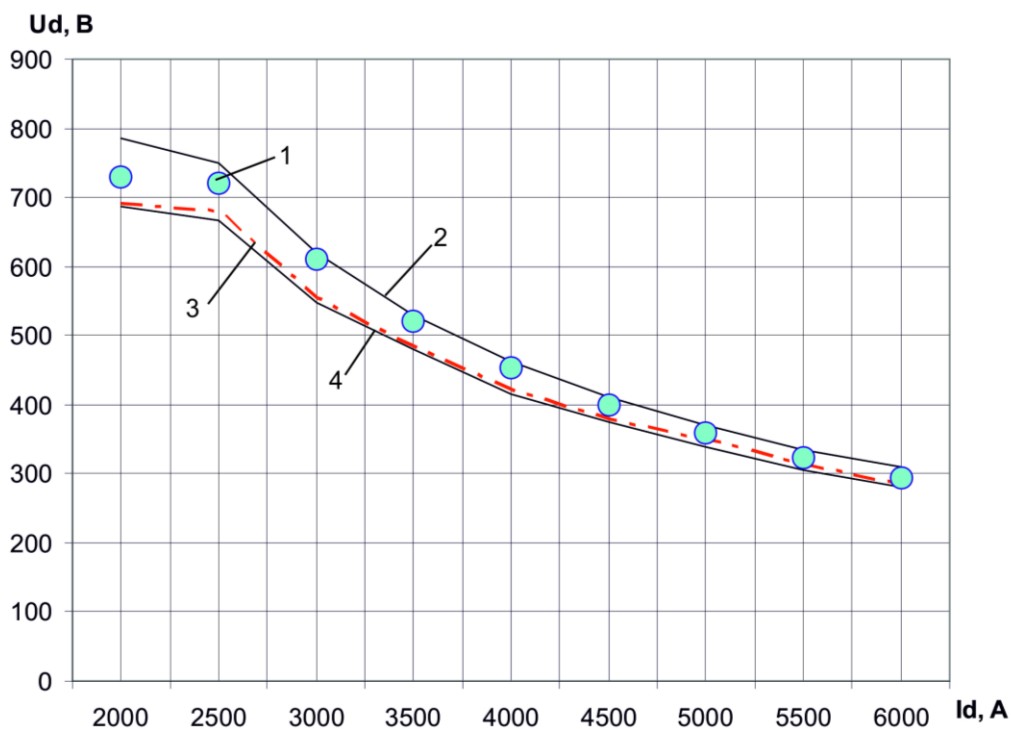


Рис. 28. Внешняя характеристика тягового генератора на 15-й позиции

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».

7 Локомотивные микропроцессорные системы управления и диагностики

В аппаратных системах автоматического регулирования применяется так называемый аналоговый метод обработки информации. При этом между переменными значениями величин, участвующими в обработке, осуществляется связь в виде линейных и нелинейных зависимостей, причём эти операции проводятся всеми элементами системы непрерывно и параллельно.

Применение микропроцессорной техники при построении систем регулирования подразумевает использование цифрового метода обработки информации, в котором все физические величины, участвующие в процессе регулирования, преобразуются в цифровой формат, а непрерывный и параллельный процесс вычисления той или иной величины заменяется совокупностью последовательных операций, осуществляемых прерывисто во времени.

Микропроцессорная система автоматического регулирования (МП САР) включает в себя три основные составные части (подсистемы): вычислительную часть, интерфейсную часть и подсистему электропитания.

Аппаратура микропроцессорных систем автоматического регулирования осуществляет ввод информации от датчиков или командных устройств, логическую обработку этой информации в заданной последовательности и вывод полученных результатов в исполнительные устройства. Задачи, решаемые каждым конкретным устройством, определяются алгоритмом его работы, т.е. упорядоченной последовательностью действий с конечным числом операций, что приводит к получению определённого результата. Последовательность выполнения операций (программа работы) закладывается в структуру электрической схемы и в связи между программными и аппаратными средствами: электронными и электромеханическими элементами, входящими в состав системы.

Практика создания микропроцессорных автоматических систем подтвердила целесообразность их изготовления в виде специализированных модулей, проблемно и функционально ориентированных в рамках определённых задач, алгоритмов и функций. Под модулем в данном случае понимается конструктивно законченное устройство, решающее вычислительные или управляющие задачи заданного класса самостоятельно или в совокупности с другими модулями. Характерной особенностью такого построения систем является то, что независимо от решаемых задач электрическая схема и набор функциональных модулей могут оставаться постоянными. Различие сводится к осуществлению заданных алгоритмов управления.

Рассмотрим внедряемую на всех тепловозах унифицированную систему тепловозной автоматики (УСТА), которая выполняет автоматическое регулирование напряжения тягового генератора тепловоза (рис. 29). В данной системе нашли воплощение все передовые отечественные разработки в области электронной техники, исследования динамики работы отдельных узлов и агрегатов тепловозов и учтен весь предыдущий положительный опыт создания подобных систем.

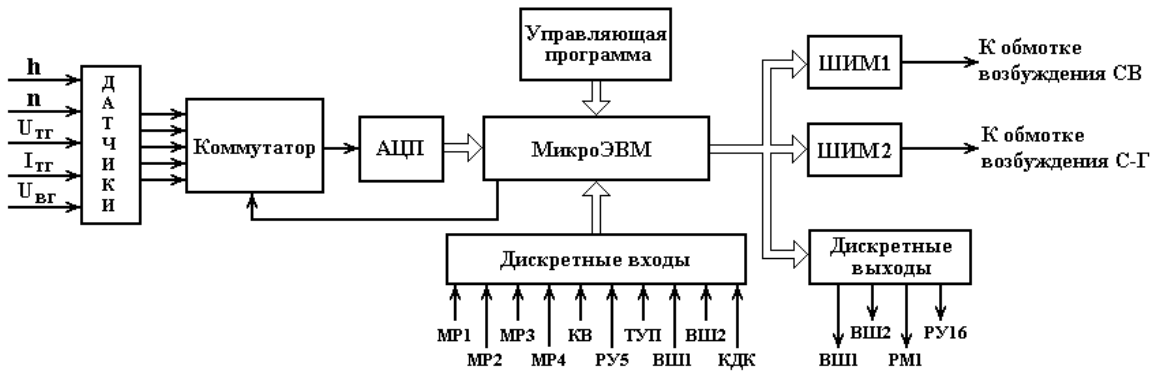


Рис. 29. Функциональная схема системы УСТА.

Управляющая программа, которая хранится на специальной энергонезависимой интегральной микросхеме, производит анализ сигналов датчиков: напряжения тягового генератора ($U_{тг}$), тока тягового генератора ($I_{тг}$), напряжения цепей управления ($U_{вг}$), частоты вращения коленчатого вала дизеля (n) и положения рейки топливных насосов высокого давления (h), а также дискретных сигналов: положения рукоятки контроллера (MP1 – MP4), состояния реле РУ5, контактора KB, КДК, ВШ1 и ВШ2 и тумблера управления переходами ТУП. В результате этого анализа вырабатывается управляющее воздействие на изменение тока обмотки возбуждения синхронного возбудителя (тепловоз 2ТЭ116, ТЭП70) или возбудителя (тепловозы 2ТЭ10, 2М62, ТЭМ2 и ЧМЭ3), а также стартер-генератора (тепловоз 2ТЭ116, ТЭП70) или вспомогательного генератора (тепловозы 2ТЭ10, 2М62, ТЭМ2 и ЧМЭ3). Ток обмоток возбуждения изменяется с помощью двух широтно-импульсных модуляторов (ШИМ1 и ШИМ2).

Система УСТА осуществляет включение нескольких электрических аппаратов в схеме тепловоза. Это контакторы ослабления возбуждения ВШ1 и ВШ2, реле РУ16 – переход на электронную или штатную систему регулирования напряжения цепей управления и защитного реле РМ1.

При проектировании системы УСТА отказались от применения многофункциональных блоков и модулей промышленной автоматики, создав специализированное микропроцессорное устройство, предназначенное для эксплуатации на всех сериях тепловозов железных дорог страны. Так был решен вопрос полной унификации аппаратной части системы автоматического регулирования напряжения тягового генератора. Различие между управляющими устройствами всех серий тепловозов сводится к особенностям работы управляющей программы.

В микропроцессорной автоматической системе необходимы средства обмена данными с разнообразными внешними устройствами. В зависимости от условий конкретного применения и характеристик периферийного оборудования данные передаются в параллельном или последовательном виде. Общность функций ввода-вывода стимулировала разработку интегральных микросхем периферийных адаптеров, представляющих собой гибкие программируемые приборы, предназначенные только на ввод-вывод информации. Это вызвано тем, что в большинстве случаев к микропроцессорной системе требуется подключить немало количество внешних устройств (работающих по очереди или одновременно), особенно нестандартных. Многоуровневый контроллер параллельного обмена с двунаправленными линиями изменением управляющего слова можно приспособить для одновременного сопряжения разнообразными внешними устройствами.

В рассматриваемой автоматической системе функции ввода-вывода выполняют программируемые контроллеры параллельного обмена типа КМ 1821РУ55. Каждый из

них образует по три восьмиразрядных порта обмена данными, которые могут работать вместе, отдельно или побитно.

Передача информации от блока регулирования к удалённым объектам (до 15 м без специальной обработки) и обратно осуществляется последовательным кодом, получаемым преобразованием параллельных кодовых комбинаций в последовательные специальными буферными схемами или внутри микроЭВМ (например, последовательный порт RS-232). Для применения интерфейса RS-232 необходимы условия: относительная удалённость объекта обмена информацией от компьютера при наличии общего контура заземления, сравнительно невысокая скорость обмена данными (максимально возможная скорость передачи данных стандартного последовательного порта равна 115200 бит/с), а применение стандартного интерфейса для подключения к управляющему устройству упрощает процесс выбора внешних соединений и повышает оперативность в работе. Далее преобразованные серии импульсов поступают в двухпроводные линии связи. В микроЭВМ осуществляется распознавание начала и конца посылки кода, синхронизация приёма-передачи битов, преобразование последовательных кодовых комбинаций в параллельные, слежение за наличием ошибок и сообщение о готовности к выполнению операций.

В простейшем случае для приёма-передачи данных последовательного порта не требуется никаких дополнительных устройств, кроме входных ограничителей уровня сигналов. Такая схема может оказаться неработоспособной из-за потерь и затухания сигналов по длине магистрали. Наиболее рациональным решением оказывается использование специализированных микросхем преобразователей уровня. Каждое периферийное устройство может посылать в процессор сигнал о том, что оно готово к передаче или приёму информации в случае, когда нежелательно организовывать программный опрос его готовности.

Такой сигнал называется прерыванием INT. Получив этот сигнал, процессор приостанавливает выполнение основной программы и переходит к выполнению подпрограммы обработки прерывания.

Прерывание следует рассматривать как некоторый сигнал, заставляющий вычислительное устройство остановить выполнение текущей программы и переключиться на другую, более важную или срочную программу, называемую подпрограммой обслуживания прерывания. Главным условием правильной реакции вычислительного устройства на прерывание является возобновление прежней программы так, как будто прерывания не было вообще. Прерывание может появиться в произвольный момент времени. Следовательно, реагируя на него, вычислительное устройство должно временно запомнить место в программе. Когда обслуживание прерывания завершается, запомненные значения возвращаются и программа выполняется из того состояния, в котором она была прервана.

Основным требованием к любой автоматической системе является непрерывность управления, т.е. исключение режимов, когда управляющее устройство не в состоянии контролировать режимы работы объекта управления. Такое может произойти при остановке выполнения программы или сбое её выполнения из-за внешних воздействий или помех.

Исходная информация, поступающая из внешних устройств, может поступать не только в дискретном, но и в аналоговом виде в некотором диапазоне напряжений постоянного тока.

Процесс сбора и обработки сигналов постоянного тока включает в себя несколько этапов, начиная с процедуры согласования сигналов и заканчивая преобразованием их в цифровой код. Операции обработки сигналов постоянного напряжения определяются требованием обеспечения заданного качества регулирования.

Входные сигналы в виде напряжения постоянного тока поступают на входы модуля. Обеспечение требуемого качества регулирования тесно связано с качеством

входных сигналов, которые в условиях действия помех проходят предварительную фильтрацию посредством RC-фильтров, назначение которых – подавление помех на входе. При этом предполагается, что у полезного сигнала датчика и сигнала помехи разные диапазоны частот.

Диапазон частот, в котором полезный сигнал проходит через фильтр, называют полосой пропускания, а в котором подавляется сигнал помехи, – полосой подавления. Отфильтрованные входные сигналы подключаются к соответствующим входам интегральных коммутаторов и далее на микросхему десятиразрядного аналого-цифрового преобразователя АЦП. Выходная кодовая десятиразрядная комбинация подключается к шине данных процессора.

Для формирования временных сигналов управления работой широтно-импульсного модулятора служат два программируемых таймера.

Модуль ввода дискретных сигналов включает 16 одинаковых каналов ввода дискретных сигналов и предназначен для обеспечения передачи сигналов из электрической схемы локомотива с относительно высоким напряжением питания и вычислительной части микропроцессорной системы с напряжением 5 В. Для согласования сигналов необходимо предусмотреть устройства гальванической развязки (разделения цепей), т.е. исключения непосредственного контакта между высоковольтными и низковольтными цепями.

Задачу, обратную модулю ввода дискретных сигналов, выполняет десятиканальный модуль выходных ключей: выдачу управляющих сигналов на включение электрических аппаратов в электрической схеме локомотива.

Кроме унификации и сокращения номенклатуры электрического оборудования тепловозов система УСТА дает возможность существенно повысить эффективность тепловозной тяги.

8 Электродинамическое торможение

С увеличением скорости движения поезда эффективность колодочных тормозов снижается в силу ряда причин, известных из курса автотормозов. Отсюда и постоянный интерес к применению электродинамического торможения, суть которого – перевод тяговых электродвигателей из моторного режима в генераторный, что не вызывает технических трудностей в связи с обратимостью электрических машин. Работая в генераторном режиме, ТЭД превращают кинетическую энергию поезда в электрическую, которая в зависимости от ее дальнейшего использования определяет вид торможения – реостатное или рекуперативное.

Независимо от вида электрического торможения, его применение дает экономический эффект за счет экономии тормозных колодок, сокращения износа тормозных приборов, рычажных передач, уменьшения расхода песка. Все в сумме дает около 12% экономии эксплуатационных расходов. При рекуперативном торможении ЭПС сюда добавляется экономия за счет возвращенной в сеть электроэнергии.

Применение электродинамического торможения на некоторых видах электроподвижного состава, например, метрополитена, просто необходимо, так как применение колодочных тормозов в тоннелях метро недопустимо из-за возникающих пылевых загрязнений.

Области применения электродинамического торможения условно можно подразделить следующим образом: реостатное торможение – для низких скоростей движения ЭПС, так как им можно тормозить до полной остановки, и для тепловозов, не использующих на сегодняшний день полученную электрическую энергию. Рекуперативное торможение – торможение высоких скоростей в основном для электроподвижного состава. Для пассажирского транспорта, с целью повышения безопасности движения, применяют комбинированное рекуперативно-реостатное

торможение, дающее возможность применить электрический тормоз от начала торможения при высокой скорости до полной остановки поезда.

К системе электрического торможения предъявляется ряд требований: эффективное действие тормоза в заданном диапазоне скоростей, гибкость управления и автоматическое регулирование по заданным характеристикам, минимальное время подготовки к торможению, устойчивость режимов торможения, минимальное усложнение электрической передачи и высокая надежность.

Все эти требования довольно полно выполняются на отечественных машинах, таких как тепловозы 2ТЭ116 и ТЭП70, оборудованных автоматизированными системами реостатного тормоза, а так же практически на всех сериях электроподвижного состава, где применяются как реостатный, так и рекуперативный тормоз.

Наряду с несомненными достоинствами электродинамических тормозов, они имеют и существенные недостатки, сдерживающие их применение и в ряде случаев снижающих к ним доверие. Основная принципиальная особенность электродинамического тормоза – торможение одним локомотивом. Учитывая, что тормозная сила при таком же токе машин больше, чем сила тяги (к тормозной силе нужно отнести и механические потери, которые при тяговом режиме вычитались), продольная динамика поезда резко ухудшается и требует от машиниста локомотива большей осторожности при управлении тормозом.

Рекуперативное торможение для успешного эффективного применения требует выполнения ряда условий:

- применяться в качестве экстренного оно не может, так как требует довольно длительного времени на подготовку и начало торможения, поэтому применяется как служебное и дает результаты только на длительных уклонах;

- рекуперированная электроэнергия должна быть использована в контактной сети без возвращения на тяговую подстанцию, поэтому на данном участке энергоснабжения должен находиться поезд, локомотив которого работает в моторном режиме. Это возможно, но вызывает осложнения в организации движения;

- превышение напряжения рекуперированного локомотива не должно вредно сказываться на работе электрооборудования локомотива, эту энергию потребляющего.

При переводе тяговых электродвигателей тепловоза в тормозной режим необходимо отключить их от тягового генератора и замкнуть на тормозное сопротивление. Независимое возбуждение ТЭД производится от тягового генератора с подключением к каждой машине своего тормозного сопротивления (принципиальные схемы электрической передачи в режимах тяги и электрического торможения показаны на рис. 30 и 31).

В тяговом режиме (рис. 30) переменное шестифазное напряжение тягового генератора СГ выпрямляется установкой ВУ и подается на шесть параллельно включенных тяговых электродвигателей 1 – 6 последовательного возбуждения, приводящих тепловоз в движение. К тяговому генератору электродвигатели подключаются с помощью шести электропневматических поездных контакторов П1 – П6. Контакт П7 разомкнут. Скорость тепловоза и тяговое усилие регулируются изменением возбуждения тягового генератора и частоты вращения вала дизеля, задаваемой контроллером машиниста.

В режиме электродинамического торможения (рис. 31) тяговые двигатели работают как генераторы, якоря приводятся во вращение от колесных пар, а возбуждение осуществляется от СГ-ВУ.

Якорь каждого тягового электродвигателя подключается к отдельной группе резисторов тормозного блока $R_{T1} - R_{T6}$ через один из поездных контакторов П1 – П6. При этом кинетическая энергия поезда преобразуется в электрическую, рассеиваемую в тормозных резисторах. Обмотки возбуждения 1' – 6' тяговых электродвигателей со-

Использование на тепловозах тягового генератора в качестве возбудителя дает возможность осуществить независимое возбуждение двигателей при электрическом торможении. Это обеспечивает непрерывность регулирования скорости движения при плавном изменении тормозной силы во всем диапазоне. Такой способ регулирования нашел применение в современных системах электрического торможения тепловозов.

Тормозная сила регулируется изменением магнитного потока ТЭД, которое может быть осуществлено за счет:

- 1) изменения тока возбуждения тягового генератора при постоянной частоте вращения вала дизель-генератора;
- 2) изменения частоты вращения вала дизель-генератора при постоянном токе возбуждения тягового генератора.

Изменение тормозной силы при $n_{ДГ} = \text{const}$ обеспечивает плавное изменение тормозной силы, работу дизеля при электрическом торможении на экономичной по расходу топлива позиции контроллера машиниста и нормальное охлаждение тяговых электродвигателей. Для осуществления управления устанавливается тормозной контроллер.

Второй способ управления проще, но имеет недостатки: дизель работает на неопределенной позиции контроллера машиниста. На низших позициях ухудшается вентиляция электродвигателей, работающих в режиме торможения.

Построим тормозные характеристики тяговых двигателей.

Электромагнитный момент, развиваемый на валу двигателя в тормозном режиме

$$M_T = c_M I_T \Phi,$$

где I_T – тормозной ток.

Для цепи тормозного тока можно написать уравнение равновесия э.д.с.

$$c_e \Phi n = I_T R_T',$$

где n – частота вращения вала тягового электродвигателя;

R_T' – сопротивление цепи тормозного тока.

Отсюда для тормозного тока I_T и магнитного потока Φ имеем:

$$I_T = \frac{c_e \Phi n}{R_T} \quad \text{и} \quad \Phi = \frac{I_T \sum R_T}{c_e n}.$$

Подставим последовательно полученные выражения в исходное выражение для M_T , получим

$$M_T = \frac{c_e c_M \Phi^2}{R_T} \cdot n = K \cdot n, \quad \text{при } \Phi = \text{const},$$

$$M_T = \frac{c_M R_T I_T^2}{c_e n} = K' \frac{1}{n}, \quad \text{при } I_T = \text{const}.$$

Имеем при $\Phi = \text{const}$ линейную зависимость тормозного момента M_T от частоты вращения n (рис. 32), и при $I_T = \text{const}$ – гиперболическую зависимость M_T от частоты вращения тяговых двигателей в тормозном режиме.

Нанесем на график тормозных характеристик ограничения, называемые предельными характеристиками.

Максимальный ток возбуждения тягового двигателя $I_{B\text{max}}$, который определяется условиями нагревания катушек главных полюсов, при продолжительном или кратковременном режимах устанавливает предельную тормозную характеристику OA (см. рис. 32). Максимальный ток возбуждения может приниматься меньшим продолжительного тока возбуждения в тяговом режиме с целью обеспечения минимальной скорости, при которой используется номинальная мощность тормозной

системы. Обычно минимальная скорость принимается в пределах 35...55% максимальной скорости тепловоза.

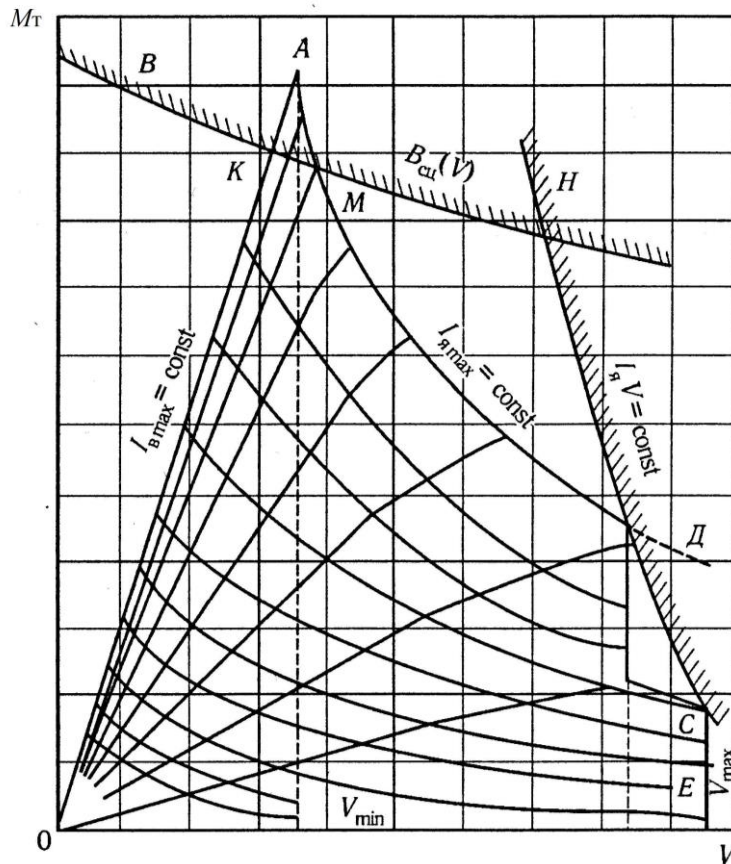


Рис. 32. Тормозные характеристики тягового двигателя

Максимальный тормозной ток $I_{я\max}$ (продолжительный или кратковременный), определяет предельную тормозную характеристику AD по условиям нагревания обмотки якоря и тормозных резисторов. Этот ток рекомендуется принимать меньше продолжительного тока электродвигателя в тяговом режиме с тем, чтобы использовать промежуточную ступень частоты вращения вала дизель-генератора для обеспечения требуемого охлаждения тяговых двигателей.

При высоких скоростях движения в момент начала торможения тормозная сила ограничивается коммутационными и потенциальными условиями на коллекторе (линия CE).

Максимальное значение реактивной э.д.с. в секции обмотки якоря. Критерием удовлетворительной коммутации является допустимая реактивная э.д.с. $e_{\text{доп}}$ в секции обмотки якоря, которая не должна превышать 8 В. Этот параметр может быть выражен как произведение тока якоря тягового двигателя на его частоту вращения (кривая HC). Наряду с ограничением по коммутации имеется ограничение по потенциальным условиям на коллекторе, которое проверяется по значению максимального напряжения между соседними коллекторными пластинами:

$$u_{K\max} \leq 35 \div 40 \text{ В.}$$

Для тепловозных тяговых двигателей, лимитирующим ограничением является реактивная э.д.с.

Предельная зависимость тормозного момента по условиям сцепления повторяет зависимость коэффициента сцепления ψ_K от скорости (кривая BH).

Тормозные характеристики тепловоза (рис. 33) получаем переходом от тормозного момента M_T на валу ТЭД к тормозной силе B :

$$B = \frac{2M_T \cdot \mu \cdot m}{D_K \cdot \eta}; \quad V_T = 0.188 \frac{D_K \cdot n}{\mu},$$

где μ – передаточное число тягового редуктора;
 m – число тяговых двигателей локомотива.

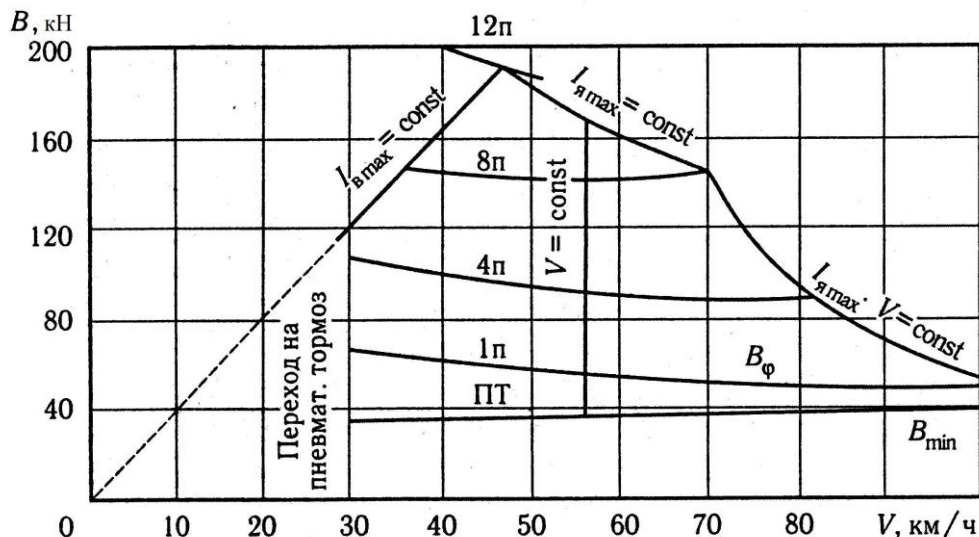


Рис. 33. Тормозные характеристики тепловоза:
 ПТ – предварительное торможение; 1п – 12п – позиции тормозного контроллера

9 Тяговые электрические машины

9.1 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 вла-

ги, 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 сердечниках, 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 термостойкой 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 «распухания» 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 углового 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 серебродержащие 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 дизе-

ля, 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 ролик подшипник определяется 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.

Конструкция. Устройство тяговых генераторов различных типов имеет свои особенности, хотя здесь можно выделить и общие технические решения. Наиболее типичным по конструкции является тяговый генератор ГПЗ11Б (рис. 34).

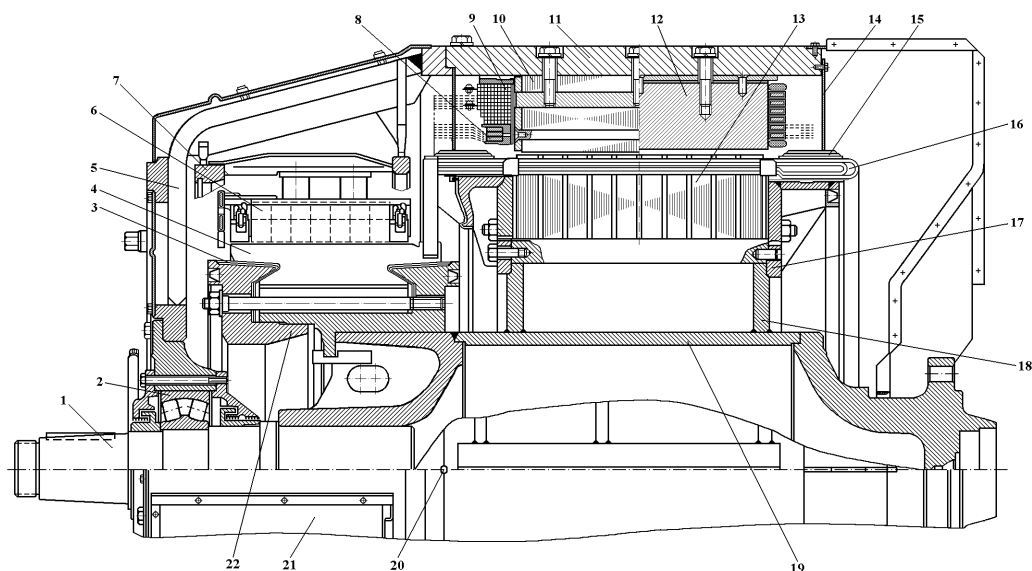


Рис. 34. Тяговый генератор ГПЗ11Б

Якорь тягового генератора состоит из вала 1, корпуса 19, сердечника 13, обмотки 16, коллектора 4 и деталей крепления. Якоря тепловозных тяговых генераторов изготавливают с укороченным валом, т. е. применяют так называемую “безвальную конструкцию”, что позволяет снизить температуру нагревания обмотки, трудоемкость изготовления и ремонта, а также массу тягового генератора. Так как у генератора ГПЗ11Б применена радиально-осевая система охлаждения якоря, при которой необходим свободный подвод воздуха в центральную его часть (для входа в радиальные каналы), корпус имеет ребристую конструкцию и состоит из сварно-литого барабана, к которому приварены литые фланцы: задний используется для соединения с валом дизеля, передний – для напрессовки коллектора.

К барабану корпуса 19 приварены диски 18 продольных ребер. Сердечник якоря 13 состоит из пяти штампованных сегментов, которые собирают на продольные шпильки, проходящие через отверстия в сегментах.

Мощные тяговые генераторы ГПЗ11, МПТ 120/49, МПТ120/55А имеют диаметр якоря 1200 мм. Их сердечники собраны из сегментов, так как наибольший размер листа электротехнической стали 1000 х 2000 мм. Собранный и спрессованный сердечник

удерживается на корпусе двумя стальными обмоткодержателями 17, стянутыми шпильками и прикрепленными к корпусу болтами и призонными штифтами, которые предотвращают обмоткодержатели от смещения под действием угловых ускорений при пуске и работе дизеля.

Для крепления сердечника применены встречные клиновые шпонки, закладываемые в пазы сегментов и ребер. Радиальный натяг между сердечником и корпусом создается расклиниванием шпонок при нагревом сердечнике. Каждый лист сердечника якоря имеет 155 пазов. Для создания радиальных каналов сердечник разделяют на пакеты и между ними прокладывают листы с распорками (вентиляционные).

Коллекторы являются одним из наиболее сложных узлов по количеству деталей, технологии изготовления и ремонта. В тяговых машинах применяют коллекторы арочного типа.

Материал коллекторных пластин должен обладать высокой электропроводностью, механической прочностью, сопротивлением ползучести, достаточной способностью к механической обработке и др. Коллектор генератора ГПЗ11Б собран из 465 пластин твердотянутой коллекторной меди с присадкой серебра от 0,07 до 0,14% или кадмия. Легирующие присадки примерно вдвое увеличивают износостойчивость коллектора. Коллекторные пластины имеют повышенную твердость (до 100 НВ) и трапециевидную форму.

В тяговых генераторах мощностью 2000 кВт с диаметром якоря 1200 мм применяют коллекторные пластины с ленточными (гибкими) петушками, изготовленными из медной ленты сечением 2×20 мм. Ленточный петушок нижней частью припаян твердым припоем к коллекторной пластине, а к верхней его части приклепана и припаяна полоска, в которую впаивают припоем ПОС-61 концы катушек обмотки якоря и уравнивательные соединения.

В тяговых генераторах меньшей мощности МПТ84/39, ГПЗ00Б, МПТ99/47А петушки выполнены из коллекторной меди и припаяны к пластинам твердым медно-фосфористым припоем. Для облегчения коллектора и уменьшения боковой площади пластин в них сделаны отверстия.

Пластины изолированы друг от друга коллекторным миканитом толщиной 1 мм. Коллекторный миканит – это материал, состоящий из листочков щипаной слюды, склеенных связующим веществом – естественной смолой (шеллак), искусственной глифталевой и кремнийорганической смолами.

Для изоляции коллекторных пластин друг от друга используют коллекторный миканит марок КФГ и КФШ толщиной (0,8 – 1,2±0,04) мм, здесь К означает коллекторный, Ф – флогопит, Г или Ш – тип связующего (глифталевая смола или шеллак).

Флогопит – это калиево-магнезиево-алюминиевая слюда, не содержащая железа. Коллекторный миканит является более твердым материалом, чем медь, и изнашивается медленнее. В связи с этим в эксплуатации изоляцию между пластинами периодически углубляют до 0,7 – 1 мм путем фрезерования (продороживания), наименьшая глубина в эксплуатации 0,5 мм.

В коллекторе арочного типа пластины имеют выточки в форме «ласточкина хвоста», в которые входят конусные части корпуса с одной стороны и нажимной шайбы с другой. Пластины стянуты стальными конусами 22 шпильками из легированной стали марки 12ХН2, термически обработанными для достижения высокой прочности и вязкости. Пластины изолированы от корпуса манжетами 3 толщиной 2 мм из формовочного миканита марок ФМГ и ФФГА на терморезистивной глифталевой смоле (здесь буква Ф означает формовочный, М – мусковит (слюда калиево-алюминиевая, не содержащая железа), вторая буква Ф – флогопит, А указывает на содержание связующего вещества в пределах 8 – 14%). Качество манжет тем выше, чем ниже содержание связующего в формовочном миканите. Выступающую часть манжеты предохраняют от повреждения бандажом и покрывают, как и торцовые части пластин, изоляционной эмалью. Чтобы

внутренние части коллектора не увлажнялись, необходимо уплотнять (герметизировать) места посадки нажимной шайбы на корпус коллектора с помощью пропитанного шнура и промазки стыка снаружи густыми цинковыми белилами. Коллектор обтачивают, продороживают и шлифуют после сборки с якорем.

Для правильной работы щеточного аппарата центр окружности коллектора должен точно совпадать с осью его вращения биение поверхности не более 0,03 мм.

Обмотка якоря для получения большего числа параллельных ветвей без увеличения числа полюсов может быть использована многоходовая петлевая или лягушачья (параллельно-последовательная). С увеличением мощности и частоты вращения невозможно одновременно выдержать допустимые значения линейной скорости и линейной нагрузки якоря, а также среднее напряжение между соседними пластинами коллектора, которое многоходовые обмотки якоря снижают среднее минимальное напряжение обратно пропорционально кратности обмотки. Тяговые генераторы мощностью 1350 кВт и выше выполняют с двухходовой петлевой (ГП300Б) или лягушачьей обмоткой якоря (генераторы МПТ99/47А). Секции волновой обмотки, помимо своих основных функций, выполняют роль уравнивающих соединений для петлевой обмотки.

В каждом пазу якоря уложены 12 стержней (4 ряда по 3 стержня) из шинной меди размером 2,83×5,5 мм (рис. 35). Верхний и нижний ряды представляют собой стороны катушек волновой обмотки, два средних ряда – стороны катушек петлевой обмотки. Катушка состоит из трех элементарных одновитковых секций 3 и изолируется на полное рабочее напряжение. Следовательно, в прорезь петушки коллектора впаивают четыре проводника, расположенных по вертикали. Каждый стержень изолирован одним слоем (вполуперекрышу) микаленты толщиной 0,1 мм. Три стержня полукатушки изолированы тремя слоями микаленты 7 толщиной 0,13 мм (вполуперекрышу) и скреплены одним слоем встык стеклянной ленты толщиной 0,1 мм. В головках катушек стержни изолированы одним слоем микаленты вполуперекрышу, а между слоями обмотки кладут миканитовую изоляцию толщиной не менее 1 мм. Концы пазов якоря дополнительно изолированы картоном и миканитом. На дно паза уложена миканитовая прокладка. Для защиты изоляции от загрязнения охлаждающим воздухом, непосредственно омывающим части катушки, проходящим через радиальные вентиляционные каналы сердечника, катушку дополнительно изолируют коробочкой из электрокартона 5 толщиной 0,3 мм.

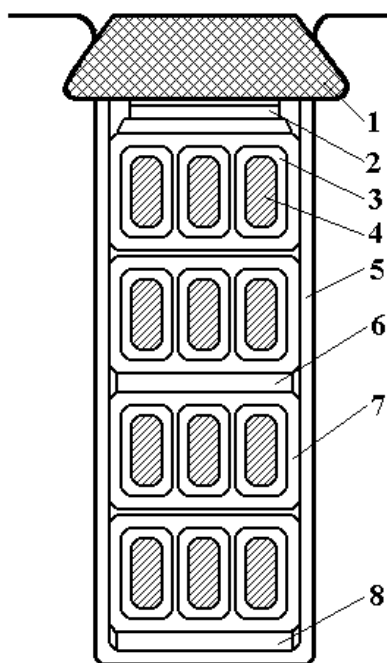


Рис. 35. Разрез паза генератора ГП311В

Обмотка якоря удерживается в пазах текстолитовыми клиньями 1, под которые кладут электроизоляционный картон 2. Лобовые части обмотки укреплены двухслойными проволочными бандажами из немагнитной проволоки для уменьшения реактивности рассеяния лобовых частей, так как частота вращения тягового генератора сравнительно большая (850 об/мин), и коммутация осложняется. Проволочные бандажи по кругу пропаяны сплошным слоем припоя ПОС-40.

Тяговые генераторы ГПЗ11Б, изготавливаемые с 1971 г., выполнены с петлевой ступенчатой двухходовой обмоткой якоря с полным числом уравнильных соединений первого рода, уложенных со стороны коллектора. Они работают более устойчиво, чем тяговые генераторы с лягушачьей обмоткой. Кроме того, ступенчатая двухходовая обмотка позволяет применять стеклобандаж для крепления лобовых частей без ухудшения коммутации. Опыт эксплуатации показал, что использование стеклобандажей на якорях повышает надежность работы тяговых генераторов.

Из курса электрических машин известно, что для получения симметричной двухходовой обмотки якоря уравнильные соединения должны соединять коллекторные пластины одного хода с головками обмоток другого хода. Такие уравнители конструктивно выполнить трудно, кроме того, они требуют большого количества паяных соединений, что снизит надежность работы обмотки якоря в эксплуатации. Принята несимметричная двухходовая обмотка, позволяющая разместить уравнильные соединения на одной стороне якоря, но для этого необходимо выдержать соотношения: z/p – целое нечетное число u , k/p – целое нечетное число, т. е. u – нечетное число, где z – число пазов якоря; p – число пар полюсов; k – число коллекторных пластин; u – число коллекторных пластин на паз.

Получается совокупность двух отдельных обмоток, совмещенных на якоре и работающих параллельно. Число щеток ставится равным числу полюсов, но ширина каждой щетки должна быть такой, чтобы одновременно могли работать две обмотки.

Катушка петлевой двухходовой обмотки состоит из трех элементарных одновитковых секций, выполненных из провода ПЭТВСД 2,8×6,3. Изоляция катушки якорной обмотки от корпуса выполнена тремя слоями стеклослюдинитовой ленты и одним слоем стеклянной ленты ЛЭС (вполуперекрышу), кроме того, производится выстилка паза пленочной стеклотканью.

Уравнильные соединения выполнены из меди ПММ размером 1,32×6,3 мм. Каждый проводник изолирован одним слоем слюдинитовой ленты ЛС (вполуперекрышу), а все пять проводников изолированы стеклянной лентой ЛЭС, пропитанной в лаке КО-916К.

После укладки в якорь обмотку пропитывают в изоляционном лаке вакуумнагнетательным способом (сушат в вакууме, а пропитывают под давлением) и запекают с целью обеспечения монолитности конструкции.

Секции с петушками коллектора и разрезные головки ступенчатых секций обмотки соединяют пайкой припоем с содержанием серебра. Динамически балансируют якорь закреплением грузов на конусе коллектора и задней нажимной шайбе сердечника якоря.

Крепление лобовых частей обмотки осуществляется бандажами из стеклобандажной ленты, пропитанной терморепаративным лаком. Ленту накладывают с высоким натяжением силой до 400 кН, которое, как и режим термообработки (запечки) ленты после наложения, контролируется. Обмотка якоря имеет изоляцию класса F.

Передний подшипниковый щит тяговых генераторов воспринимает большие усилия. Чтобы не допускать вибрации и смещения щеткодержателей, щит имеет сварную конструкцию, состоящую из ребер и колец. Ребра наклонены к оси машины, что обеспечивает жесткость и легкость конструкции, в центральной части щита вставлена и закреплена болтами съемная ступица. Такая конструкция позволяет заменить подшипник без снятия тягового генератора с тепловоза и разборки его. В щите размещена по-

воротная траверса 7, представляющая сварное кольцо с посадочным и зубчатым венцами и десятью U-образными накладками, к которым через изоляторы прикрепляются дюралюминиевые brackets (кронштейны) 6. На каждом brackete укреплено по 9 держателей со щетками и токособирательные шины. Траверсу в положении, соответствующем нейтралю, фиксируют стопорными болтами.

При обслуживании нижних щеток и щеткодержателей траверсу поворачивают вручную с помощью шестерни.

Для расположения щеток на геометрической нейтралю подшипниковые щиты других тяговых генераторов без поворотной траверсы имеют овальные отверстия под болты крепления, позволяющие поворачивать щит.

Задний сварной патрубок (щит) защищает тяговый генератор от загрязнения. Для присоединения напорного воздухопровода он имеет два люка.

Щеткодержатели должны обеспечивать постоянное нажатие на щетки по мере их износа, обеспечивать большой ресурс и условия для хорошего отвода тепла от щеток. Целесообразно производить раздельное нажатие на каждую половину разрезной щетки, предусматривать меры по демпфированию вибрации щетки.

На тяговых генераторах применяли щеткодержатели наклонного (реактивного) типа (рис. 36). С 1979 г. на тяговых генераторах ГПЗ11Б устанавливают радиальные щеткодержатели с постоянным давлением на разрезную щетку. Корпус щеткодержателя наклонного типа отлит из кремнистой латуни и имеет две прорези: с наклоном 30° к радиусу коллектора (для набегающей щетки) и 10° (для сбегавшей щетки).

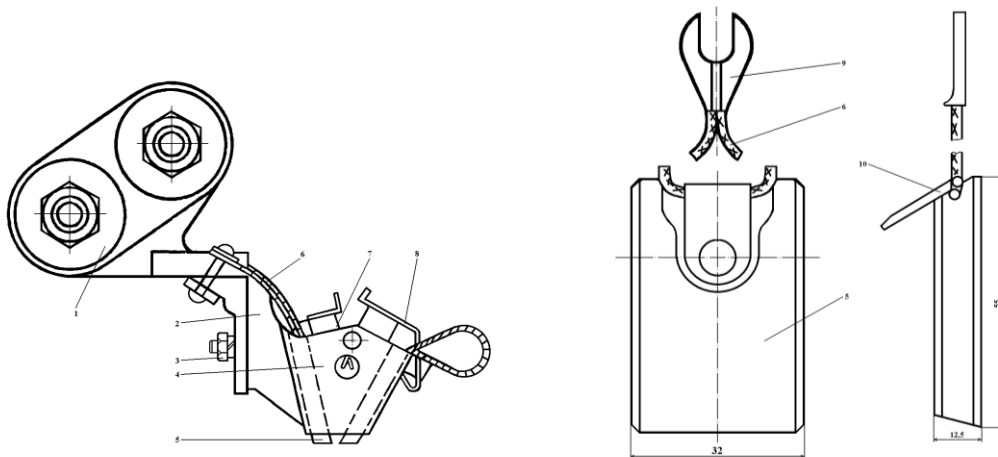


Рис. 36. Щеткодержатель

Bracket отлит из алюминиевого сплава и крепится к щиту или поворотной траверсе двумя изоляционными подвесками 1, изготовленными из микалекса, армированного специальным болтом с одной стороны и гайкой с другой. Нажатие на щетки марки ЭГ-74 размером $12,5 \times 32 \times 65/60$ мм осуществляется спиральными пружинами через курки 8. Силу нажатия регулируют изменением затяжки пружины путем перестановки ее конца из одного зубца храповика в другой. Нажатие на щетку должно быть 8–12 Н. Щетки, используемые в тяжелых условиях, армированы токоведущим проводом (медным шунтом) 6. Армирование уменьшает нагрев щетки, особенно в верхней части, повышает стабильность протекания тока между щеткой и коллектором, улучшает коммутацию. На тяговых генераторах устанавливают армированные щетки в основном с открытыми наконечниками, которые прикрепляются винтами к bracketу. Положение щеткодержателей относительно поверхности коллектора в корпусе щеткодержателя регулируют прорезью под болтом. Расстояние от коллектора до щеткодержателя должно быть 2–3 мм. Установка на

тяговый генератор щеток разных марок недопустима, так как это приводит к неравномерному распределению тока в щетках.

Бракеты расположены так, что оси щеткодержателей находятся на нейтрали. Надежность крепления щеткодержателей, точность размещения щеток и постоянство нажатия на них достигается использованием привалочных поверхностей щеткодержателя и brackets гребенчатыми (рифлеными), а также применением ленточных рулонных пружин.

Корпус щеткодержателя имеет одно гнездо, в которое устанавливается разрезная щетка с резиновым амортизатором (накладкой) толщиной 12 мм, имеющим 4 отверстия для токоведущих проводов и прямоугольный выступ, входящий в соответствующий паз на верхнем торце щетки. Амортизаторы увеличивают срок службы щеток, улучшают коммутацию и ликвидируют отколы щеток. Использование радиальных щеткодержателей на генераторах ГПЗ11Б уменьшило расход щеток в 2 раза.

На станине тягового генератора расположены главные и добавочные полюсы с катушками, составляющие его магнитную систему, которая имеет большее число полюсов, чем магнитная система обычных машин одинаковой мощности и угловой скорости. Тяговые генераторы с $D_{я} = 1000-1200$ мм имеют $2p = 10$ или 12, а общепромышленные машины – $2p = 6$ или 8. Повышенное число полюсов снижает массу тягового генератора, так как площадь сечения магнитопровода станины обратно пропорциональна числу полюсов. Повышение числа полюсов влечет за собой увеличение числа коллекторных пластин, что ограничивается малым значением коллекторного деления и резким повышением потенциальных градиентов по окружности коллектора.

Станина состоит из кольцевого магнитопровода, изготовленного из толстолистового стального проката гибкой в холодном состоянии и сваркой, и приваренных двух лап, которыми она опирается на поддизельную раму.

Главные полюсы состоят из сердечников и катушек (рис. 37). Сердечники главных полюсов набирают из листов холоднокатаной электротехнической стали Э310 толщиной 1 мм (для уменьшения потерь от вихревых токов). Листы покрыты лаком с обеих сторон, спрессованы под давлением 29 МПа и стянуты заклепками. Сталь Э310 обладает повышенной магнитной проницаемостью вдоль проката, что приводит к уменьшению требуемой м. д. с. полюсов, т. е. снижению габаритов катушек. В каждом листе сердечника выштамповано прямоугольное отверстие, куда закладывается стальной стержень с резьбовыми отверстиями для крепления полюса к станине.

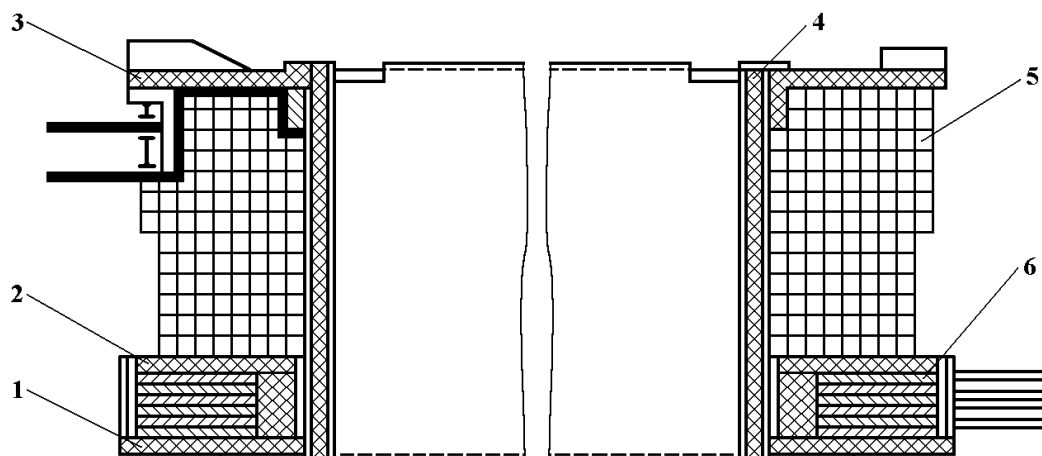


Рис. 37. Главный полюс генератора ГПЗ11В

На главных полюсах размещены катушки обмоток независимого возбуждения 5 и пусковой 6. Катушки намотаны на каркас, выполненный из листовой стали толщиной 1 мм. Каркас имеет бурты, удерживающие рамки 3, изготовленные из прочной и теплостойкой пластмассы. На каркас наложена изоляция 4 из четырех слоев гибкого стекломиканита на кремнийорганическом лаке и одного слоя стеклотенты. Пусковая обмотка выполнена в виде отдельной шайбы и расположена у полюсного башмака, затем установлена стеклотекстолитовая изоляционная шайба 2, выше которой намотана обмотка независимого возбуждения. Такое расположение катушек обеспечивает хороший отвод тепла. В процессе намотки каждый слой катушки независимого возбуждения промазывают кремнийорганическим лаком КО-916К или компаундом. Пустоты заполняют замазкой. Готовую катушку пропитывают в лаке КО-916К, запекают и покрывают электроизоляционной эмалью. Из 10 главных полюсов генератора 5 имеют перекрещенные выводы, а 5 – открытые. Это сделано для чередования полярности полюсов и упрощения конструкции соединительных шин.

В генераторах ГП300Б (ТЭМ2), МПТ84/39 (ТЭМ1) и др. обмотки независимого возбуждения и пусковую наматывают на общий каркас. Пусковую обмотку наматывают из широкой медной полосы непосредственно на изолированный каркас, а обмотку независимого возбуждения – на пусковую. Между катушками укладывают миканитовую изоляцию.

Добавочные полюсы так же, как и главные, состоят из сердечника 1 и катушки 4 (рис. 38). Сердечники изготовлены из толстолистовой стали Ст3. Они сужены в части, обращенной к якорию, внизу к сердечнику приклепаны латунные или дюралюминиевые угольники 2. Сердечник полюса изолирован от катушки спрессованным и спеченным миканитом или стеклотканью на эпоксидной смоле. Катушка опирается на угольники и фиксируется накладкой и пружиной.

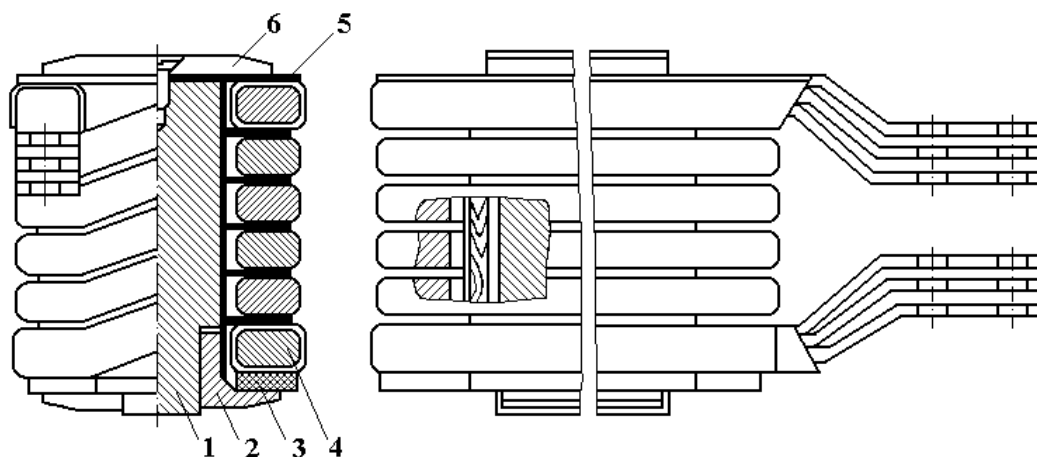


Рис. 38. Добавочный полюс генератора ГП311В.

Катушка полюса 4 состоит из шести витков шинной меди. Крайние витки изолированы двумя слоями миканты и одним слоем стеклотенты. Между витками уложены стеклотекстолитовые прокладки толщиной 2 мм. Готовую катушку покрывают электроизоляционной эмалью. Между накладкой и полюсом помещена немагнитная прокладка 6, создающая второй воздушный зазор. Полюс в сборе пропитывают в терморезистивном лаке и запекают. Для предотвращения перемещения катушки на сердечнике из-за усыхания изоляции и других деформаций укладывают пружинную рамку из ленточной стали. Между сердечником полюса и станиной помещен набор из шести стальных прокладок общей толщиной 3 мм, служащих для регулирования зазора под добавочным полюсом при настройке коммутации.

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. 39) представляет собой явнополюсную 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.

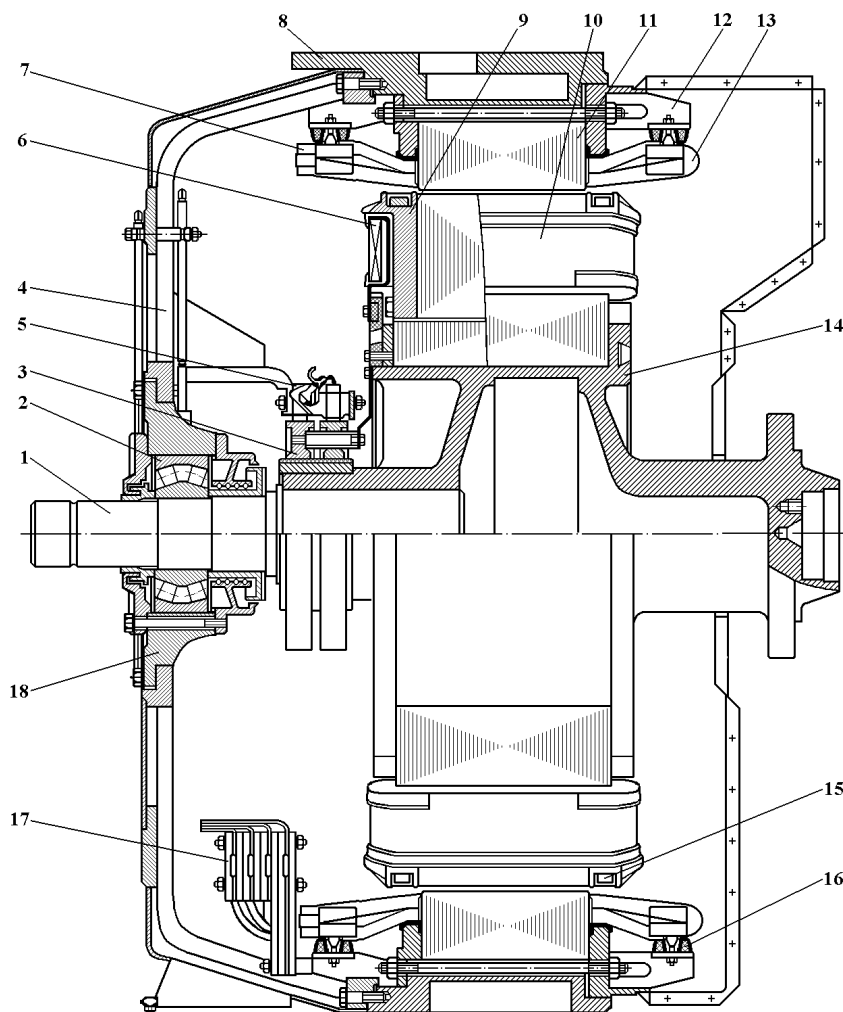


Рис. 39. Тяговый синхронный генератор ГС501А

Корпус ротора 14 синхронного генератора сварной, выполнен по типу корпуса якоря тягового генератора ГПЗ11Б, 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 валом 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 1,35×25 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 °С 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 латунью. 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 °С 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.

9.2 Конструкция тяговых электродвигателей

На тепловозах и электровозах применяют тяговые двигатели с последовательным возбуждением. Их узлы и элементы во многом подобны. Все двигатели имеют независимую воздушную систему охлаждения нагнетательного осевого типа с подачей воздуха со стороны коллектора.

Тяговые электродвигатели грузовых тепловозов и электровозов выполняют с опорно-осевой подвеской (тяговый привод первого класса).

Тяговые двигатели пассажирских электровозов серии ЧС, ЭП1, ЭП2к, пассажирских тепловозов ТЭП60, ТЭП70 и электропоездов имеют опорно-рамную подвеску (тяговый привод второго и третьего класса).

Тяговые электродвигатели тепловозов. По конструкции все коллекторные тяговые электродвигатели тепловозов аналогичны. В технической литературе можно найти описание достаточно широко распространенных двигателей серии ЭД: 107, 108, 118 (А, Б) и других. Ниже приводится описание современного ТЭД ЭДУ-133 универсального назначения.

Тяговый электродвигатель ЭДУ-133 предназначен для привода колесных пар грузовых, пассажирских и маневровых тепловозов с электрической передачей постоянного и переменного тока и является комплектующим изделием, обеспечивающим взаимозаменяемость с электродвигателями других типов.

Варианты исполнения ТЭД ЭДУ-133 отличаются только конструкцией станины и моторно-осевых подшипников, обусловленных подвешиванием их на тепловозе. В зависимости от способа и класса подвески тяговый электродвигатель ЭДУ-133 имеет исполнения ЭДУ-133Ц, ЭДУ-133П и ЭДУ-133Р.

Тяговые электродвигатели с опорно-осевым подвешиванием с циркуляционной и польстерной системой смазки (ЭДУ-133П) оборудованы моторно-осевыми подшипниками скольжения с вкладышами из бронзы.

Вариант ЭДУ-133Ц имеет моторно-осевые подшипники качения вместо подшипников скольжения.

Тяговый электродвигатель с опорно-рамным подвешиванием (ЭДУ-133Р) моторно-осевых подшипников не имеет.

Технические характеристики тягового электродвигателя ЭДУ-133 представлены в табл. 11.

Таблица 11

Технические характеристики тягового электродвигателя ЭДУ-133

| № п/п | Наименование показателя | Значение | |
|-------|---|----------|-----------------|
| 1 | 2 | 3 | |
| 1 | Режим работы | часовой | продолжительный |
| 2 | Мощность, кВт | 414 | 414 |
| 3 | Напряжение на коллекторе, В | 810 | |
| 4 | Ток якоря, А | 890 | 577 |
| 5 | Частота вращения якоря наибольшая, об/мин | 2320 | |
| 6 | Расход вентилирующего воздуха не менее, м ³ /мин | 54 | |
| 7 | КПД, % | 92,0 | 94,5 |
| 8 | Степень возбуждения, % | 100 | 100 |

| 1 | 2 | 3 |
|----|--|--------------------------|
| 9 | Класс изоляции: - обмоток главного полюса - обмоток добавочного полюса - обмотки якоря - компенсационной обмотки | F F F F |
| 10 | Сопротивление обмоток постоянному току при температуре 20 °С, Ом - якоря - главных полюсов (без шунта) - компенсационной и добавочных полюсов | 0,033 0,018 0,0285 |
| 11 | Напряжение изоляции относительно корпуса, В | 4000 |
| 12 | Масса, кг | 2950 |

Для наиболее полного использования тележечного пространства форма корпуса тягового электродвигателя принята восьмигранной с одним конусным концом вала для насадки ведущей шестерни тягового редуктора.

Тяговые электродвигатели являются реверсивными, и разница частот вращения валов в разные стороны при одной и той же нагрузке не должна превышать 4 % (ГОСТ 2582-81). Этим обусловлены жесткие требования к установке щеток по нейтрали.

Остов 14 тягового электродвигателя отлит из мягкой литой стали с высокой магнитной проницаемостью марки Ст25ЛК20 или сварной – из низкоуглеродистой низколегированной стали 09Г2С (рис. 40).

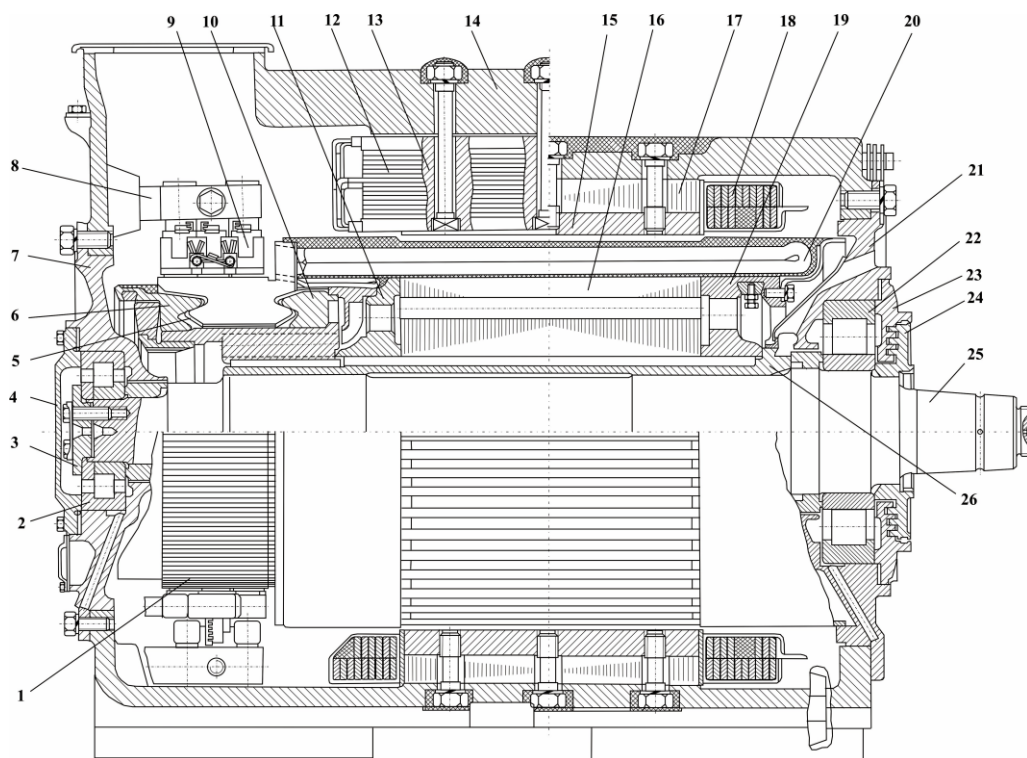


Рис. 40. Разрез тягового электродвигателя ЭДУ-133:

1 – коллектор; 2, 22 – подшипник; 3 – упорное кольцо; 4, 23 – крышка подшипника; 5 – изоляция коллектора; 6 – нажимной конус; 7 – малый подшипниковый щит; 8 – изолятор; 9 – щеткодержатель; 10 – нажимная втулка; 11 – передняя нажимная шайба; 12 – обмотка добавочного полюса; 13 – сердечник добавочного полюса; 14 – станина; 15 – планка; 16 – сердечник якоря; 17 – сердечник главного полюса; 18 – обмотка главного полюса; 19 – задняя нажимная шайба; 20 – обмотка якоря; 21 – большой подшипниковый щит; 24 – лабиринтное кольцо; 25 – вал; 26 – переходная втулка

Остовы машин, у которых $2p = 4$, обычно восьмигранные с широкими горизонтальными и вертикальными гранями, в которых располагаются главные полюсы 17, и узкими гранями, ориентированными под 45° к горизонтали и вертикали, в которых размещают добавочные полюсы 13. В торцовых частях остов имеет расточки (горловины) для посадки подшипниковых щитов 7 и 21.

Остов имеет два опорных прилива («носика»), предназначенных для закрепления электродвигателя на тележке тепловоза. На корпусе имеются также приливы с резьбой (бонки) для крепления кожуха зубчатой передачи. К торцовой стенке остова со стороны коллектора приварены кронштейны для крепления щеткодержателей 9. В верхней части корпуса со стороны коллектора имеется вентиляционное отверстие, соединенное брезентовой гармошкой (рукавом) с каналом, через который нагнетается воздух для охлаждения электродвигателей. Выход воздуха осуществляется с противоположной стороны через 3 отверстия в корпусе тягового электродвигателя, защищенных сетками и щитками.

Электродвигатель имеет пять выводных концов: начало и конец обмотки возбуждения D1 и D2; начало и конец якорной цепи A1, B2; промежуточный вывод с якорной цепи A3 (рис. 41). К силовой схеме тепловоза тяговый электродвигатель подключается четырьмя гибкими кабелями, которые выводятся из остова через специальные отверстия в его верхней части. Кабельные выводы крепятся к остову зажимами из древесно-слоистого пластика, называемыми клицами.

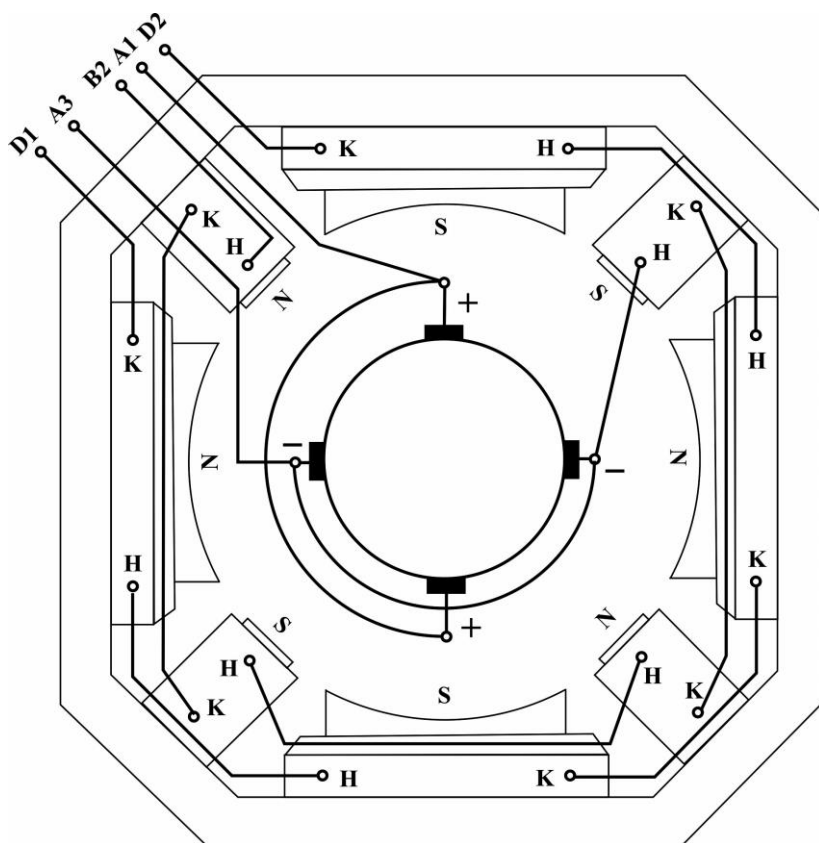


Рис. 41. Схема соединения полюсов тягового электродвигателя ЭДУ-133

Подшипниковые щиты. Якорь опирается на два роликовых подшипника (8Н9241711М) и (8Н32330М), установленных в стальных подшипниковых щитах – малом 7 (со стороны коллектора) и большом 21 (с стороны шестерни) (см. рис.1.31). Смазка подшипников – ЖРО или ЖРО-М. Смазку (ЖРО ТУ32 ЦТ 520 – 73) для роликовых подшипников тяговых электродвигателей запрессовывают шприц-прессом через масленку.

Выточки в щитах под роликовые подшипники и посадочные поверхности щитов должны быть строго концентричны. Биение этих поверхностей допускается не более 0,1 мм. С внутренней стороны каждого подшипникового щита расположено кольцо с лабиринтными канавками. В подшипниковом щите со стороны коллектора установлен опорно-упорный подшипник 2, наружное кольцо которого имеет буртики с двух сторон, а внутреннее – только с одной. К торцу вала якоря шайбой и болтами прикреплено упорное кольцо 3. Подшипник воспринимает усилия, направленные вдоль вала якоря. Продольный разбег якоря составляет 0,08 ... 0,5 мм.

Перед насадкой внутреннего кольца подшипника 2 на вал надевают переднее лабиринтное кольцо с канавками. Эти канавки и лабиринтное кольцо подшипникового щита образуют уплотнение, препятствующее проникновению смазки в полость тягового электродвигателя. Снаружи полость подшипника закрыта крышкой 4. Крышка прикреплена к щиту болтами, а так как она должна закреплять наружное кольцо подшипника, то между ней и щитом имеется зазор (0,2 ... 0,7 мм).

В подшипниковом щите со стороны шестерни, находится опорный подшипник 22, внутреннее кольцо которого насажено на вал якоря в нагретом состоянии вслед за лабиринтным кольцом. Крышка подшипника 23 имеет снаружи лабиринтные канавки, в которые входят выступы посаженного на вал лабиринтного кольца 24. Оно предотвращает вытекание смазки из подшипника. Для предохранения от проникновения смазки внутрь тягового электродвигателя служит воздушный канал (дренажное отверстие) в щите с комбинированными уплотнениями. В период эксплуатации смазку в подшипники добавляют шприц-насосом через масленки.

Подшипниковые щиты плотно пригнаны к остову и прикреплены к нему болтами, под головки которых подложены пружинные шайбы, предохраняющие болты от самоотворачивания. Для выпрессовки подшипниковых щитов из остова электродвигателя используются просверленные в них специальные отверстия с резьбой, в которые заворачиваются технологические болты.

Остов тяговых электродвигателей всех модификаций имеет четыре кронштейна, в которые установлены щеткодержатели, удерживающие щетки в специальных гнездах, и обеспечивающие постоянный контакт щеток с поверхностью коллектора. Допуск на отклонение расположения кронштейнов щеткодержателей после приварки их к корпусу не превышает $\pm 0,5$ мм.

Главные полюсы представляют собой моноблок, пропитанный эпоксидным компаундом, состоящий из сердечника и катушки. Сердечник набран из штампованных листов малоуглеродистой стали Ст2 толщиной 2 мм. Листы сердечников спрессованы и стянуты четырьмя заклепками с потайными головками. Чтобы головки заклепок уместились и равномерно распределилось усилие, крайние листы изготовлены более толстыми.

В середине каждого листа сердечника выштамповано отверстие, куда после сборки запрессовывают стальной стержень. Три болта М30, крепящих сердечник к остову, ввертывают в стержень, при этом усилие от стержня равномерно передается на листы сердечника. Стержень может заменяться без нарушения целостности моноблока. Головки болтов заливают кварцкомпаундом, препятствующим просачиванию влаги внутрь остова.

Катушка главного полюса (рис. 42) намотана из шинной меди сечением $\times 28$ мм на широкое ребро (плашмя) в два слоя. Витки катушки главных полюсов изолированы друг от друга непропитанной стеклослюдинитовой лентой ЛСКН-160-ТТ и пропитанной стеклянной тканью 4. Катушка состоит из двух полукатушек с числом витков 11 и 8, соединенных между собой последовательно. Различное число витков полукатушек дает лучшее заполнение междукатушечного пространства и определяется условиями размещения главных полюсов внутри остова.

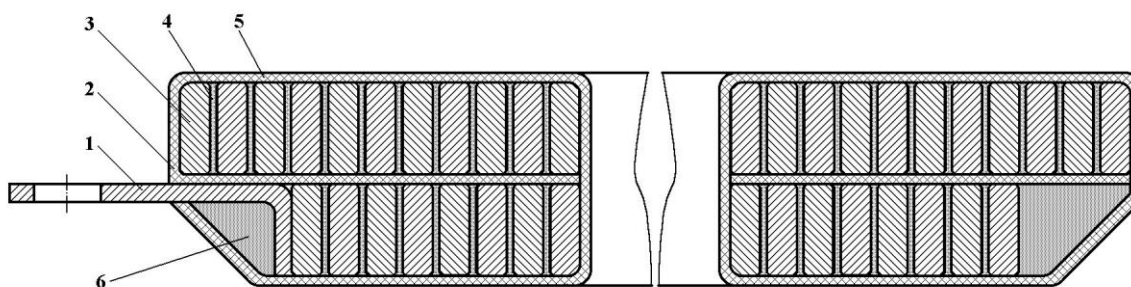


Рис. 42. Катушка главного полюса тягового электродвигателя ЭДУ-133:
1 – вывод; 2 – прокладка; 3 – проводник; 4 – витковая изоляция; 5 – корпусная изоляция; 6 – заполнение

Снаружи катушка (изоляция от корпуса) имеет четыре слоя непропитанной стеклослюдинитовой ленты ЛСКН-160-ТТ 5. В местах соприкосновения катушки с остовом дополнительно устанавливают прокладки из стеклоткани и стеклотекстолита СТЭФ-1-0,5. Между слоями катушки также укладывают прокладки из стеклотекстолита 2. Каждый слой изоляции промазан компаундом; катушку с изоляцией запекают и спрессовывают. После этого ее покрывают эмалью.

По другой технологии витковая изоляция катушек главных полюсов выполнена из асбестовой бумаги, слои катушки изолированы один от другого стеклотекстолитовой прокладкой. Для обеспечения закрепления катушки на сердечнике зазоры между ними заполняют асбестовой лентой ЛАЭ и затем пропитывают в компаунде «Монолит-2». Изоляция класса нагревостойкости F.

Две катушки главных полюсов имеют открытые, две – перекрещенные выводы (см. рис. 41). Соединения главных полюсов между собой выполнены гибкими наборными медными шинами. Между катушкой и остовом установлена стальная прокладка толщиной 1 мм для предохранения изоляции катушки от грубо обработанной поверхности остова. Чтобы предупредить перемещение катушки по сердечнику при ударах и вибрациях, при уменьшении высоты ее вследствие усыхания изоляции, между катушкой и башмаком полюса проложена двухслойная пружинная рамка, создающая после затяжки болтов давление на катушку. Во избежание повреждения изоляции катушка отделена от башмака предохранительной рамкой из тонколистовой стали.

Добавочные полюсы предназначены для улучшения процесса коммутации тягового электродвигателя. Устанавливают их между главными полюсами и крепят к станине болтами. Они, так же как и главные полюсы, представляют собой моноблок, пропитанный эпоксидным компаундом, и состоят из сердечников и катушек (рис. 43).

Воздушный зазор под добавочными полюсами 9 мм. Сердечники добавочных полюсов 9 изготовлены сплошными из толстолистовой, литой или прокатанной стали, так как их размеры и поток, проходящий через них, невелики и, следовательно, потери, вызываемые вихревыми токами, незначительны. В данном электродвигателе сердечники изготовлены из проката Ст3.

Башмак сердечника 9 уже, чем основное его тело, и для удержания катушки с двух сторон башмака приклепаны немагнитные полюсные наконечники 1 из латуни или дюралюминия. Для надежности крепления полюсные наконечники посажены на зуб.

Чтобы предупредить перемещение катушки вдоль сердечника (при усыхании изоляции), между ней и остовом установлена пружинная рамка. Между сердечником и остовом поставлены дюралюминиевые немагнитные прокладки 12, увеличивающие воздушный зазор в магнитной цепи с целью уменьшения рассеивания магнитного потока и влияния на коммутацию вихревых токов. Катушка 5 добавочного полюса выполнена из шинной меди сечением 6×35 мм, намотанной на узкое ребро.

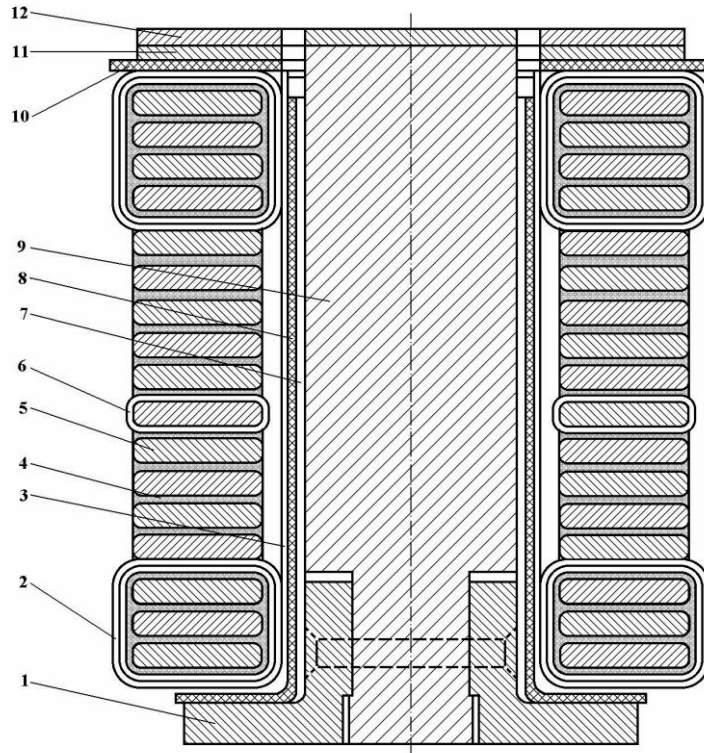


Рис. 43. Разрез добавочного полюса тягового электродвигателя ЭДУ-133
 1 – полюсной наконечник; 2 – корпусная изоляция; 3, 4, 8, 10 – изоляционная прокладка; 5 – проводник; 6 – защитная стеклолента; 7 – каркас; 9 – сердечник полюса; 11, 12 – металлическая прокладка

Между витками катушки установлены прокладки 4 из ткани стеклянной пропитанной. Полностью изолируют от корпуса только три-четыре витка с каждой стороны – непропитанной стеклослюдинитовой лентой и стеклянной лентой.

Со стороны остова и наконечника располагают прокладки из стеклотекстолита 10. Для повышения теплоотдачи наружную поверхность средних витков катушки не изолируют, а от корпуса они изолированы пятью прокладками из асбестовой электроизоляционной бумаги 8. Класс нагревостойкости изоляции F. Катушка надета на стальной каркас 7. Для изоляции от корпуса ее вместе с каркасом пропитывают в компаунде и затем покрывают электроизоляционной эмалью.

Катушки добавочных полюсов соединяются последовательно между собой и с обмоткой якоря и питаются током якоря.

Межкатушечные соединения, выполненные шинами или гибкими кабелями, при неудовлетворительном креплении вибрируют, что приводит к изломам как самих соединений, так и выводов катушек. Предпочтение отдают шинным межкатушечным соединениям, выполненным из двух голых медных лент и закрепленных к корпусу бандажом с резиновыми прокладками, гасящими высокочастотные вибрации.

Якорь тягового электродвигателя предназначен для преобразования электрической энергии, поступающей от тягового генератора на его обмотку, в механическую энергию, передаваемую через вал и редуктор колесной паре и состоит из вала 25, переходной втулки 26, на которую монтируются все детали якоря, сердечника 16, обмотки 20 с уравнительными соединениями первого рода и коллектора 1. Наличие втулки позволяет производить смену вала без нарушения всех остальных узлов.

Вал якоря изготовлен из проката, сталь 30ХМА с термообработкой. Один его конец обработан на конус 1:10 для насадки ведущей шестерни. Сопряжения участков вала 25 разных диаметров выполнены с плавными переходами.

Сердечник якоря 16 набран из штампованных листов электротехнической легированной стали марки 2211, 2212 (толщиной 0,5 мм), покрытых тонким слоем лака с обеих сторон. Листы набираются по массе (363 кг). Толщина крайних листов составляет 1 мм. В каждом листе выштамповано 54 паза и два ряда вентиляционных отверстий (32 шт.) диаметром 27 мм. Середина каждого паза должна совпадать с серединой коллекторной пластины.

Со стороны шестерни на валу установлена задняя нажимная шайба 19 (открытого типа), со стороны коллектора – передняя 11. Нажимные шайбы 11 и 19, одновременно являющиеся обмоткодержателями, отлиты из стали. Открытая шайба улучшает охлаждение задних лобовых частей обмотки 20.

Собранный сердечник без обмотки покрывают эмалью (коричневым грунтом) ФЛ-03К и запекают для повышения коррозионной устойчивости. Нажимные шайбы 11 и 19 перед укладкой обмотки якоря покрывают стеклотканью, пропитанной в эпоксидном лаке, опрессовывают и запекают. Это создает монолитный слой изоляции.

Обмотка якоря петлевая, уложена в прямоугольные пазы сердечника и закреплена в них изоляционными клиньями, лобовые части обмотки закреплены бандажами из стеклобандажной ленты класса нагревостойкости Н. Концы обмотки перед входом в шлицы коллектора расплющены.

Уравнительная обмотка предназначена для равномерного распределения тока между параллельными ветвями и жесткого фиксирования напряжения между соседними коллекторными пластинами.

Уравнительная обмотка уложена на нажимную шайбу 11 под лобовыми частями обмотки якоря, выводные концы – в коллекторные пластины.

Коллектор тягового электродвигателя состоит из нажимных втулки, конусов 10 и 6, пластин, двух изоляционных манжет и изоляционного цилиндра 5. Диаметр коллектора 400 мм. Пластины коллектора (их всего 216 шт.) изготовлены из твердотянутой профильной меди, легированной кадмием или серебром. Пластины штампуют за одно целое с петушками. В нижней части они имеют форму «ласточкина хвоста», позволяющего прочно скрепить коллектор. Втулка и нажимной конус коллектора, конусные выступы которых входят в выточки пластин, сжаты под прессом и стянуты гайкой через пружинное кольцо. Так как коллектор тепловозных электродвигателей работает в напряженных условиях в механическом и тепловом отношении, все детали коллектора изготавливают из высокопрочных материалов.

Пластины изолированы друг от друга коллекторным миканитом КФШ толщиной 1,2 мм, а от корпуса – миканитовым цилиндром и манжетами ФФГА толщиной 2 мм 5. Выступающий конец миканитовой манжеты защищен от внешних воздействий бандажом из стеклянной ленты, покрытым сверху эмалью.

В прорези петушков впаивают концы секций обмотки якоря. Каждая четвертая пластина имеет более глубокую прорезь, в которую дополнительно впаивают концы уравнительных соединений. Коллектор балансируют статически при помощи грузов 7, закрепляемых в специальных канавках в нажимном конусе и втулке. Радиальное биение коллектора не должно превышать 0,05 мм.

В якорях электродвигателей применена петлевая обмотка 20 с уравнительными соединениями первого рода. Она состоит из 54 катушек и имеет изоляцию класса Ф. Обмотка якоря имеет шаг по пазам 1–14, шаг по коллектору 1–2. Катушка обмотки якоря состоит из четырех элементарных одновитковых секций. Каждая секция в свою очередь состоит из трех параллельных проводников, расположенных по высоте паза, а четыре витка, входящих в катушки, располагаются по ширине паза, т. е. осуществлена горизонтальная укладка.

Виток разделен по высоте на три параллельных провода для уменьшения потерь от вихревых токов, наводимых магнитным потоком рассеяния.

В пазовой части (рис. 44) катушка изолирована тремя слоями 5 стеклослюдянистой ленты ЛС-ЭП толщиной 0,1 мм в половину нахлеста и одним слоем 6 стеклянной ленты ЛЭС толщиной 0,1 мм в половину нахлеста. Каждый проводник 3 покрывается изоляцией 4 из одного слоя стеклянной ленты толщиной 0,1 мм.

В задних лобовых частях дополнительно между элементарными секциями устанавливают прокладки из стеклослюды. Передние лобовые части дополнительно имеют между витками секции прокладки из слюды, чтобы избежать витковых замыканий при осадке и бандажировке обмотки. Концы катушек в изгибах дополнительно изолируются одним слоем полиамидной пленки ПМА толщиной 0,04 мм.

На дне паза и под клин устанавливают прокладки 2 из стеклотекстолита 0,35 мм. Обмотка якоря удерживается, в пазах стеклотекстолитовыми, клиньями 1 толщиной 6 мм, в лобовых частях – стеклобандажами. В электродвигателе применяют стеклобандаж, который наматывается с натяжением не менее 1,4 кН. Стеклобандаж изготавливают из специальной стеклослюды ЛСБ-Ф размером 0,2×20 мм (стеклянные волокна расположены только в продольном направлении и склеены эпоксидным связующим компаундом). Бандажи в процессе сушки запекают, и они становятся монолитными. Преимущество стеклобандажа в том, что он не разрушается при круговом огне на коллекторе.

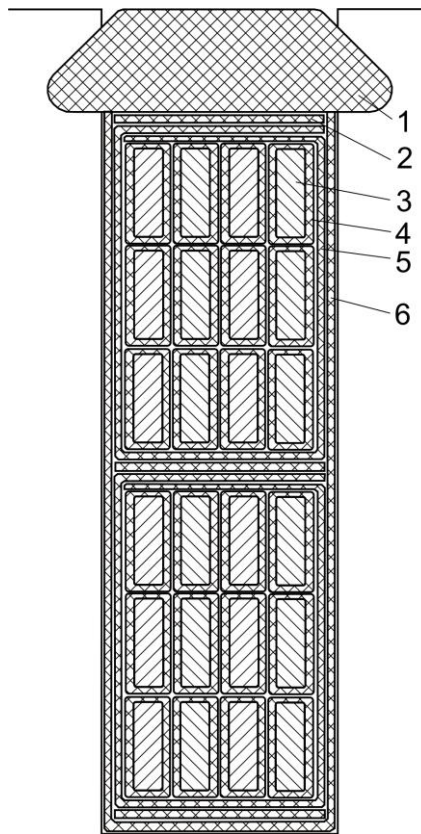


Рис. 44. Разрез паза тягового электродвигателя ЭДУ-133:

- 1 – клин; 2 – прокладка под клин; 3 – проводник; 4 – изоляция проводника;
5 – корпусная изоляция; 6 – защитная стеклослюда

Под передними лобовыми частями обмотки якоря находятся уравнивающие соединения, выполненные из меди МГМ размером 1,68×5,1 мм (с изоляцией 2,23×6,87 мм). Шаг уравнивающих соединений по коллектору 1 – 109, 5 – 113, т. е. уравнивающее соединение делается одно на паз.

Для крепления балансировочных грузов в конусе коллектора и на задней нажимной шайбе предусмотрены специальные канавки.

Щеткодержатель отлит из латуни имеет гнезда для установки трех разрезных щеток ЭГ-61 (2×12,5)×40×64 с резиновыми амортизаторами для защиты от ударной и вибрационной нагрузки (рис. 45).

При разрезных щетках в случае неровности коллектора или выпучивании одной из коллекторных пластин подсакивает сначала одна, а затем вторая из половинок щетки контакт щетки и коллектора сохраняется постоянно, поэтому коллектор почти не подгорает. Кроме того, разрезные щетки создают хорошую политуру коллектора и тем самым улучшают условия коммутации. Резиновые амортизаторы поглощают небольшие толчки и удары, не допуская отрыва щеток от коллектора.

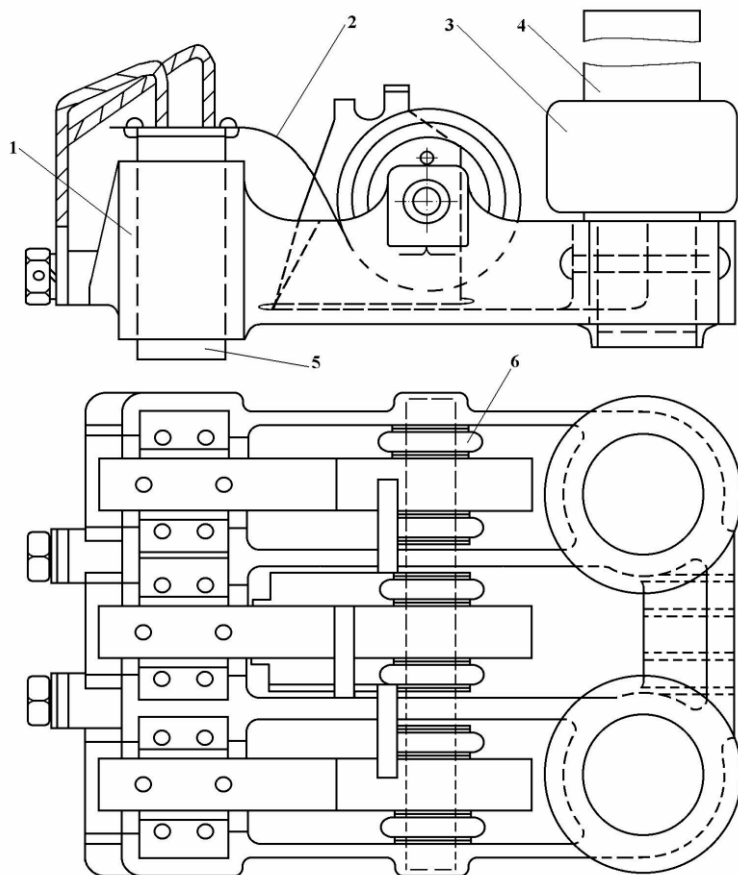


Рис. 45. Щеткодержатель тягового электродвигателя ЭДУ-133:
1 – корпус; 2 – спиральная пружина; 3, 6 – изолятор; 4 – палец; 5 – щетка

На электродвигателе должны быть установлены щетки одной и той же марки. Это особенно важно при петлевой обмотке, так как различие в сортах щеток может вызвать протекание больших токов по уравнивающим соединениям.

Щеткодержатель имеет литой латунный корпус 1. Корпус укреплен в кронштейне, сваренном в торцовую стенку остова. В корпус запрессованы два стальных пальца 4, служащих для крепления щеткодержателей в кронштейне. Пальцы изолированы от корпуса прессматериалом АГ-4С или твердым изоляционным слоем из эпоксидного компаунда, на который надеты изоляторы 3 из прессматериала К-78-51. Такое выполнение пальцев щеткодержателей дало возможность повысить их изоляционные свойства и тем самым избежать снижения сопротивления изоляции в эксплуатации, которое наблюдалось при использовании фарфоровых изоляторов.

В корпусе щеткодержателя имеются два гнезда для щеток. В одно гнездо вставлена одна пара щеток 5, в другое – две пары. Нажатие щеток на коллектор осуществляется спиральными пружинами 2. Нажатие (4,2...4,8 Н) регулируется поворотом втулки, находящейся в центре пружины. Характеристики спиральных пружин подобраны так, чтобы регулировка давления до полного износа щетки не требовалась. Щетки снабжены гибкими шунтами, прикрепленными болтами к корпусу щеткодержателя. Для удобства замены и осмотра щеток на щеткодержателях установлены стойки с заплечиками, позволяющие фиксировать пружины в приподнятом состоянии.

Вентиляция электродвигателей типа ЭДУ-133 параллельная, независимая. Охлаждающий воздух нагнетается вентиляторами, установленными в кузове тепловоза. Воздух от вентилятора поступает в полость электродвигателя через вентиляционное отверстие, расположенное в верхней части остова над коллектором, и дальше движется двумя параллельными потоками подобно тому, как это описано для тягового генератора. Нагретый воздух выбрасывается через отверстия в остове, защищенные сетками и щитками. Щиток у нижнего отверстия направляет поток нагретого воздуха параллельно рельсовому пути.

14 «МОДЕЛИРОВАНИЕ И ДИНАМИКА СИСТЕМ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА» («МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА»)

14.1 Методические указания к практическим занятиям

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 настоящей главе излагаются основы современных методов математического и компьютерного моделирования применительно к задачам динамики подвижного состава.

3.1 Математическое моделирование динамики подвижного состава

3.1.1 Современные методы компьютерного моделирования задач динамики подвижного состава (Лекция 1)

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 пассажирских локомотивов корпус ТЭД крепится к раме тележки или к кузову, и для передачи вращения применяется трансмиссия, состоящая из нескольких элементов.

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

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

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:

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

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

3.1.2 Построение компьютерной модели механической части электровоза с осевой формулой 2o-2o (Лекция 2)

Выбор расчетной схемы механической части электровоза с осевой формулой 2o-2o

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

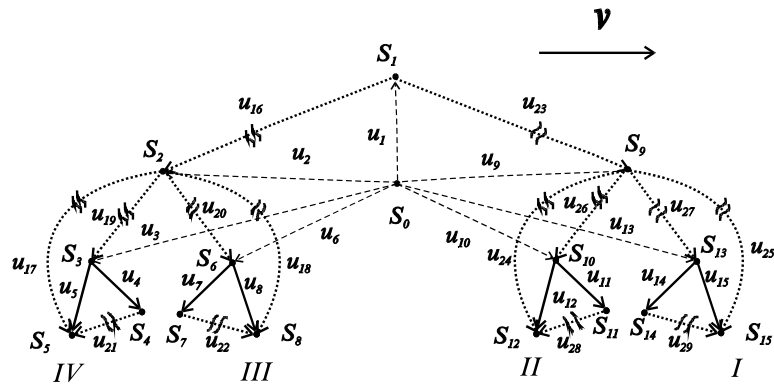


Рис. 3.1. Ориентированный граф

Работа с пакетом «Универсальный механизм»

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

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

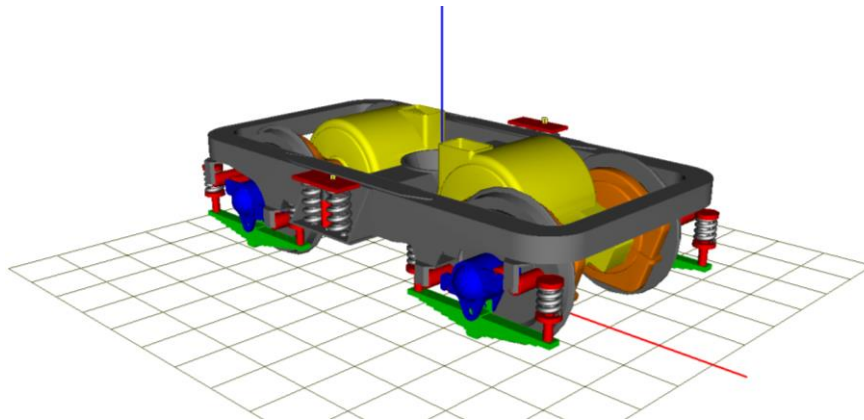


Рис. 3.2. Модель тележки

Затем создается модель секции электровоза (рис. 3.3).

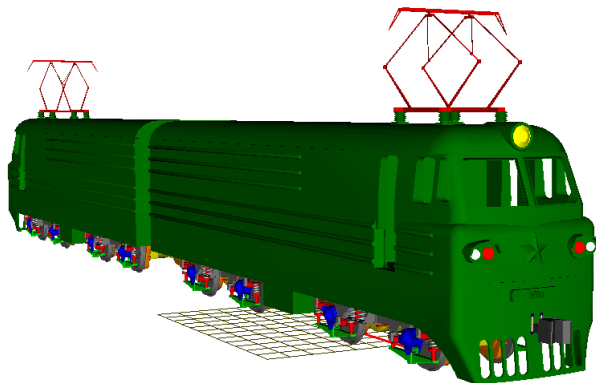


Рис. 3.3. Модель секции элетровоза

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».

3.1.3 Построение компьютерной модели механической части тепловоза с осевой формулой 3о-3о (Лекция 3)

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 (3.4).

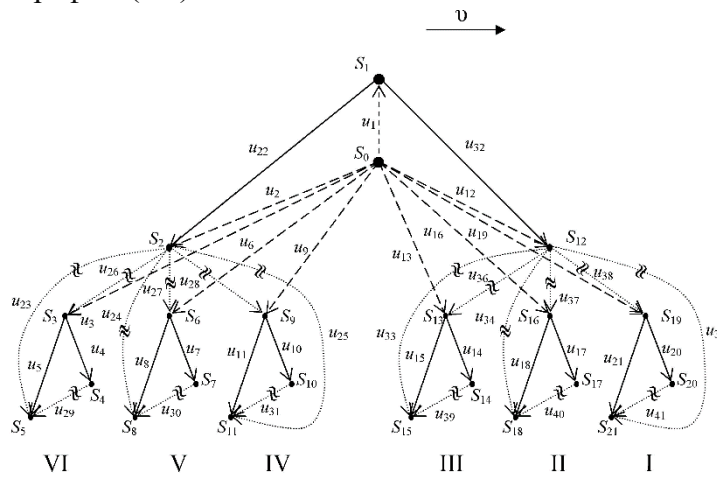


Рис. 3.4. Ориентированный граф

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. 3.5).

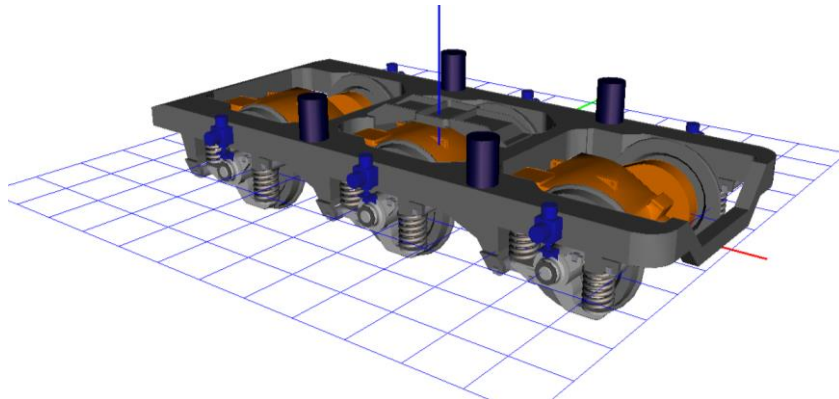


Рис. 3.5. Модель тележки

Затем создается модель секции тепловоза (рис. 3.6).

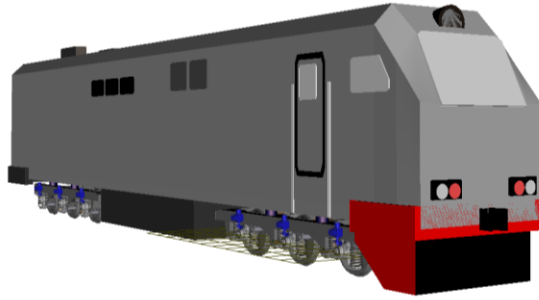


Рис. 3.6. Модель секции тепловоза

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».

3.1.4 Построение компьютерной модели ходовой части пассажирского вагона (Лекция 4)

Выбор расчетной схемы ходовой части пассажирского вагона

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

Работа с пакетом «Универсальный механизм»

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

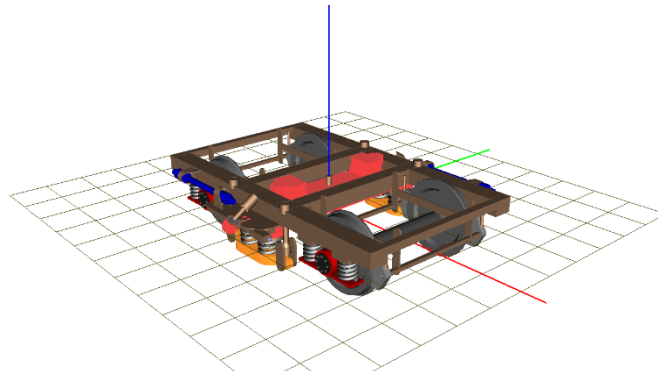


Рис. 3.7. Модель тележки

Затем создается модель вагона (рис. 3.8).

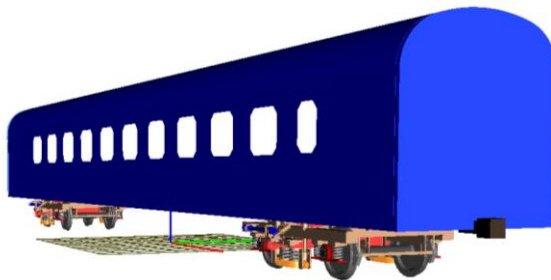


Рис. 3.8. Модель вагона

Основные режимы движения

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

3.2 Математическое моделирование электрической части подвижного состава

3.2.1 Современные методы компьютерного моделирования процессов в электрических цепях (Лекция 5)

Основные задачи компьютерного моделирования

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

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

ности, пользователь имеет возможность рассчитать установившийся режим работы системы на переменном токе, выполнить расчет импеданса (полного сопротивления) участка цепи, получить частотные характеристики, проанализировать устойчивость, а также выполнить гармонический анализ токов и напряжений.

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

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

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

3.2.2 Построение компьютерной модели силовых цепей электровоза постоянного тока с коллекторными тяговыми двигателями (Лекция 6)

Схема силовых цепей электровоза постоянного тока с коллекторными тяговыми двигателями

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

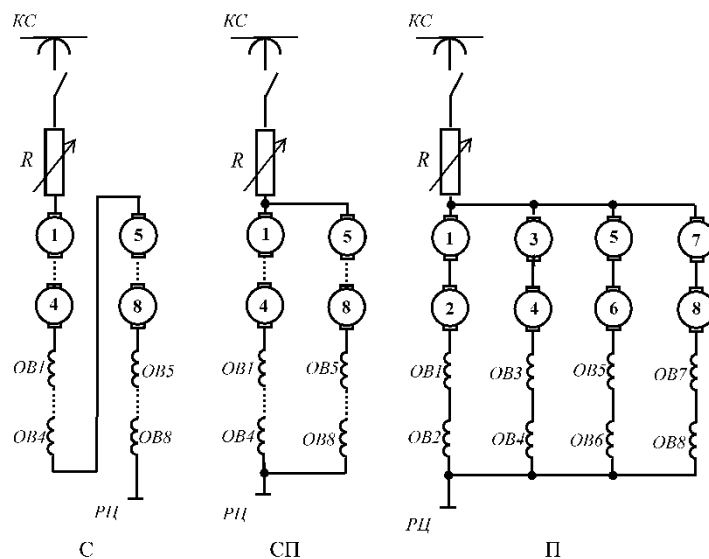


Рис. 3.9. Последовательное (С), последовательно-параллельное (СП) и параллельное (П) соединение ТЭД: ОВ – обмотка возбуждения; КС – контактная сеть; РЦ – рельсовая цепь; R – реостат

При соединении С напряжение U на каждом двигателе составляет $1/8$ напряжения контактной сети, то есть $U = U_{\text{кв}} / 8 = 375$ В, и через каждый двигатель протекает полный ток, потребляемый электровозом из контактной сети: $I_a = I_{\text{кв}}$. 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 $U = U_{\text{кв}} / 4 = 750$ В, а через каждый двигатель протекает половина тока, потребляемого электровозом из контактной сети: $I_a = 1/2 I_{\text{кв}}$. В результате скорость движения возрастает, а тяга уменьшается.

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

Работа с пакетом «Матлаб-Симулинк»

Модель электрической машины постоянного тока (рис. 3.10).

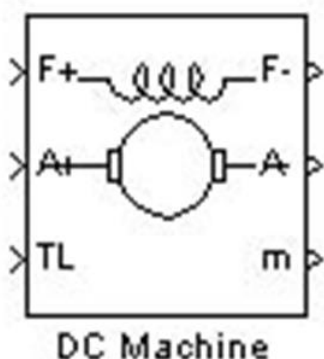


Рис. 3.10. Пиктограмма

Назначение: моделирует электрическую машину постоянного тока.

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

Схема модели машины постоянного тока представлена на рис. 3.11.

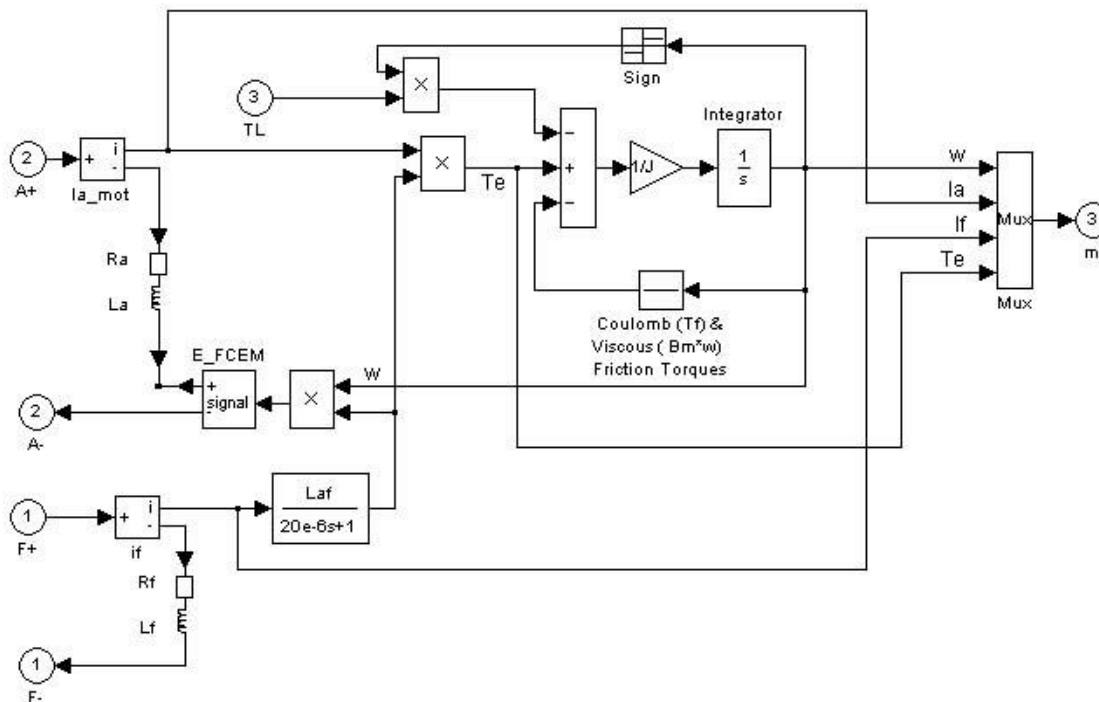


Рис. 3.11. Схема модели машины постоянного тока

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

Основные режимы

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

3.2.3 Построение компьютерной модели силовых цепей электрической передачи постоянного тока грузового тепловоза (Лекция 7)

Схема силовых цепей электрической передачи постоянного тока грузового тепловоза

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

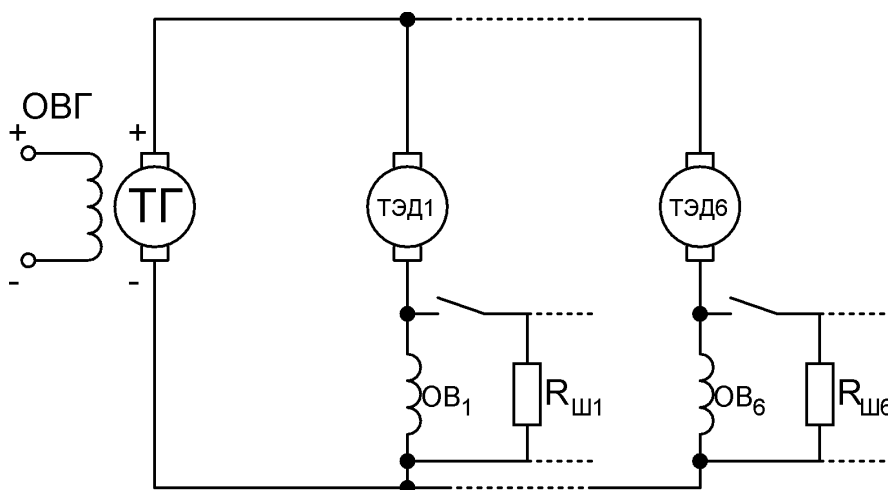


Рис. 3.12/ Принципиальная схема электрической передачи постоянного тока (параллельное соединение ТЭД):

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

Ее основными элементами являются:

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

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

Работа с пакетом «Матлаб-Симулинк»

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

Основные режимы

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

Режимы работы изучаются на лабораторных занятиях.

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

Составление схемы силовых цепей пассажирского вагона с подвагонным ВИГ

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



Рис. 3.13. ВИГ разработки РГУПС

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

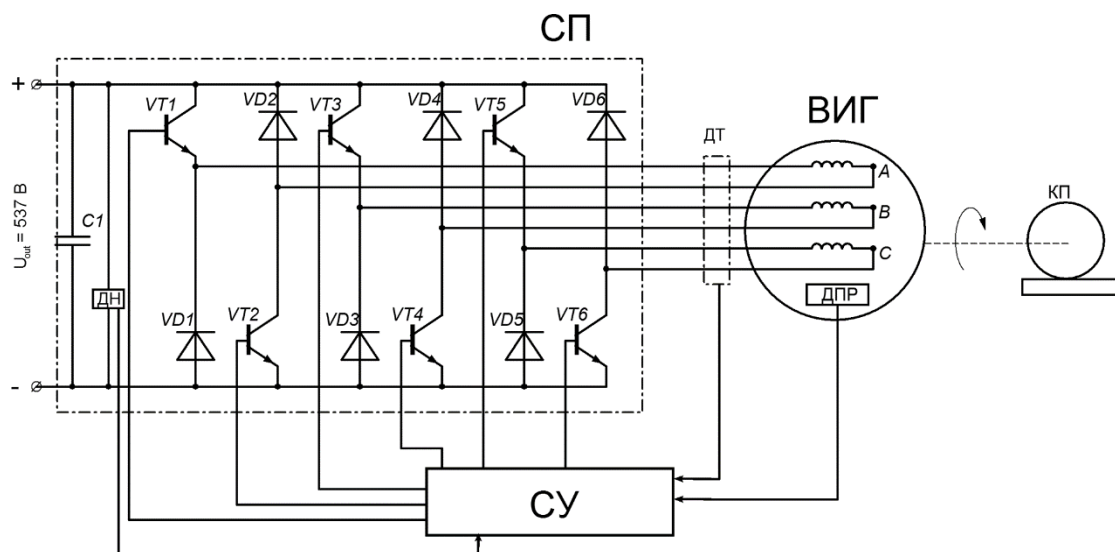


Рис. 3.14. Принципиальная схема трехфазного ВИГ

Механическая часть вагона, представленная как система твердых тел, состоит из кузова, двух рам тележек и четырех колесных пар, связанных между собой силовыми

элементами и сочленениями, имеющими конкретные кинематические свойства. Подвагонный генератор пассажирского вагона приводится во вращение от колесной пары при помощи зубчатого редуктора и крепится непосредственно к кузову (рис. 3.15).

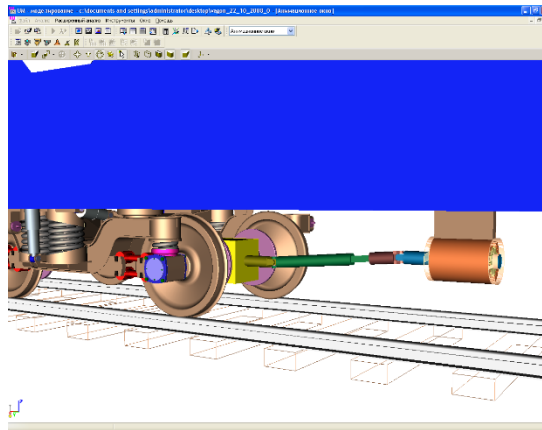


Рис. 3.15. Компьютерная модель «вагон – подвагонный ВИГ»

Работа с пакетом «Матлаб-Симулинк»

Модель разрабатывается на практических занятиях.

Основные режимы

Рассматриваются на лабораторных занятиях – для различных скоростей движения.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1 Зарифьян А.А., Бондарев А.П., Бузало Г.А. Математическое моделирование и системы автоматизированного проектирования транспортных средств: учеб. пособие. Часть 2. – Ростов н/Д: Рост. гос. ун-т путей сообщения, 2003.

2 Зарифьян А.А., Бондарев А.П., Кашиников В.Н. Математическое моделирование и системы автоматизированного проектирования транспортных средств. Часть 1: учеб. пособие. – Ростов н/Д: Рост. гос. ун-т путей сообщения, 2002.

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

4 Бахвалов Ю.А., Зарифьян А.А., Кашиников В.Н. и др. Моделирование электро-механической системы электровоза с асинхронным тяговым приводом / под ред. Е.М. Плохова. – М.: Транспорт, 2001.

5 Научно-периодическое издание «Локомотив» (ежемесячно).

6 Научно-периодическое издание «Железнодорожный транспорт» (ежемесячно).

7 Научно-периодическое издание «Железные дороги мира» (ежемесячно).

8 Методическое обеспечение с самостоятельной работы студентов по дисциплинам кафедры «Локомотивы и локомотивное хозяйство»: учебно-методический комплекс / под ред. А.С. Шапшала; Рост. гос. ун-т путей сообщения. – Ростов н/Д, 2010. – 152 с.

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. 20,68.
Тираж экз. Изд. № 90858. Заказ .

Редакционно-издательский центр ФГБОУ ВО РГУПС.

Адрес университета: 344038, г. Ростов н/Д, пл. Ростовского Стрелкового
Полка Народного Ополчения, д. 2