

**МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА
ФИЛИАЛ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ в г. Саратове
(филиал СамГУПС в г.Саратове)**

**Методические рекомендации
по проведению практических занятий профессионального модуля
ПМ.01 Эксплуатация и техническое обслуживание подвижного
состава (тепловозы и дизель-поезда)**

**МДК 01.02 Эксплуатация подвижного состава (тепловозы и
дизель-поезда) и обеспечение безопасности движения поездов**

Тема 2.4 Основы локомотивной тяги

для специальности

**23.02.06 Техническая эксплуатация подвижного состава
железных дорог**

направление подготовки: тепловозы и дизель-поезда

Саратов 2023

ОДОБРЕНО

на заседании ЦМК 23.02.06

«Техническая эксплуатация подвижного
состава железных дорог»

Протокол №1 от «31» августа 2023г.

Председатель _____ / Д.К. Гусев /

УТВЕРЖДЕНО

на заседании методического совета

Протокол №1 от «21» сентября 2023 г.

Зам. директора по УР

_____ /С.А. Крижановский/

Составитель (автор)

Красноружский Александр Сергеевич, преподаватель высшей
квалификационной категории филиала Сам ГУПС в г. Саратове

Рецензенты:

Внутренний Плотников Михаил Станиславович, преподаватель высшей
квалификационной категории филиала Сам ГУПС в г. Саратове

Содержание

Пояснительная записка.....	3
Практическое занятие № 1 «Расчёт силы тяги по сцеплению при различных скоростях»	7
Практическое занятие № 2 «Пересчет электромеханических характеристик тягового электродвигателя (ТЭД)».....	10
Практическое занятие № 3 «Построение тяговой характеристики локомотива и действующих ограничений»	15
Практическое занятие № 4 «Решение тормозных задач»	19
Практическое занятие № 5 «Расчет массы поезда».....	26
Практическое занятие № 6 «Расчет расхода топлива»	32
Список использованных источников	36

Пояснительная записка

Методические рекомендации по проведению практических занятий составлены в соответствии с примерной программой профессионального модуля ПМ.01 Эксплуатация и техническое обслуживание подвижного состава по специальности 23.02.06 Техническая эксплуатация подвижного состава железных дорог (тепловозы и дизель-поезда), с рабочей программой профессионального модуля ПМ.01 Эксплуатация и техническое обслуживание подвижного состава по специальности 23.02.06 Техническая эксплуатация подвижного состава железных дорог (тепловозы и дизель-поезда).

Методические рекомендации являются руководством для проведения практических занятий ПМ.01 МДК 01.02 Тема 2.4 Основы локомотивной тяги.

На освоение ПМ.01 МДК 01.02 Тема 2.4 Основы локомотивной тяги отведено максимальной учебной нагрузки 108 часов, в том числе:

- количество обязательных часов по учебному плану – 74;
- количество часов на практические занятия – 14;
- количество часов на лабораторные работы – 18;
- количество часов на самостоятельную работу – 34.

В ходе освоения профессионального модуля обучающийся должен:
иметь практический опыт:

ПО.1 Эксплуатации, технического обслуживания и ремонта деталей, узлов, агрегатов, систем подвижного состава железных дорог с обеспечением безопасности движения поездов

уметь:

У.1 определять конструктивные особенности узлов и деталей подвижного состава;

У.2 обнаруживать неисправности, регулировать и испытывать оборудование подвижного состава;

У.3 определять соответствие технического состояния оборудования подвижного состава требованиям нормативных документов;

У.4 выполнять основные виды работ по эксплуатации, техническому обслуживанию и ремонту подвижного состава;

У.5 управлять системами подвижного состава в соответствии с установленными требованиями;

знать:

3.1 конструкцию, принцип действия и технические характеристики оборудования подвижного состава;

3.2 нормативные документы по обеспечению безопасности движения поездов;

3.3 систему технического обслуживания и ремонта подвижного состава. Результатом освоения программы профессионального модуля является овладение профессиональными (ПК) и общими (ОК) компетенциями:

ПК 1.1 Эксплуатировать подвижной состав железных дорог

ПК 1.2 Производить техническое обслуживание и ремонт подвижного состава железных дорог в соответствии с требованиями технологических процессов.

ПК 1.3 Обеспечивать безопасность движения подвижного состава.

ОК 1 Понимать сущность и социальную значимость своей будущей профессии, проявлять к ней устойчивый интерес

ОК 2 Организовывать собственную деятельность, выбирать типовые методы и способы выполнения профессиональных задач, оценивать их эффективность и качество

ОК 3 Принимать решение в стандартных и нестандартных ситуациях и нести за них ответственность

ОК 4 Осуществлять поиск и использование информации, необходимой для эффективного выполнения профессиональных задач, профессионального и личностного развития

ОК 5 Использовать информационно-коммуникационные технологии в профессиональной деятельности

ОК 6 Работать в коллективе и команде, эффективно общаться с

коллегами, руководством, потребителями

ОК 7 Брать на себя ответственность за работу членов команды (подчиненных), за результат выполнения заданий

ОК 8 Самостоятельно определять задачи профессионального и личностного развития, заниматься самообразованием, осознанно планировать повышение квалификации

ОК 9 Ориентироваться в условиях частой смены технологий в профессиональной деятельности

Целью практических занятий является закрепление теоретических знаний по междисциплинарному курсу и приобретение студентами практических навыков по эксплуатации и ремонту подвижного состава.

Практические занятия проводятся в кабинете «Технической эксплуатации железных дорог и безопасности движения».

Перед выполнением заданий практического занятия студент обязан:

- проработать теоретический материал, необходимый для усвоения знаний и приобретения умений,
- ознакомиться с порядком выполнения работы.

Задания практических занятий выполняются студентами индивидуально. К выполнению заданий допускаются студенты, прошедшие инструктаж по технике безопасности с соответствующим оформлением в журнале по проведению инструктажа.

По ходу выполнения заданий при возникновении вопросов студент может получить консультацию у преподавателя или самостоятельно воспользоваться лекционным, справочным материалом и рекомендуемой литературой.

Результатом выполнения заданий практического занятия является оформленный отчёт о проделанной работе. Отчёт должен содержать:

- тему и цель работы;
- задание;
- выполненная работа в соответствии с содержанием отчёта;
- вывод.

В случае, если студент отсутствовал на практическом занятии, то ему предоставляется возможность выполнить задания на дополнительных занятиях.

Практическое занятие № 1

«Расчёт силы тяги по сцеплению при различных скоростях»

Цель: научиться производить расчёт силы тяги по сцеплению при различных скоростях.

Оборудование: таблица расчётов, лист миллиметровой бумаги, калькулятор.

Краткие теоретические сведения:

В Правилах тяговых расчетов для поездной работы приведены эмпирические (экспериментальные) формулы, по которым определяют расчетные коэффициенты сцепления, полученные по результатам обработки опытных данных для различных типов локомотивов в зависимости от скорости движения v . Эти формулы имеют следующий вид:

для тепловозов:

$$\psi_k = 0,118 + \frac{5}{27,5 + v} \quad (1)$$

где ψ_k – коэффициент сцепления;

v – скорость движения, км/ч.

в кривых малого радиуса R (менее 800 м):

$$\psi_{kкр} = \psi_k \frac{3,5R}{400 + 3R} \quad (2)$$

где $\psi_{kкр}$ – коэффициент сцепления в кривой;

R – радиус кривой, м.

При расчетах силу тяги по сцеплению $F_{к\text{сц}}$, Н, определяют по формуле:

$$F_{к\text{сц}} = 1000 \cdot m_{л} \cdot g \cdot \psi_k \quad (3)$$

Задание практического занятия:

Рассчитать и построить зависимость силы тяги по сцеплению колёсных пар с рельсами двенадцатиосного тепловоза 2ТЭ116 массой 276 т при движении со скоростями $v_1, v_2, v_3, v_4, v_5, v_6, v_7, v_8$. Определить силу тяги локомотива по сцеплению в кривой радиусом R при скорости движения v .

Исходные данные:

Таблица 1.1

Скорости движения, $v_1, v_2, v_3, v_4, v_5, v_6, v_7, v_8$, км/ч	Скорость движения в кривой, v , км/ч	Радиус кривой, R , м

Таблица заполняется в соответствии с индивидуальным вариантом задания.

Порядок выполнения:

1. Получить задание и ознакомиться с целью работы.
2. Изучить задание.
3. Используя конспект (методические указания по выполнению заданий практического задания), произвести вычисления, построить графики.
4. Оформить отчёт

Методические указания по выполнению задания практического занятия № 1

1. Заносим в таблицу 1.2 заданные значения скорости движения и скорость движения в кривой. Для каждого значения скорости определяем по формуле (1) коэффициент сцепления ψ_k (с округлением до трёх знаков) и заносим в таблицу 1.2.
2. Для каждого значения коэффициент сцепления ψ_k определяем по формуле (3) силу тяги по сцеплению $F_{k\text{сц}}$ и заносим в таблицу 1.2.
3. На миллиметровой бумаге построить график зависимости силы тяги по сцеплению колесных пар с рельсами от скорости движения $F_{k\text{сц}}(v)$.
4. Для заданного значения скорости движения в кривой определяем по формуле (3) коэффициент сцепления $\psi_{k\text{кр}}$ в кривой.
5. Для рассчитанного значения коэффициент сцепления $\psi_{k\text{кр}}$ в кривой определяем по формуле (3) силу тяги по сцеплению $F_{k\text{сц}}$.

Содержание отчёта:

1. Рассчитайте по формулам ψ_k для заданных скоростей (с округлением до трёх знаков), заполните таблицу 1.2.

Таблица 1.2

v , км/ч	ψ_k	$F_{k\text{ сц}}$, кН
v_1		
v_2		
...		
v		
...		
v_8		

2. Рассчитайте по формулам $F_{k\text{ сц}}$ для заданных скоростей (с округлением до 1 кН), заполните таблицу 1.2.

3. Постройте график $F_{k\text{ сц}}(v)$.

4. Рассчитайте коэффициент сцепления в кривой $\psi_{k\text{ сц}}$ и силу тяги по сцеплению в кривой $F_{k\text{ сц}}$.

5. Сделать вывод.

6. Письменно ответить на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы:

1. Что характеризует коэффициент сцепления?
2. Что определяет силу тяги по сцеплению?

Практическое занятие № 2

«Пересчет электромеханических характеристик тягового электродвигателя (ТЭД)»

Цель: научиться производить пересчет электромеханических характеристик тягового электродвигателя (ТЭД) при изменении передаточного отношения редуктора и диаметра колёсных пар локомотива.

Оборудование: график скоростных и электротяговых характеристик ТЭД ЭД118, таблица расчётов, лист миллиметровой бумаги, калькулятор.

Краткие теоретические сведения:

Зависимость скорости движения v , силы тяги на ободах колёсной пары $F_{\text{кд}}$ и к.п.д. η от тока электродвигателя $I_{\text{д}}$ при неизменном напряжении и постоянной температуре обмоток тяговых электродвигателей называют электромеханическими характеристиками, отнесённые к ободам колёс.

Скорость определяется формулой:

$$v=0,188 \times D \times n / \mu \quad (4)$$

где D – диаметр колёсной пары;

n – частота вращения колёсной пары;

μ - передаточное отношение редуктора.

Эта формула показывает, что при одной и той же частоте вращения якоря скорость движения больше при большем диаметре колёс и меньшем передаточном отношении зубчатой передачи.

Чтобы найти связь между скоростью движения и током $I_{\text{д}}$, подставим в формулу 1 значение частоты вращения.

Тогда скорость

$$v=0,188 \times \frac{D}{\mu} \times \frac{U_{\text{д}} - I_{\text{д}} \times r}{C_1 \times \Phi} \quad (5)$$

Обозначив постоянные для данного локомотива параметры через $C=C_1 \times \mu / (0,188D)$, получим, что скорость:

$$v = \frac{U_d - I_d \times r}{C \times \Phi} \quad (6)$$

Зависимость скорости движения от тока тягового электродвигателя называют скоростной характеристикой.

Касательную силу тяги определяют по формуле:

$$F_{кд} = 2 \times M \times \mu \times \eta / D \quad (7)$$

Таким образом, при одинаковом вращающем моменте на валу тягового электродвигателя сила тяги будет больше при большем передаточном отношении μ и меньших диаметрах колёс.

Зависимость силы тяги на ободах колёс колёсной пары от тока тягового электродвигателя называют электротяговой характеристикой.

Из формул (4) и (7) видно, что скоростная и электротяговая характеристики зависят от передаточного отношения редуктора и диаметров колёс. Если передаточное отношение локомотива в процессе эксплуатации не меняется, то диаметры колёс уменьшаются из-за износа и обточках.

В практике бывают случаи, когда тяговые электродвигатели одного и того же типа используют на разных локомотивах, имеющих различные передаточные отношения редукторов.

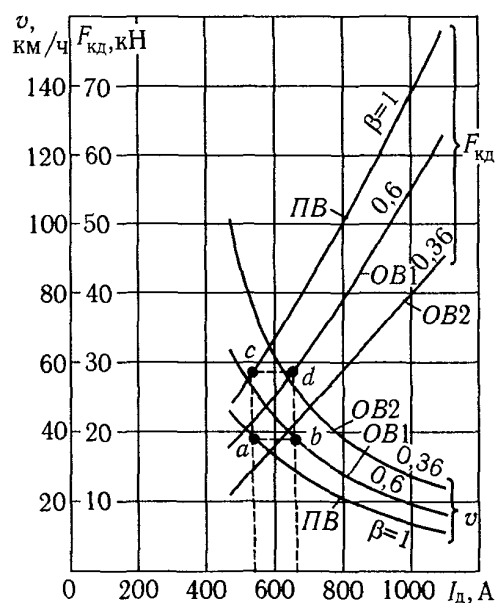


Рисунок 2.1 – Скоростные и электротяговые характеристики
ТЭД ЭД118А

Задание практической занятия:

На рисунке 2.1 даны скоростные и электротяговые характеристики тягового двигателя ЭД118А 2ТЭ116 при диаметре движущего колеса $D_1=1050$ мм и передаточном отношении зубчатой передачи $\mu=4,41$.

Требуется построить скоростные и электротяговые характеристики этого электродвигателя при диаметре движущего колеса $D_2=1000$ мм и передаточном отношении зубчатой передачи $\mu=2,22$.

Исходные данные:

Таблица 2.1

Серия локомотива	Диаметр движущего колеса, D_1 , мм	Передаточное отношение зубчатой передачи, μ_1	Диаметр движущего колеса, D_2 , мм	Передаточное отношение зубчатой передачи, μ_2

Таблица заполняется в соответствии с индивидуальным вариантом задания.

Порядок выполнения:

1. Получить задание и ознакомиться с целью работы.
2. Изучить задание.
3. Используя конспект (методические указания по выполнению заданий практического занятия), произвести вычисления, построить графики.
4. Оформить отчёт

Методические указания по выполнению задания практического занятия № 2

1. По кривым ОВ2 находим значения v_1 и $F_{кд1}$ при токах 500, 550, 600, 650, 700, 750, 800, 850, 900, 950, 1000А и заносим в таблицу 2.2
2. Для каждого значения тока берём скорость v_1 и по формуле:

$$v_2 = \frac{D_2}{D_1} \times \frac{\mu_1}{\mu_2} v_1 \quad (8)$$

определяем скорость v_2 при том же токе, но изменённом диаметре колеса и передаточном числе зубчатой передачи.

3. Силу тяги для изменённого диаметра колеса и передаточного числа зубчатой передачи пересчитываем по формуле:

$$F_{\text{кд}2} = \frac{D_1}{D_2} \times \frac{\mu_2}{\mu_1} F_{\text{кд}1} \quad (9)$$

4. Построить на миллиметровой бумаге скоростную и электротяговую характеристики ЭД-118А тепловоза 2ТЭ116 при диаметре движущего колеса $D_1=1050$ мм и передаточном отношении зубчатой передачи $\mu=4,41$.

5. Построить на миллиметровой бумаге скоростную и электротяговую характеристики ЭД-118А тепловоза 2ТЭ116 при диаметре движущего колеса $D_2=1000$ мм и передаточном отношении зубчатой передачи $\mu=2,22$.

Содержание отчёта:

1. Рассчитайте по формулам v_2 и $F_{\text{кд}2}$, заполните таблицу 2.2.

Таблица 2.2

$I_d, \text{ А}$	Заданные значения		Полученные значения	
	$v_1, \text{ км/ч}$	$F_{\text{кд}1}, \text{ кН}$	$v_2, \text{ км/ч}$	$F_{\text{кд}2}, \text{ кН}$
500				
550				
600				
650				
700				
750				
800				
850				
900				
950				
1000				

2. Постройте график скоростной и электротяговой характеристик.
3. Сделать вывод на основании построенных характеристик.
4. Письменно ответить на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы:

1. Дать определение, что такое электромеханические характеристики ТЭД.
2. Пояснить, почему необходимо производить перерасчёт электромеханических характеристик.
3. Как увеличить скорость локомотива?

Практическое занятие № 3

«Построение тяговой характеристики локомотива и действующих ограничений»

Цель: научиться порядку построения тяговой характеристики локомотива и нанесению действующих ограничений.

Оборудование: график скоростных и электротяговых характеристик ТЭД ЭД118, таблица расчётов, лист миллиметровой бумаги, калькулятор.

Краткие теоретические сведения:

Скоростная и электротяговая характеристики позволяют определить силу тяги при данной скорости движения в такой последовательности: по скорости находят ток тягового электродвигателя I_d , а по нему силу тяги, развиваемую колёсной парой. Однако для определения сил, действующих на поезд, необходимо определять силу тяги непосредственно от скорости движения. Для этого пользуются тяговой характеристикой, показывающей зависимость силы тяги тепловоза F_k от скорости движения v .

Тяговую характеристику локомотива строят по скоростной и электротяговой характеристикам следующим образом.

Практически из электромеханических характеристик, отнесённых к ободу колеса, задаются током I_{d1} и определяют скорость движения v_1 и силу тяги F_{kd1} . Затем эту силу умножают на число тяговых электродвигателей или движущих колёсных пар и получают по формуле силу тяги локомотива F_{k1} . Значение скорости откладывают по оси абсцисс графика, а силу тяги F_{k1} по оси ординат. Полученная точка с координатами и F_{k1} находится на тяговой характеристике тепловоза.

Аналогично задаются токами I_{d2} , I_{d3} и находят скорости движения v_2 , v_3 , силы тяги F_{kd2} , F_{kd3} , а затем рассчитывают силы тяги F_{k2} , F_{k3} и находят точки для построения тяговой характеристики и т.д. Соединив полученные точки плавной кривой, получают тяговую характеристику. Обычно берут 8-10 точек, причём на скоростных характеристиках точки берут чаще в местах резкого изменения

направления линии и реже при небольших изгибах характеристик с обязательным использованием точек, соответствующих номинальным (часовому и продолжительному) режимам. Каждому способу возбуждения тягового электродвигателя соответствует своя тяговая характеристика, однако все они показывают снижение силы тяги F_k при увеличении скорости.

Задание практического занятия:

На рисунке 1.1 приведены скоростные и электротяговые характеристики тягового двигателя ЭД118А 2ТЭ116 при диаметре движущего колеса $D=1050$ мм и передаточном отношении зубчатой передачи $\mu=4,41$. Масса тепловоза 2ТЭ116 $m_d=276$ т. Рассчитайте и постройте тяговые характеристики тепловоза 2ТЭ116.

Исходные данные:

Таблица 3.1

Серия локомотива	Масса локомотива, m_d , т	Диаметр движущего колеса, D , мм	Передаточное отношение зубчатой передачи, μ

Таблица заполняется в соответствии с индивидуальным вариантом задания.

Порядок выполнения:

1. Получить задание и ознакомиться с целью работы.
2. Изучить задание.
3. Используя конспект (методические указания по выполнению задания практического занятия), произвести вычисления, построить графики.
4. Оформить отчёт

Методические указания по выполнению задания практического занятия № 3:

1. По кривым скоростной и электротяговой характеристики определяют значения I_d и F_{kd} при скорости 15, 20, 30, 32, 38, 40, 46, 50, 58, 70, 80, 90, 100 км/ч и заносим в таблицу 3.2

2. Определяют силу тяги локомотива F_k , кН, равную произведению силы тяги, реализуемой каждой колёсной парой, на число движущих колёсных пар или тяговых электродвигателей, по формуле:

$$F_k = n_l \times F_{kd}, \quad (10)$$

где n_l – число тяговых электродвигателей локомотива или движущих колёсных пар.

3. Строят на миллиметровой бумаге тяговые характеристики тепловоза зависимость F_k , кН от v , км/ч

4. Рассчитывают ограничения по сцеплению:

а) Ограничения по скорости у тепловоза 2ТЭ116 является его конструкционная скорость равная 100 км/ч.

б) Известно, что $F_k \leq F_{сц}$, а сила сцепления определяется по формулам (3) и (4):

Подставляя значение v , определяют силу сцепления, а значит и наибольшую силу тяги, то есть это и будет ограничение по сцеплению.

Расчёты записывают в таблицу 3.3

5. Полученные значения $F_{сц}$ наносят на кривую силы тяги от скорости.

Содержание отчёта:

1. Рассчитайте по формулам F_k , заполните таблицу 3.2.

Таблица 3.2

Тепловоз 2ТЭ116, $m_l=276$ т, $D=1050$ мм, $\mu=4,41$									
v , км/ч	ПВ			ОВ1			ОВ2		
	I_d , А	F_{kd} , кН	F_k , кН	I_d , А	F_{kd} , кН	F_k , кН	I_d , А	F_{kd} , кН	F_k , кН
15									
20									
...									
100									

2. Постройте график тяговой характеристики.

3. Рассчитайте ограничение по сцеплению, заполните таблицу 3.3.

Таблица 3.3

v , км/ч	ψ	$F_{\text{сц}}$, кН
0		
10		
20		
30		
40		
50		
60		

4. Постройте ограничения по сцеплению на одном графике.

5. Сделать вывод по графику:

- расчётная сила тяги: $F_k = \underline{\hspace{2cm}}$ кН;
- расчётная скорость движения $v_p = \underline{\hspace{2cm}}$ км/ч;
- переход НВ - ОВ1: $\underline{\hspace{2cm}}$ км/ч;
- переход ОВ1 – ОВ2: $\underline{\hspace{2cm}}$ км/ч

6. Письменно ответить на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы:

1. Что называется касательной силой тяги?
2. Чем ограничивается касательная сила тяги?
3. Какое должно быть соотношение между касательной силой тяги и силой тяги по сцеплению?

Практическое занятие № 4

«Решение тормозных задач»

Цель работы:

приобрести практические навыки по решению тормозных задач.

Оборудование: таблицы, калькулятор, миллиметровая бумага, линейка, треугольник.

Краткие теоретические сведения:

Тормозные средства поезда, создающие тормозные силы, определяют уровень безопасности движения поездов. Поэтому процесс торможения поездов необходимо рассмотреть более подробно. При торможении поезда тормозная сила возникает не сразу после поворота рукоятки крана машиниста в тормозное положение. Требуется время на распространение воздушной волны по тормозной магистрали поезда, срабатывание воздухораспределителей, перемещение тормозной рычажной передачи до соприкосновения тормозных колодок до установившегося значения. В связи с тем, что воздухораспределители вагонов головной части срабатывают раньше воздухораспределителей хвостовой части, головная часть поезда начинает тормозить раньше, а хвостовая – позднее. Тормозная сила вагонов, таким образом, возникает через некоторое время, постепенно увеличиваясь до установившегося значения. В расчётах это увеличение тормозной силы условно заменяют мгновенным скачком тормозной силы, происходящим после поворота рукоятки крана машиниста в тормозное положение через время t_n . Его называют временем подготовки тормозов к действию. В течение времени принимают движение поезда равномерным. За это время поезд пройдёт пути S_n называемый подготовительным тормозным или предтормозным путём. Путь, проходимый поездом с действующими тормозами, называют действительным тормозным путём S_d .

Таким образом, тормозной путь, проходимый от поворота рукоятки крана машиниста до остановки поезда S_t , равен сумме подготовительного и

действительного тормозных путей:

$$S_T = S_{\pi} + S_d \quad (11)$$

Поскольку режим торможение является важнейшим в обеспечении безопасности движения поездов, тормозным расчётам уделяют большое внимание и сводят их к решению тормозных задач. При этом приходится иметь дело с длиной тормозного пути S_T , наличием тормозных средств в поезде, определяемых расчётным тормозным коэффициентом ϑ_p , начальной v_n и конечной v_k скоростями движения и уклонами i . Конечную скорость обычно принимают равной нулю. Из этих пяти параметров определяют один из четырёх заданных, используя аналитический или графический метод решения уравнения движения поезда. В зависимости от того, какую величину из пяти определяют, тормозные задачи подразделяются на три типа:

первый тормозная задача сводится к определению длины тормозного пути по заданным значениям v_n , v_k , ϑ_p и i .

вторая тормозная задача рассчитывает допустимые скорости движения v_n на различных уклонах i , исходя из условия остановки поезда в пределах заданного тормозного пути S_T при заданном значении ϑ_p .

третья тормозная задача определяет, сколько тормозных средств нужно иметь в поезде (или какой должен быть ϑ_p), чтобы поезд, движущийся с заданной скоростью v_n , можно было остановить на заданном уклоне i в пределах тормозного пути S_T .

Задание практического занятия:

Определить тормозной путь при экстренном торможении грузового поезда на приведённом уклоне (спуске) i (выбрать среднее значение из заданного приведённого профиля, см. лабораторной работе № 4) со скорости 50 км/ч до остановки при движении по звеньевому пути на участке ст.А – ст.Б. Расчёт произвести аналитическим и графическим методом.

Исходные данные:

Таблица 4.1

Серия локомоти ва	Масса локомотива, мл, т	Состав поезда		Масса		Масса состав а, тс, т	Расчётный тормозной коэффициент ϑ_p	Приведё нный уклон, i , ‰	Начальная скорость, v_n , км/ч
		4-осных вагонов, p_1 , %	8-осных вагонов, p_2 , %	4-осных вагонов, m_4 , т	8-осных вагонов, m_8 , т				

Для заполнения таблица исходными данными необходимо проанализировать исходные данные из лабораторных работ № 1-4 и внести необходимые значения.

Порядок выполнения:

1. Получить задание и ознакомиться с целью работы.
2. Изучить задание.
3. Используя конспект (методические указания по выполнению задания практического задания), произвести вычисления, построить графики.
4. Оформить отчёт

Методические указания по выполнению задания практического занятия № 4:

1. Рсчёт длины подготовительного тормозного пути выполняется следующим образом:

1.1 Определяем число осей в составе по формуле:

$$n_c = \frac{p_8 \times m_c}{100 \times m_{\text{во8}}} + \frac{p_4 \times m_c}{100 \times m_{\text{во4}}}, \quad (12)$$

где p_8 , p_4 – процентное содержание в составе соответственно восьмиосных, четырёхосных вагонов;

m_c – масса состава, т;

$m_{\text{во8}}$, $m_{\text{во4}}$ – масса, т, приходящаяся на ось соответственно восьмиосного, четырёхосного вагона. определяются по формулам (12) и (14) [2].

1.2 Определяем время подготовки тормозов t_n по формулам:

для грузовых составов длиной 200 колёсных пар (осей) и менее

$$t_n = 7 - \frac{10 \times i}{100 \times \vartheta_p \times \varphi_{кр}}, \quad (13)$$

для грузовых составов длиной более 200 до 300 осей

$$t_n = 10 - \frac{15 \times i}{100 \times \vartheta_p \times \varphi_{кр}}, \quad (14)$$

где i – приведённый уклон;

ϑ_p – расчётный тормозной коэффициент поезда;

$\varphi_{кр}$ – расчётный коэффициент трения колодки о колесо при наибольшей скорости движения (при $v_n = 50$ км/ч $\varphi_{кр} = 0,016$).

1.3 Подготовительный тормозной путь рассчитываем по формуле:

$$S_{п} = \frac{v_n \times t_n}{3,6} = 0,278 \times v_n \times t_n \quad (15)$$

где t_n – время подготовки тормозов, с;

3,6 – коэффициент, учитывающий соотношение между единицами скорости км/ч и м/с.

2. Для определения действительного тормозного пути S_d необходимо для каждого интервала скорости ($\Delta v = 5$ км/ч) графа 1 таблицы 4.2 определить среднее значение скорости $v_{ср}$ (графа 2) и рассчитать $\omega_{ох}$, $\varphi_{кр}$, и b_t для $v_{ср}$ в каждом интервале скоростей.

2.1 Основное удельное сопротивление движению локомотива ω_x рассчитываем по формуле (9) [2] для $v_{ср}$ в каждом интервале скоростей.

2.2 Сопротивление движению состава ω''_0 при $v_{ср}$ в каждом интервале скоростей определяем по формулам (15) [2].

2.3 Основное удельно сопротивление движению поезда определяем по формуле (28) для $v_{ср}$ в каждом интервале скоростей.

Результаты расчётов сводим в таблицу 4.2.

2.4 Расчётный коэффициент трения чугунных колодок о колёса $\varphi_{кр}$ определяем по формуле (1) [2] для $v_{ср}$ в каждом интервале скоростей.

2.5 Удельную тормозную силу b_t рассчитываем по формуле (20) [2] для $v_{ср}$ в каждом интервале скоростей.

2.6 Отрезки тормозного пути ΔS в каждом нтервале скоростей определяем по формуле:

$$\Delta S = \frac{500 \times (v_2^2 - v_1^2)}{\zeta \times (b_T + \omega_{0x} + i)} \quad (16)$$

где v_2, v_1 – начальная и конечная скорости в каждом интервале скоростей, км/ч;
 ζ – замедление поезда, при действии удельной замедляющей силы в 1 Н/кН,
 для грузового поезда $\zeta = 120 \frac{\text{км/ч}^2}{\text{Н/кН}}$.

2.7 Действительный тормозной путь S_d определяем по формуле:

$$S_d = \sum \Delta S \quad (17)$$

Результат округлить до метров.

3. Тормозной путь поезда определяем по формуле (11).

4. Для определения тормозного пути графическим методом по данным таблицы 4.2 построим диаграмму удельных замедляющих сил при экстренном торможении в одном из масштабов (приложение 3), ось абсцисс: $b_T + \omega_{0x}$, Н/кН; ось ординат: v , км/ч (рисунок 4.1, а). Рядом, справа, строят систему координат с тем же масштабом ось абсцисс: S , м; ось ординат v , км/ч (рисунок 4.1, б). Оси скоростей v в обеих системах координат должны быть параллельны, а оси удельных сил $b_T + \omega_{0x}$ и пути S должны лежать на одной прямой.

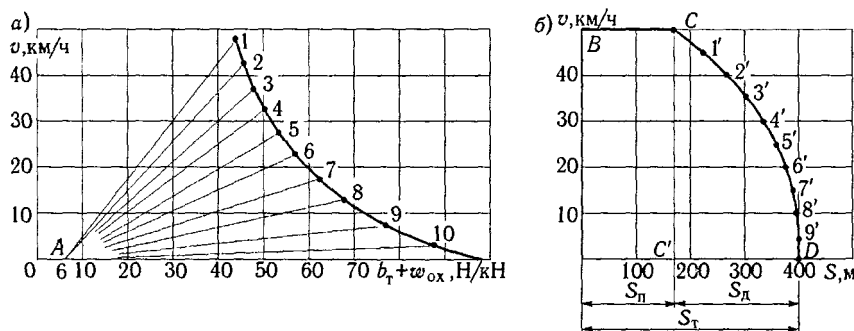


Рисунок 4.1 – Решение первой тормозной задачи

На второй системе координат при скорости $v=50$ км/ч от оси ординат откладываем отрезок BC , равный S_n (см. п. 2.3). Из точки C строим кривую $v(S)$ при действующих тормозах. Для этого на рисунке 5.1,а находим на оси абсцисс точку A , соответствующую спуску i ‰. К точке A и к точкам 1...10 прикладываем линейку и на рисунке 4.1, б проводим перпендикулярные к ней линии в каждом интервале скоростей $C - 1', 1' - 2', \dots, 9' - D$. В результате

получаем ломаную линию, близкую к кривой. На оси абсцисс отрезок OC' соответствует приведённому тормозному пути, $C'D$ – действительному тормозному пути S_d , $O'D$ – тормозному пути поезда.

Содержание отчёта:

1. Рассчитать длину подготовительного тормозного пути $S_{п.}$
2. Рассчитать длину действительного тормозного пути S_d (заполнить таблицу 4.2).

Таблица 4.2

$v_2 \dots v_1$, км/ч	$v_{ср}$, км/ч	ω_x , Н/кН	ω''_{04} , Н/кН	ω''_{08} , Н/кН	ω''_0 , Н/кН	ω_{0x} , Н/кН	$\varphi_{кр}$	b_T , Н/кН	ΔS
50...45									
45...40									
40...35									
35...30									
30...25									
25...20									
20...15									
15...10									
10...5									
5...0									
S_d , Н/кН									

3. Рассчитать тормозной путь поезда S_T .
4. Определить тормозной путь графическим методом.
5. Сделать вывод
6. Письменно ответить на контрольные вопросы

Контрольные вопросы:

1. Какие силы называются тормозными силами поезда?

2. От каких величин зависит тормозная сила поезда?
3. От каких факторов зависит время подготовки тормозов?

Практическое занятие № 5

«Расчет массы поезда»

Цель работы:

получить практические навыки по расчёту массы грузового поезда и проверке его по условиям трогания с места на руководящем подъёме и по длине приёмоотправочных железнодорожных путей станций.

Оборудование: калькулятор.

Краткие теоретические сведения:

Масса состава является одним из важнейших показателей, влияющих на эффективность работы железной дороги. Увеличение масс составов в допустимых пределах позволяет повысить провозную способность железнодорожных линий, снизить себестоимость и повысить экономичность перевозок, улучшить использование силы тяги и мощности локомотива, снизить расход топлива на тягу поездов. Чрезмерно большая масса состава вызывает преждевременный выход из строя оборудования локомотива.

Поэтому массу грузового состава рассчитывают исходя из полного использования силы тяги локомотива при движении по наиболее тяжёлому подъёму, а затем проверяют по условиям трогания на отдельных пунктах, возможности расположения поезда в пределах длины приёмоотправочных железнодорожных путей на железнодорожных станциях и нагреванию тяговых электродвигателей или генераторов.

Перед расчётом массы состава грузового поезда анализируют профиль железнодорожного пути на участке и выбирают наиболее тяжёлый для движения поезда подъём, называемый расчётным, с учётом его крутизны и крутизны уклонов, прилегающих к нему элементов пути. Если наиболее крутой подъём имеет большую протяжённость, и при движении по нему скорость будет снижаться и достигнет установившегося наименьшего значения, допустимого ПТР, то такой подъём и принимают за расчётный. Наименьшую допустимую ПТР скорость движения по подъёму называют расчётной

скоростью, а реализуемую при этом локомотивом силу тяги – расчётной силой тяги. Если же наиболее крутой подъём имеет небольшую протяжённость, а на подходах к нему расположены элементы, на которых поезд может разогнаться и создать запас кинетической энергии, то скорость на нём снижается, но установиться не успевает. Тогда выбор расчётного подъёма усложняется, и массу поезда определяют с учётом использования запасённой в нём кинетической энергии.

На расчётном подъёме учитывают дополнительное сопротивление движению от спрямлённого подъёма и кривых, которые заменяют фиктивными подъёмами в пределах спрямлённого элемента. Если на наиболее трудном подъёме длиной более длины поезда находится одна или несколько кривых малого радиуса, то спрямлённые элементы разбивают на элементы, длина которых должна быть не более длины поезда. За расчётный подъём принимают тот из полученных приведённых элементов, на котором дополнительное сопротивление от кривой получено наибольшим. В том случае, когда отличие в крутизне приведённых элементов не превышает 0,3‰, длину их можно принимать и больше длины поезда. Расчётную силу тяги и расчётную скорость локомотива устанавливают по тяговой характеристике исходя из возможно более полного использования мощности локомотива с учётом ограничений силы тяги.

Расчётную силу тяги и расчётную скорость тепловоза устанавливают по тяговой характеристике на последней позиции контроллера машиниста, соответствующей полному использованию мощности дизеля при токе продолжительного режима.

Так как расчётная сила тяги и расчётная скорость определяют массу состава на данном участке и, следовательно, влияют на технико-экономические показатели работы дорог, их значения утверждены ОАО «РЖД» для основных серий локомотивов.

Задание практического занятия:

Определить массу состава грузового поезда при движении по звеньевому пути на участке ст.А – ст.Б с установившейся скоростью на расчётном подъёме i_p . Проверить может ли локомотив тронуть с места состав. Определить, может ли установиться в пределах станционных путей поезд.

Исходные данные:

Таблица 5.1

Серия локомотива	Масса локомотива,	Состав поезда		Масса		Длина				Расчётная сила тяги,	Расчётная скорость,	Расчётный подъём,	Сила тяги при трогании с места,	Длина локомотива.
		4-осных вагонов,	8-осных вагонов,	4-осных вагонов,	8-осных вагонов,	4-осных вагонов,	8-осных вагонов,	станции А	станции В					
	м, т	p_4 , %	p_8 , %	m_4 , т	m_8 , т	l_4 , м	l_8 , м	$l_{ст А}$, м	$l_{ст В}$, м					
2ТЭ116						12	21			496000	24,2		797000	36

Для заполнения таблица исходными данными необходимо проанализировать исходные данные из лабораторных работ № 1- 4 и внести необходимые значения.

Порядок выполнения:

1. Получить задание и ознакомиться с целью работы.
2. Изучить задание.
3. Используя конспект (методические указания по выполнению задания практического занятия), произвести вычисления, построить графики.
4. Оформить отчёт

Методические указания по выполнению задания практического занятия № 5:

1. Расчёт массы состава m_c выполняется следующим образом:
 - 1.1 Определяем основное удельное сопротивление движению локомотива ω'_0 для расчётной скорости v_p по формуле (10) [2].
 - 1.2 Определяем основное удельное сопротивление движению состава ω''_0 при v_p по формулам (15) [2].

1.3 Определяем массу состава m_c , т, по формуле:

$$m_c = \frac{F_{кр} - (\omega_0' + i_p) \times m_{л} \times g}{(\omega_0'' + i_p) \times g}, \quad (18)$$

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

i_p – расчётный подъём, ‰;

g – ускорение свободного падения, м/с².

2. Проверка массы состава по условиям трогания поезда с места выполняется следующим образом:

2.1 Определяем удельное сопротивление движению вагонов при трогании с места по формуле:

для 4-осных вагонов

$$\omega_{тр4} = \frac{142}{m_{во4} + 7}, \quad (19)$$

для 8-осных вагонов

$$\omega_{тр8} = \frac{142}{m_{во8} + 7}, \quad (20)$$

2.2 Определяем удельное сопротивление движению состава при трогании с места по формуле:

$$\omega_{тр} = \frac{p_4 \times \omega_{тр4} + p_8 \times \omega_{тр8}}{100}, \quad (21)$$

2.3 Определяем массу состава $m_{с тр}$, т, по формуле:

$$m_{с тр} = \frac{F_{к тр}}{(\omega_{тр} + i_{тр}) \times g} - m_{л}, \quad (22)$$

где $F_{к тр}$ – сила тяги локомотива при трогании, Н;

$\omega_{тр}$ – удельное сопротивление состава при трогании, Н/кН;

$i_{тр}$ – подъём места трогания (расчётный подъём), ‰;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

$m_{л}$ – масса локомотива, т.

2.4 Сделать вывод: если масса состава по условиям трогания $m_{с\ тр}$ окажется больше массы состава m_c , рассчитанной по условиям движения на наиболее тяжёлом подъёме, то поезд может тронуться с места остановки. В том случае, когда $m_{с\ тр} < m_c$, трогание невозможно.

3. Расчёт длины поезда выполняют следующим образом:

3.1 Определяем число вагонов в составе по формуле:

для 4-осных вагонов

$$n_4 = \frac{m_c}{m_4} \times \frac{p_4}{100}, \quad (23)$$

для 8-осных вагонов

$$n_8 = \frac{m_c}{m_8} \times \frac{p_8}{100}, \quad (24)$$

3.2 Определяем длину поезда $l_{п}$, м по формуле:

$$l_{п} = n_{л} \times l_{л} + n_4 \times l_4 + n_8 \times l_8, \quad (25)$$

где $n_{л}$ – число локомотивов;

$l_{л}$ – длина локомотива, м;

n_4, n_8 – число 4-осных и 8-осных вагонов;

l_4, l_8 – длина 4-осных и 8-осных вагонов, м.

4. Для проверки массы состава по длине станционных путей используется условие:

$$l_{п} + 10м > l_{ст}, \quad (26)$$

где 10м – учитывает неточность установки поезда.

Если это условие выполняется, то поезд установится в пределах станции, иначе необходимо пропустить эту станцию без остановки или уменьшить длину поезда на x м.

Содержание отчёта:

1. Рассчитать массу состава m_c .
2. Выполнить расчёты для проверки массы состава по условиям трогания поезда с места.
3. Рассчитать длину поезда $l_{п}$.

4. Выполнить расчёты для проверки массы по длине станционных путей.
5. Сделать вывод.
6. Письменно ответить на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы:

1. Какой метод используется при расчёте массы состава грузового поезда?
2. Какая скорость называется расчётной?
3. Какие проверки производятся при расчёте массы состава грузового поезда?

Практическое занятие № 6

«Расчет расхода топлива»

Цель работы:

приобрести практические навыки расчёта расхода топлива на тягу поездов.

Оборудование: спрямлённый и приведённый профиль пути с графиками кривой скорости, кривой времени и кривой тока, график тепловых характеристик тяговых электродвигателей ЭД118А.

Краткие теоретические сведения:

При работе тепловоза или дизель-поезда энергия, заключённая в топливе расходуется на совершение работы по преодолению сил основного и дополнительного сопротивлений, на покрытие потерь в тормозах, дизель-генераторной установке и передаче и на собственные нужды. При расчётах отдельно выделяют расход топлива на стоянках с включённым дизелем и на передвижение по железнодорожным станционным и деповским путям. Массу топлива, расходуемого на движение поезда в учёт собственных нужд, определяют экспериментально для каждой серии тепловозов или дизель-поездов исходя из времени работы дизеля в режиме тяги на различных положениях рукоятки контроллера машиниста с потреблением различного количества топлива и времени работы дизеля на холостом ходу.

Задание практического занятия:

Определить общий и удельный расходы натурального и условного топлива тепловозом при движении поезда по спрямлённому профилю пути на участке ст.А – ст.Б.

Исходные данные:

Таблица 6.1

Серия локомотива	Масса состава,	Масса топлива, расходуемого на холостом ходу в одну минуту	Длина участка ст. А – ст. Б,	Тепловой эквивалент,
	мс, т	g _x , кг/мин	l, км	Э
		0,5		1,43

Для заполнения таблица исходными данными необходимо проанализировать исходные данные из предыдущих практических занятия и лабораторных работ и внести необходимые значения.

Порядок выполнения:

1. Получить задание и ознакомиться с целью работы.
2. Изучить задание.
3. Используя конспект (методические указания по выполнению задания практического занятия), произвести вычисления, построить графики.
4. Оформить отчёт

Методические указания по выполнению задания практического занятия № 6:

1. Расход дизельного топлива на тягу поезда определяем по формуле:

$$E = G_1 \times \Delta t_1 + G_2 \times \Delta t_2 + \dots + g_x \times \Delta t_x = \Sigma G_i \times \Delta t_i + g_x \times \Delta t_x, \quad (27)$$

где E – масса топлива, расходуемая на передвижение состава, кг;

G_1 , G_2 , G_i – масса топлива, расходуемая тепловозом при средней скорости движения в режиме тяги в одну минуту, кг/мин;

Δt_1 , Δt_2 , Δt_i – время работы дизеля с данной средней скоростью, мин;

g_x – масса топлива, расходуемого тепловозом на холостом ходу в одну минуту, кг/мин;

Δt_x – время работы по участку на холостом ходу и время стоянки, мин.

Для этого в таблицу 6.2 в графу 1 заносят участки кривой $v(S)$, в графу 2 начальную и конечную скорости на этих участках, для графы 3 вычисляют

средние скорости на участках, в графу 4 заносят время движения на каждом участке, в графу 5 режим движения на участке: тяга, холостой ход, торможение, в графу 6 вносят в режиме тяги значение G (определяется по рисунку 6.1) или в режиме холостого хода, торможения значение g_x (исходные данные), в графе 7 вычисляют, используя значения граф 4 и 6.

Суммируя значения графы 4 и 7 получаем соответственно время движения на участке ст.А – ст.Б и общий расход топлива (массу) при движении на участке ст.А – ст.Б.

2. Удельный расход натурального топлива e , кг/(10⁴×км), определяется по формуле:

$$e = \frac{E}{m_c \times L} \times 10^4, \quad (28)$$

где E – расход топлива на перемещение поезда, кг;

m_c – масса состава, кг;

L – длина участка, км.

3. Удельный расход удельного топлива e_y , кг/(10⁴×км), определяется по формуле:

$$e_y = e \times \mathcal{E}, \quad (29)$$

где $\mathcal{E}$ – тепловой эквивалент, $\mathcal{E}=1,43$.

Содержание отчёта:

1. Определить расход топлива E на участке ст.А – ст.Б (заполнить таблицу 6.2)

Таблица 6.2

Участок кривой $v(S)$	$v_{нач} \dots v_{кон}$, км/ч	$v_{ср}$, км/ч	Δt или t_x , мин	Режим работы тепловоза	G или g_x , кг/мин	$G \times \Delta t$ или $g_x \times t_x$, кг
1	2	3	4	5	6	7
О – А(1)						
А(1) – В(2)						
			$\Sigma=$		$\Sigma=$	

2. Определить удельный расход натурального топлива e .
3. Определить удельный расход условного топлива e_y .
4. Сделать вывод.
5. Письменно ответить на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы:

1. Как определить расход топлива на участке?
2. Как определить расход удельного натурального топлива на участке?
3. Как определить расход удельного условного топлива на участке?

Список использованных источников

Основные источники:

1 Красноружский, А.С. Курс лекций по ПМ 01 МДК 01.02 Тема 2.4 Основы локомотивной тяги для специальности 23.02.06 Техническая эксплуатация подвижного состава железных дорог (тепловозы и дизель-поезда). – Саратов. Филиал СамГУПС в г.Саратове, 2019.- 117с.

2 Методические рекомендации по выполнению лабораторных работ ПМ.01 МДК 01.02 Тема 2.4 Основы локомотивной тяги для специальности 23.02.06 Техническая эксплуатация подвижного состава железных дорог (тепловозы и дизель-поезда) – Саратов. Филиал СамГУПС в г.Саратове, 2019.- 47с.

Дополнительные источники:

1. **Гордиенко, А.В.** Выполнение технического обслуживания и ремонта тепловозов и дизель-поездов. Конструкция, техническое обслуживание и ремонт подвижного состава (тепловозы и дизель-поезда) / А.В. Гордиенко, И.А. Куш, М.М. Силко - Москва : ФГБУ ДПО «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2018. - 832 с. - ISBN 978-5-906938-82-4- Текст : непосредственный

2. **Дайлидко, А.А.** Конструкция тепловозов, дизель-поездов и рельсовых автобусов: учеб. пособие / А. А. Дайлидко, - Москва : ФГБУ ДПО «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2018.- 455 с.- ISBN 978-5-906938-91-6 – Текст : непосредственный

3. **Елистратов, А.В.** Тормозные системы подвижного состава железных дорог / А.В. Елистратов. – Москва : ФГУП ДПО «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2021.-304 с. - ISBN978-5-907206-76-2. – Текст : непосредственный

4. **Кузнецов, К. В.** Техническая эксплуатация тягового подвижного состава железных дорог. Тепловозы: учебное пособие / К. В. Кузнецов, С. А. Пильник - Москва : ФГБУ ДПО «Учебно-методический центр по образованию

на железнодорожном транспорте», 2022. - 208 с. - ISBN 978-5-907479-35-7 –
Текст : непосредственный

5. **Соломатин, А.В.** Электрическое оборудование тягового подвижного состава железных дорог / А.В. Соломатин. – Москва : ФГУП ДПО «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2021.- 216 с.- ISBN 978-5-907206-76-2.- Текст : непосредственный

6. Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации : официальное издание : утверждены приказом Минтранса России № 250 от 23.06.2022 : введены в действие 01.08.2022. - Москва : 2022. – Текст : непосредственный.

7. Правила технического обслуживания тормозного оборудования и управления тормозами железнодорожного подвижного состава : официальное издание : утверждены Советом по железнодорожному транспорту государств – участников Содружества от 6-7 мая 2014 : введены в действие 01.01.2015. - Москва : 2015. – Текст : непосредственный.

Приложение 1

Инструктаж при охране труда (при работе с оборудованием)

Приступая к выполнению практических работ, необходимо соблюдать следующие правила по охране труда:

В учебном кабинете:

- приступать к разборке и сборке узлов локомотива только в присутствии преподавателя;
- пользоваться для разборки и сборки узлов локомотива только исправными инструментами;
- не бросать детали на пол.

На полигоне:

- при осмотре оборудования не смещать его руками с места установки;
- при разборке и сборке узлов локомотива пользоваться только исправным инструментом;
- визуальный осмотр тележки, колёсных пар производиться только при наличии тормозных башмаков.

Приложение 2

Исходные данные:

№ варианта	Скорости движения, v1, v2, v3, v4, v5, v6, v7, v8, км/ч	Скорость движения в кривой, v, км/ч	Радиус кривой, R, м
1	0, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60	32	750
2	0, 5, 15, 25 35, 45, 55, 60	43	700
3	0, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60	35	320
4	0, 5, 15, 25 35, 45, 55, 60	47	600
5	0, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60	38	300
6	0, 5, 15, 25 35, 45, 55, 60	41	760
7	0, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60	37	760
8	0, 5, 15, 25 35, 45, 55, 60	46	300
9	0, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60	33	760
10	0, 5, 15, 25 35, 45, 55, 60	44	350
11	0, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60	36	740
12	0, 5, 15, 25 35, 45, 55, 60	45	760
13	0, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60	38	300
14	0, 5, 15, 25 35, 45, 55, 60	31	350
15	0, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60	48	750
16	0, 5, 15, 25 35, 45, 55, 60	42	800
17	0, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60	34	750
18	0, 5, 15, 25 35, 45, 55, 60	39	750
19	0, 5, 15, 25 35, 45, 55, 60	38	760
20	0, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60	41	350
21	0, 5, 15, 25 35, 45, 55, 60	37	740
22	0, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60	46	760
23	0, 5, 15, 25 35, 45, 55, 60	33	300
24	0, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60	44	350
25	0, 5, 15, 25 35, 45, 55, 60	36	750
26	0, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60	45	800
27	0, 5, 15, 25 35, 45, 55, 60	32	750
28	0, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60	43	750
29	0, 5, 15, 25 35, 45, 55, 60	35	750
30	0, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60	47	700
31	0, 5, 15, 25 35, 45, 55, 60	31	320
32	0, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60	48	600
33	0, 5, 15, 25 35, 45, 55, 60	42	300
34	0, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60	34	760
35	0, 5, 15, 25 35, 45, 55, 60	39	760
36	0, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60	49	300

№ варианта	Масса состава, m_c , т	Состав поезда	
		4-осных вагонов, p_4 , %	8-осных вагонов, p_8 , %
1	5000	20	80
2	3150	25	75
3	4000	30	70
4	3000	35	75
5	4700	40	60
6	3100	45	55
7	3250	50	50
8	4300	55	45
9	3750	60	40
10	3900	65	35
11	3200	70	30
12	4150	75	25
13	4900	80	20
14	3300	20	80
15	4350	25	75
16	3800	30	70
17	3650	35	75
18	3400	40	60
19	4400	45	55
20	3550	50	50
21	4050	55	45
22	4200	60	40
23	3500	65	35
24	4450	70	30
25	4800	75	25
26	3950	80	20
27	4250	20	80
28	3700	25	75
29	4650	30	70
30	4500	35	75
31	3450	40	60
32	3850	45	55
33	4100	50	50
34	3600	55	45
35	3350	60	40
36	4600	65	35

№ элемента	Вариант № 1 $h_0=720$					Вариант № 2 $h_0=450$				
	длина	уклон	центр. угол	радиус кривой	длина кривой	длина	уклон	центр. угол	радиус кривой	длина кривой
Ст.А. 1	1100	0				1100	0			
2	1000	+7	62			1000	-3	54		
3	1100	+6		900	700	1200	-4		800	900
4	900	+5	30			900	-5	56		
5	700	0	30			600	0	31		
6	600	-5		1000	300	400	+6	31		
7	500	-3				500	+7	50		
8	500	-4	50			800	0			
9	3200	+12				900	-4	60		
10	1100	0	29			3000	+12			
11	800	+8	29			700	0	32		
12	1000	+7				600	+4	32		
13	900	+6	52			700	+3		900	500
Ст.Б. 14	1200	0				1200	0			
Вариант № 3 $h_0=545$						Вариант № 4 $h_0=250$				
Ст.А. 1	1100	0				1200	0			
2	800	-6	60			900	+3	58		
3	600	-5				1000	+4		850	700
4	700	-4	32			800	+5	31		
5	500	+10	32	1000	700	600	0	31		
6	900	0				800	-5			
7	3400	+13				900	-6	30		
8	400	0	31			500	0	30		
9	800	-4	31	600	300	700	-4		600	400
10	500	-3				3200	+10			
11	400	0				1400	0	46		
12	1000	+7	52			900	+7			
13	1100	+8	54			800	+6	50		
Ст.Б. 14	1200	0				1200	0			
Вариант № 5 $h_0=735$						Вариант № 6 $h_0=642$				
Ст.А. 1	1200	0				1100	0			
2	1100	+6				500	-4	54		
3	1000	+5	54			600	-5			
4	1200	+7	31			400	-6	30		
5	500	0	31			500	0	30		
6	600	-3		700	400	800	+9		1000	600
7	700	-4	58			1000	+8		800	500
8	900	0				800	0			
9	2800	+12				500	-5	52		
10	800	0	30			3200	+11			
11	900	+5	30			500	0	32		
12	1000	+6		800	900	800	+7	32		
13	700	+4	64			900	+6	62		
Ст.Б. 14	1100	0				1200	0			
Вариант № 7 $h_0=158$						Вариант № 8 $h_0=343$				
Ст.А. 1	1200	0				1300	0			
2	800	+4				900	-5			
3	900	+3	56			800	-6	56		
4	700	+5	29			1000	-7	31		
5	500	0	29			700	0	31		
6	600	-6				1000	+9		700	600
7	900	-5	48			1100	+8	58		
8	800	-4		800	600	800	+7	30		
9	1000	0		700	800	900	0	30		

10	2900	+9				2500	+13			
11	1200	0	30			1400	0			
12	1000	+8	30			600	+7	48		
13	900	+7	54			700	+6		1000	500
Ст.Б. 14	1100	0				1100	0			
	Вариант № 9 $h_0=270$					Вариант № 10 $h_0=536$				
Ст.А. 1	1200	0				1100	0			
2	800	+6	64			900	+8			
3	600	+5				1000	+7	52		
4	700	+4				800	+6		900	500
5	500	0	31			500	0	31		
6	900	-5	31			600	-4	31		
7	2800	+11				700	-5			
8	400	0				1100	0	56		
9	800	+4	32			3000	+10			
10	500	+3	32	700	500	900	0	32		
11	900	0				700	+5	32		
12	1000	-7	60	900	800	900	+4	60		
13	1100	-8				800	+3		700	400
Ст.Б. 14	1200	0				1200	0			
	Вариант № 11 $h_0=245$					Вариант № 12 $h_0=455$				
Ст.А. 1	1100	0				1200	0			
2	700	+3	54			800	-3	54		
3	600	+4	56			900	-4		700	500
4	1200	0		1000	700	700	-5	30		
5	3000	+13				500	0	30		
6	900	+2	31			600	+3			
7	600	0	31			900	+5	48		
8	500	-6	50			800	+4		900	600
9	800	-7		700	500	3300	+9			
10	500	0	32			600	0	29		
11	900	+4	32			1000	-8	29		
12	1100	+5				900	-7	56		
13	1000	+3	60			800	-6			
Ст.Б. 14	1300	0				1200	0			
	Вариант № 13 $h_0=760$					Вариант № 14 $h_0=365$				
Ст.А. 1	1300	0				1100	0			
2	500	+4				1000	-7		900	800
3	600	+5	62			1100	-6	52		
4	400	+6		700	300	900	-5	29		
5	500	0	32			600	0	29		
6	900	-9	32			600	+5			
7	1000	-8				500	+4	60		
8	900	+5		900	800	2900	+12			
9	800	0	52			500	0	30		
10	2800	+11				800	-8	30		
11	500	0	30			1000	-7	62		
12	800	-7	30			900	-6			
13	900	-6	54			700	+4		700	400
Ст.Б. 14	1200	0				1200	0			
	Вариант № 15 $h_0=630$					Вариант № 16 $h_0=135$				
Ст.А. 1	1200	0				1200	0			
2	1100	+9				800	+7	58		
3	900	+8	58			900	+6	31		
4	400	0	31			1000	0	31		
5	600	-5	31	900	500	3100	+13			
6	700	-4				700	0	30		

7	1000	0				500	-7	30		
8	3100	+10				600	-5		600	300
9	1100	0	32			800	0			
10	400	+7	32			1000	+4	46		
11	500	+6				800	+5	54		
12	400	+5	56	1000	400	900	-2	50		
13	600	+4				700	-3			
Ст.Б. 14	1100	0				1100	0			
Вариант № 17 $h_0=260$						Вариант № 18 $h_0=130$				
Ст.А. 1	1200	0				1200	0			
2	1200	-9	56			1100	6			
3	900	-8				1000	+7	54		
4	400	0	32			900	+5	31		
5	600	+5	32			500	0	31		
6	700	+4		1000	400	600	-3		900	400
7	800	0	58			700	-4	58		
8	2900	+12				3200	+11			
9	800	0	31			1000	0	30		
10	400	-7	31			800	+6	30		
11	500	-6				1000	+8	58		
12	400	-5	60			900	+2			
13	600	-4		800	500	700	+3	56		
Ст.Б. 14	1100	0				1100	0			
Вариант № 19 $h_0=570$						Вариант № 20 $h_0=362$				
Ст.А. 1	1200	0				1100	0			
2	900	-3	50			900	+4			
3	1000	-4				700	+3	52		
4	800	-5	46			800	+5		700	500
5	600	0	30			1000	0	31		
6	500	+5	30			700	-5	31		
7	600	+6		700	400	600	-4			
8	500	0				800	-6	60		
9	400	+4		800	300	500	0		1000	300
10	3000	+9				3000	+11			
11	400	0	31			900	0	32		
12	900	-7	31			1000	-7	32		
13	800	-6	58			1100	-8	58		
Ст.Б. 14	1100	0				1200	0			
Вариант № 21 $h_0=441$						Вариант № 22 $h_0=535$				
Ст.А. 1	1200	0				1100	0			
2	1100	-8	56			500	+5			
3	1000	-7	32			400	+7	58		
4	500	0	32			600	+4		800	400
5	600	+4		900	400	500	+6	31		
6	700	+5				1000	0	31		
7	800	-3	60			3100	+11			
8	3100	+10				900	0	32		
9	400	0	31			500	+2	32		
10	700	-5	31			600	+3			
11	900	-4				400	0	28		
12	800	-3	52	700	500	1200	-8	28		
13	600	-6				900	-9	60		
Ст.Б. 14	1100	0				1300	0			
Вариант № 23 $h_0=625$						Вариант № 24 $h_0=733$				
Ст.А. 1	1200	0				1200	0			
2	900	-5	48			1000	+3	60		
3	800	-6		1000	700	1100	+4		1000	800

4	1000	-7	30			900	+5	32		
5	400	0	30			500	0	32		
6	1000	+2				400	-6			
7	1100	0	58			500	-7	50		
8	800	-2		900	500	800	+4	31		
9	500	0				900		31		
10	3500	+10				3000	+9			
11	400	0	31			400	-4		700	300
12	600	-2	31			500	-3	56		
13	700	-4	56			700	-5	54		
Ст.Б. 14	1100	0				1200	0			
Вариант № 25 $h_0=439$						Вариант № 26 $h_0=562$				
Ст.А. 1	1200	0				1300	0			
2	900	-4		1000	700	600	+6			
3	1000	-3				300	+5	64		
4	800	-2	56			400	+4		700	300
5	400	0	21			500	0	58		
6	800	+2	21			900	-7			
7	500	+5	64			800	-6	52		
8	600	+6				400	0		700	200
9	500	+4	52			800	+6	54		
10	3200	+9				3000	+10			
11	400	0				500	0	30		
12	900	-8	56			700	-6	30		
13	800	-6		700	500	900	-5	64		
Ст.Б. 14	1100	0				1100	0			
Вариант № 27 $h_0=354$						Вариант № 28 $h_0=140$				
Ст.А. 1	1200	0				1300	0			
2	1100	-6				1000	+7		900	800
3	1000	-7	58			800	+6	62		
4	600	0	31			900	+8	30		
5	800	+8	31	1000	700	1000	0	30		
6	700	+6				2400	+13			
7	3000	+12				600	-4	50		
8	500	0				500	-5	29		
9	800	-5	32			1100	0	29		
10	1000	-6	32			900	+5			
11	900	-7		800	500	1000	+4	52		
12	400	0	56			800	+6			
13	600	+2				1200	-2		700	900
Ст.Б. 14	1200	0				1100	0			
Вариант № 29 $h_0=635$						Вариант № 30 $h_0=742$				
Ст.А. 1	1100	0				1200	0			
2	800	-3	52			800	+6	54		
3	900	-7				900	+7	52		
4	500	0		700	400	1500	0		1000	900
5	500	+4	60			2500	+11			
6	900	+5		1000	700	500	0	31		
7	1000	+6	54			800	-9	31		
8	500	0	48			1000	-8			
9	3300	+9				600	0	32		
10	600	0	31			400	+6	32		
11	900	-6	31			700	+5		600	400
12	700	-7	56			500	0			
13	800	-5				800	+2	60		
Ст.Б. 14	1200	0				1100	0			

Приложение 3

Таблица 3.1 – Масштабы для построения графиков

Величина	Значения масштаба, мм		
	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
Сила 1 Н/кН	12	6	10
Скорость 1 км/ч	2	1	2
Путь 1 км	40	20	48
Постоянная Δ	30	30	25
Время 1 ч	600	600	600
Время 1 мин	10	10	10