

Рецензент —

канд. техн. наук, доц. А. В. СКАЛИН

13/12
МИНИСТЕРСТВО ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ
ВСЕРОССИЙСКИЙ ЗАОЧНЫЙ ИНСТИТУТ
ИНЖЕНЕРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Одобрено кафедрой
Тепловозов и тепловозного
хозяйства

ТЕОРИЯ ЛОКОМОТИВНОЙ ТЯГИ

Задание на курсовую работу
с методическими указаниями
для студентов V курса

специальности

17.09. ЛОКОМОТИВЫ

специализации

17.09.02. УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИЕЙ
ЛОКОМОТИВОВ

Канд. техн. наук, доц. Н. М. ХУТОРЯНСКИЙ
ТЕОРИЯ ЛОКОМОТИВНОЙ ТЯГИ

Задание на курсовую работу

Редактор В. И. Чучева
Техн. редактор Н. Н. Соловьева
Корректор О. И. Вартанян

Сдано в набор 6.08.1991. Подписано в печать 5.03.1992. Тираж 600.
Гарнитура литературная. Печать высокая. Формат 60×90¹/₁₆.
Печ. л. 2,25+вкл. Уч.-изд. л. 3. Тип. зак. 847. Изд. зак. 132. Бесплатно.

Редакционно-издат. отдел, типография ВЗИИТа,
125808, Москва, ГСП-47, Часовая ул., 22/2

Москва — 1992

7. Точность вычислений до 1% является достаточной для расчетов, поэтому допустимо использование для вычислений логарифмической линейки. Однако для ускорения вычислений желательно использование калькуляторов и электронных вычислительных машин.

8. Графическая часть работы выполняется на миллиметровой бумаге.

При изображении графических зависимостей следует:

а) на каждой графике иметь нулевую абсциссу и нулевую ординату;

б) графические зависимости вычерчивать аккуратно, остро заточенным карандашом;

в) оси координат выделить более толстой линией;

г) на осях координат проставлять буквенные обозначения откладываемых величин и их единицы измерения;

д) на осях координат нанести числовые шкалы в соответствии с принятыми масштабами изображения величин.

При построении графических зависимостей на миллиметровой бумаге начало координат следует выбирать в точке пересечения жирных линий; круглые значения числовых шкал на осях координат весьма желательно ставить против более жирных линий сетки.

9. Таблицы и графики необходимо вкладывать в тетрадь так же, как и страницы с текстом, в корешок тетради, не поворачивая их на 90°, чтобы ими удобно было пользоваться (не следует приклеивать графики и таблицы к полям страниц!). Вкладывать графики и таблицы в тетрадь нужно сразу же за той страницей, где есть касающиеся их пояснения.

10. Страницы работы, иллюстрации, таблицы и графики должны быть пронумерованы. Таблицы должны иметь наименования, иллюстрации и графики — подписуемые подписи.

11. Работу следует подписать и указать дату ее выполнения.

12. Готовая работа должна быть выслана в институт не позднее срока, установленного учебным планом.

После получения прорецензированной работы нужно независимо от того, зачтена она или не зачтена, исправить все ошибки и сделать требуемые дополнения. Если работа не зачтена, следует в кратчайший срок выполнить требования рецензента и выслать исправленную работу вместе с рецензией в институт для повторной проверки*. При этом не следует переписывать целиком работу или отдельные ее разделы; нельзя также производить исправления по написанному тексту.

* На обложке тетради в этом случае должна быть сделана надпись: «Работа исправлена» или «На повторное рецензирование».

сту; все исправления и дополнения должны быть сделаны на отдельных листах и вклеены или вшиты в соответствующие места работы. Стирать и зачеркивать замечания рецензента запрещается. Выполнив какое-либо исправление и получив новый числовой результат, следует, если это требуется, внести соответствующие поправки в дальнейшие расчеты.

Курсовые работы, в которых не соблюдены изложенные выше положения, а также работы, выполненные студентом не по своему варианту, не зачитываются.

Зачтенную работу с исправлениями и дополнениями, сделанными по требованию рецензента, следует сохранять, так как ее необходимо представить при защите.

Выполнение курсовой работы способствует лучшему усвоению учебного материала, в частности методов определения массы состава, принципов анализа профиля пути, расчетов по построению диаграмм удельных равнодействующих сил, анализа по этим диаграммам условий движения поезда, способов определения скорости и времени движения поезда по участку, расчетов по проверке нагрева обмоток тяговых электрических машин локомотивов и определению расходов топлива тепловозами на тягу поездов (общего и на измеритель перевозочной работы).

Для сдачи экзамена по дисциплине требуется не только знать материал, охватываемый курсовой работой, но и усвоить все теоретические и прикладные вопросы программы по этой дисциплине.

ЗАДАНИЕ НА КУРСОВУЮ РАБОТУ

В курсовой работе студент должен:

1. Провести анализ профиля пути и установить величину расчетного подъема.

2. Определить массу состава по выбранному расчетному подъему.

3. Проверить полученную массу состава на прохождение встречающихся подъемов большей крутизны, чем расчетный, с учетом использования накопленной кинетической энергии.

4. Проверить возможность трогания поезда с места при остановках на отдельных пунктах (станциях).

5. Выполнить проверку массы состава по длине приемо-отправочных путей отдельных пунктов заданного участка.

6. Спрямить профиль пути.

7. Составить таблицу и построить диаграммы удельных равнодействующих (ускоряющих и замедляющих) сил для режимов тяги, холостого хода и торможения.

8. Определить максимально допустимую скорость движе-

ния на наиболее крутом спуске участка при заданных тормозных средствах поезда.

9. Построить кривые скорости $v=f(s)$ и времени $t=f(s)$.

10. По кривой времени определить времена хода по перегонам и техническую скорость движения поезда на участке.

11. Проверить главный генератор или тяговые электродвигатели тепловоза на нагревание.

12. Определить расход топлива тепловозов — общий и на измеритель перевозочной работы.

Исходные данные выбираются студентом по последней цифре (табл. 1), а профиль участка — по предпоследней цифре шифра * (прил. 1). Эти данные, а также расчетные параметры заданного локомотива (из табл. 2) обязательно приводятся в начале работы.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Точность вычислений при выполнении расчетов должна в соответствии с Правилами тяговых расчетов для поездной работы (ПТР) [3] приниматься:

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 (промилле, ‰) — 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) и в километрах (для перегонов) — с одним знаком 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 — с округлением до

$$0,1 \frac{\text{кг}}{10^4 \text{ ткм}};$$

и) для токов с округлением до 5 А;

к) для перегонных времен хода — расчетное до 0,1 мин, для графика движения поездов с округлением до 1 мин;

л) для температур при расчетах электрических машин локомотивов на нагревание по отдельным элементам расчета до 0,01°C с округлением конечного результата до 1°C.

Таблица 1

Наименование данных	Исходные данные								
	Вариант (последняя цифра шифра)								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Локомотив	ТЭ3	2ТЭ10Л	3ТЭ3	2М62	3ТЭ10М	2ТЭ11Б	2ТЭ10М	3ТЭ10М	2ТЭ10М
Состав поезда в % по массе:									
8-осных вагонов	16	17	16	18	16	10	10	12	15
4-осных вагонов	84	83	84	82	84	90	90	88	85
Масса вагона брутто, т:									
8-осного	168	164	168	166	164	168	164	164	168
4-осного	86	86	88	88	88	88	88	88	86
Тормозных осей в составе, %	96	98	97	97	98	98	96	96	98
Длина приемо-от- правочных пу- тей $l_{\text{п.от.}}$, м	850	1250	1050	850	1550	1250	1250	1550	1250
Тормозные колод- ки									

Композиционные

Чугунные

1. **Расчетный подъем** — это наиболее трудный для движения в данном направлении элемент профиля пути, на котором достигается расчетная скорость, соответствующая расчетной силе тяги локомотива (см. ниже табл. 2). Если наиболее крутой подъем участка достаточно длинный, то он принимается за расчетный. Если же наиболее крутой подъем заданного участка имеет небольшую протяженность и ему предшествуют «легкие» элементы профиля (спуски, площадки), на которых поезд может развить высокую скорость, то такой подъем не может быть принят за расчетный, так как поезд преодолеет его за счет накопленной кинетической энергии. В этом случае за расчетный следует принять подъем меньшей крутизны, но большей протяженности, на котором может быть достигнута равномерная скорость. Например, для профиля № 4 (см. прил. 1) расчетным подъемом будет элемент, имеющий крутизну $i = +9\%$ и длину $s = 8000$ м, а не элемент крутизной $i = +12\%$ и длиной $s = 1500$ м, так как он небольшой длины и перед ним расположены спуски, позволяющие поезду подойти к этому подъему с большой скоростью.

2. **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.

Массу состава в т для выбранного расчетного подъема определяют по формуле

$$Q = \frac{F_{кр} - (w'_0 + i_p)Pg}{(w_0'' + i_p)g}, \quad (1)$$

где $F_{кр}$ — расчетная сила тяги локомотива, Н;

P — расчетная масса локомотива, т;

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

w_0'' — основное удельное сопротивление состава, Н/кН;

i_p — крутизна расчетного подъема, ‰;

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

Величины w'_0 и w_0'' определяют для расчетной скорости локомотива $v_{кр}$.

* Удельные силы отнесены к 1 кН веса поезда, состава, вагона, локомотива.

Расчетная скорость, расчетная сила тяги, масса локомотива и другие расчетные нормативы, взятые из [3], приведены в табл. 2.

Таблица 2

Расчетные нормативы локомотивов

Серия локомотива	Расчетная сила тяги $F_{кр}$, Н	Расчетная скорость v_p , км/ч	Расчетная масса P , т	Конструкционная скорость $v_{констр.}$, км/ч	Сила тяги при троянии с места $F_{кр}$, Н	Длина локомоти- ва $l_{л.}$, м	Число движущих колесных пар
ТЭЗ (две секции)	396000	20,5	254	100	571000	34	12
2М62 (две секции)	392000	20,0	240	100	700000	36	12
3ТЭЗ (три секции)	594000	20,5	381	100	856000	51	18
2ТЭ10Л (две секции)	496000	23,5	260	100	750000	34	12
2ТЭ10М (две секции)	496000	23,5	276	100	797000	34	12
3ТЭ10М (три секции)	744500	23,5	414	100	942000	51	18
2ТЭ116 (две секции)	496000	23,5	276	100	797000	36	12

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

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

Основное удельное сопротивление состава в Н/кН определяют по формуле

$$w_0'' = \alpha w_{04}'' + \beta w_{08}'', \quad (3)$$

где α , β — соответственно доли (не ‰!) 4- и 8-осных вагонов в составе по массе (см. табл. 1);

w_{04}'' — основное удельное сопротивление 4-осных груженых вагонов, Н/кН:

$$w_{04}'' = 0,7 + \frac{3 + 0,1 v + 0,0025 v^2}{q_{04}}, \quad (4)$$

w_{08}'' — основное удельное сопротивление 8-осных груженых вагонов:

$$w_{08}'' = 0,7 + \frac{6 + 0,038 v + 0,0021 v^2}{q_{08}}. \quad (5)$$

Здесь q_{04} , q_{08} — масса, приходящаяся на одну колесную пару соответственно 4- и 8-осного вагона, т/ось:

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

где q_4 , q_8 — масса брутто соответственно 4- и 8-осного вагона, т (см. табл. 1).

Вычисленную по формуле (1) массу состава следует в соответствии с ПТР округлить до 50 или 100 т.

3. Проверка рассчитанной массы состава на возможность надежного преодоления встречающегося на участке короткого подъема крутизной больше расчетного с учетом использования кинетической энергии, накопленной на предшествующих «легких» элементах профиля, выполняется аналитическим способом*. При этом используют расчетное соотношение

$$s = \frac{4,17 (v_k^2 - v_n^2)}{(f_k - w_k)_{cp}} \text{ м}, \quad (7)$$

где v_n — скорость в начале проверяемого подъема; выбирается из условий подхода к проверяемому элементу $i_{пр}$ (для грузовых поездов можно принимать $v_n = 70 \div 90$ км/ч, но не выше конструктивной скорости заданного локомотива);

v_k — скорость в конце проверяемого подъема. Эта скорость должна быть не менее расчетной, т. е. должно выдерживаться условие $v_k \geq v_p$. В курсовой работе рекомендуется принимать $v_k = v_p$.

Удельную силу тяги f_k и удельное сопротивление w_k

* Следует указать параметры проверяемого подъема: $i_{пр} = \dots$, $s_{пр} = \dots$

в пределах выбранного интервала изменения скоростей принимают равными их значениям при средней скорости рассматриваемого интервала:

$$v_{cp} = \frac{v_n + v_k}{2}. \quad (8)$$

Эти удельные силы вычисляют по формулам:

$$f_{kcp} = \frac{F_{kcp}}{(P + Q)g} \text{ Н/кН}; \quad (9)$$

$$w_{kcp} = \frac{(w'_{0cp} + i_{пр})Pg + (w''_{0cp} + i_{пр})Qg}{(P + Q)g}. \quad (10)$$

Значение силы тяги локомотива F_{kcp} для средней скорости v_{cp} определяют по тяговой характеристике локомотива (прил. 2 — см. вклейки). Для той же средней скорости определяют основное удельное сопротивление w'_{0cp} локомотива — по графикам в ПТР или по формуле (2), и основное удельное сопротивление w''_{0cp} состава — по формуле (3) с использованием формул (4) — (6).

Если полученное по формуле (7) расстояние больше или равно длине проверяемого подъема $s_{пр}$

$$s \geq s_{пр}, \quad (11)$$

то на этом проверка заканчивается и делается вывод о том, что при рассчитанной массе состава Q поезд надежно преодолевает проверяемый подъем, крутизной больше расчетного, с учетом использования накопленной к началу элемента кинетической энергии. Если же путь s , который может быть пройден за счет разгона, окажется короче длины проверяемого подъема $s_{пр}$, то необходимо уменьшить массу состава (для начала, например, на 100 т) и все расчеты по проверке массы состава на возможность прохождения подъема большей крутизны, чем расчетный, с учетом использования накопленной кинетической энергии повторить снова; уменьшение массы состава и последующий проверочный расчет следует производить до тех пор, пока не будет выдерживаться условие (11).

4. Проверка рассчитанной массы состава на трогание с места на отдельных пунктах заданного участка выполняется по формуле

$$Q_{тр} = \frac{F_{kтр}}{(w_{тр} + i_{тр})g} - P, \quad (12)$$

где $F_{\text{ктр}}$ — сила тяги локомотива при трогании состава с места, Н (см. табл. 2);
 $i_{\text{тр}}$ — крутизна наиболее трудного элемента на раздельных пунктах (станциях) заданного участка, ‰ (в сторону движения);
 $w_{\text{тр}}$ — удельное сопротивление поезда при трогании с места (на площадке), Н/кН;

$$w_{\text{тр}} = \alpha w_{\text{тр}4} + \beta w_{\text{тр}8}. \quad (13)$$

Здесь $w_{\text{тр}4}$ и $w_{\text{тр}8}$ — удельные сопротивления при трогании с места соответственно для 4- и 8-осных вагонов.

Для вагонов на подшипниках качения

$$w_{\text{тр}} = \frac{28}{q_0 + 7}. \quad (14)$$

В этой формуле q_0 — нагрузка от оси на рельсы для данной группы вагонов (при вычислении подставляются величины q_0 , полученные ранее по формулам (6)).

Масса состава $Q_{\text{тр}}$, полученная по условиям трогания с места, должна быть не менее массы состава Q , определенной по расчетному подъему, т. е. должно выдерживаться условие $Q_{\text{тр}} \geq Q$ (см. п. 2). Так как для проверки массы состава на трогание с места была выбрана станция, расположенная на наиболее трудном элементе, то в этом случае делается вывод о том, что трогание состава с места и разгон поезда обеспечены на всех раздельных пунктах участка.

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

Число вагонов в составе грузового поезда:

$$\text{а) 4-осных} \quad m_4 = \frac{\alpha Q}{q_4}; \quad (15)$$

$$\text{б) 8-осных} \quad m_8 = \frac{\beta Q}{q_8}. \quad (16)$$

Полученные количества вагонов необходимо округлить до целых числовых значений.

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

$$l_n = 20 m_8 + 17 m_6 + 15 m_4 + l_{\text{л}} + 10 \text{ м} \quad (18)$$

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

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

$$l_n \leq l_{\text{ноп}}, \quad (19)$$

где $l_{\text{ноп}}$ — длина прямо-отправочных путей, м (см. табл. 1).

Если длина поезда меньше (или равна) длины прямо-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 прямо-отправочных путей, указанной в задании, то масса состава уменьшается так, чтобы длина поезда равнялась длине прямо-отправочных путей на раздельных пунктах (при этом снова должны быть определены число вагонов в составе уменьшенной массы и соответствующая длина поезда и выполнено сопоставление последней с заданной длиной прямо-отправочных путей станций) *.

Для повышения точности результатов тяговых расчетов, а также для сокращения объема последних и, следовательно, времени на их выполнение необходимо **спрямлять профиль пути**.

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.

$$s_c = s_1 + s_2 + \dots + s_n, \quad (20)$$

а крутизна i'_c вычисляется по формуле

$$i'_c = \frac{i_1 s_1 + i_2 s_2 + \dots + i_n s_n}{s_1 + s_2 + \dots + s_n}, \quad (21)$$

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

* В настоящее время для увеличения провозной способности формируются поезда повышенной массы и длины, превышающей длину прямо-отправочных путей.

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

$$s_i \leq \frac{2000}{\Delta i}, \quad (22)$$

где s_i — длина спрямляемого элемента, м;
 Δi — абсолютная величина разности между уклоном спрямленного участка и уклоном проверяемого элемента, ‰, т. е. $|i'_c - i_i|$.

Проверке по формуле (22) 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 (22) окажется благоприятной (положительной).

Кривые на спрямленном участке заменяются фиктивным подъемом, крутизна которого определяется по формуле

$$i''_c = \frac{700}{s_c} \sum_{i=1}^n \frac{s_{кр i}}{R_i}, \quad (23)$$

где $s_{кр i}$ и R_i — длина и радиус кривых в пределах спрямленного участка, м.

Крутизна спрямленного участка с учетом фиктивного подъема от кривой

$$i_c = i'_c + i''_c. \quad (24)$$

Необходимо отметить, что знак крутизны уклона i'_c может быть и положительным (для подъемов), и отрицательным (для спусков); знак крутизны фиктивного подъема 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, подлежащих спрямлению, расчетный подъем, а также крутой подъем, для

которого выполнялась проверка возможности преодоления его поездом с учетом накопленной на предшествующих элементах кинетической энергии. Спрямленный профиль должен сохранить характерные особенности действительного профиля в смысле относительного расположения повышенных и пониженных точек.

Результаты расчетов по спрямлению заданного профиля пути сводятся в таблицу, составленную по форме табл. 3.

Порядок выполнения и оформления расчетов по спрямлению элементов профиля пути покажем на следующем примере. Имеются элементы профиля пути:

$$i_5 = -4,5 \text{ ‰}; S_5 = 500 \text{ м}; R_5 = 700 \text{ м}; s_{кр 5} = 450 \text{ м},$$

$$i_6 = -2,5 \text{ ‰}; S_6 = 1200 \text{ м}; R_6 = 1000 \text{ м}; s_{кр 6} = 500 \text{ м}.$$

$$i_7 = 0,0 \text{ ‰}; S_7 = 800 \text{ м};$$

Проверим возможность спрямления этих трех смежных элементов.

$$s_c = 500 + 1200 + 800 = 2500 \text{ м};$$

$$i'_c = \frac{(-4,5) \cdot 500 + (-2,5) \cdot 1200 + 0 \cdot 800}{2500} = -2,1 \text{ ‰};$$

$$\Delta i_5 = |-2,1 - (-4,5)| = 2,4 \text{ ‰};$$

$$\Delta i_6 = |-2,1 - (-2,5)| = 0,4 \text{ ‰};$$

$$\Delta i_7 = |-2,1 - 0| = 2,1 \text{ ‰};$$

$$s_5 = 500 \text{ м} < \frac{2000}{2,4} = 833,3 \text{ м} \quad \text{удовлетворяет неравенству};$$

$$s_6 = 1200 \text{ м} < \frac{2000}{0,4} = 5000 \text{ м} \quad \text{удовлетворяет неравенству};$$

$$s_7 = 800 \text{ м} < \frac{2000}{2,1} = 952,5 \text{ м} \quad \text{удовлетворяет неравенству}.$$

Все элементы профиля удовлетворяют условию, выраженному неравенством (22), следовательно, их спрямление допустимо.

Таблица спрямления профиля пути

№ элемента	Крутизна элемента тов i , ‰	Длина элемента s , м	Кривые		Длина спрямлен- ного участка s_c , м	Крутизна спрям- ленного участка i_c , ‰	Фиктивный подъем от крив- ных i'' , ‰	Суммарная крутизна спрямленного участка $i_c = i'_c + i''$, ‰	№ спрямлен- ных участков
			R , м	$s_{кр}$, м					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I									
II									
III									
IV									
V									
...									

Длина участка

 $\sum s_i = \dots$

Примечание. В столбцы 1—5 таблицы заносятся параметры всех элементов заданного профиля пути, взятые из соответствующей таблицы прил. 1. Если элемент заданного профиля не спрямляется, то он переносится на спрямленный профиль (учитывается фиктивный подъем от кривой, если она имеется). Участки спрямленного профиля следует разделить горизонтальными линиями (от столбца 6 до столбца 10). Внизу таблицы, под третьим столбцом следует указать суммарную длину заданного участка пути.

Фиктивный подъем от кривых

$$i''_c = \frac{700}{2500} \left(\frac{450}{700} + \frac{500}{1000} \right) = 0,32 ‰$$

Суммарная крутизна спрямленного участка $i_c = -2,1 + 0,32 = -1,78 ‰$.

Параметры спрямленного участка: $s_c = 2500$ м; $i_c = -1,78 ‰$.

Расчеты по обоснованию допустимости спрямления группы элементов профиля приводятся в курсовой работе только для случаев, когда спрямление допускается, т. е. когда результаты проверки на удовлетворение условию (22) положительны.

Примеры спрямления профиля пути рассмотрены в [1, 2, 4].

7. Для построения диаграммы удельных равнодействующих сил предварительно составляется таблица для трех режимов ведения поезда по прямому горизонтальному участку:

- а) для режима тяги $f_k - w_0 = f_1(v)$;
- б) для режима холостого хода $w_{ох} = f_2(v)$;
- в) для режима торможения:

при служебном регулировочном торможении $w_{ох} + 0,5 b_r = f_3(v)$,
при экстренном торможении $w_{ох} + b_r = f_4(v)$.

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

Во 2-й столбец заносятся значения силы тяги локомотива F_k для указанных в 1-м столбце скоростей. Значения силы тяги определяются по расчетной тяговой характеристике локомотива, приведенной в прил. 2. Скорости $v = 0$ км/ч (момент трогания поезда с места) соответствует значение силы тяги $F_{кр}$ (см. табл. 2).

Расчетную тяговую характеристику заданного локомотива необходимо вычертить на миллиметровой бумаге и привести в курсовой работе.

Основное удельное сопротивление локомотива при движении под током w_0' определяется по графикам, приведенным в [3 и 4], или по формуле (2). Основное удельное сопротивление состава w_0'' для занесенных в расчетную таблицу скоростей определяется по формуле (3) с использованием формул (4) — (6) или по графику $w_0'' = f(v)$, который может быть предварительно построен по трем точкам для скоростей 10,

[illegible]

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

Основные удельные сопротивления ω_0' , ω_x и ω_0'' можно определять, используя расчетные таблицы, приведенные в [4].

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

где P — расчетная масса локомотива, т;
 Q — масса состава, т.

Величины ω_0' , ω_x , ω''_0 и ω_{0x} определяются указанным путем для скорости v , 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 в Н/кН вычисляют по формуле:

где $\varphi_{кр}$ — расчетный коэффициент трения колодок о колесо:
при чугунных колодках

$$\varphi_{\kappa p} = 0,27 \frac{v + 100}{5v + 100}; \quad (28)$$

при композиционных колодках.

$$\varphi_{\text{кр}} = 0.36 \frac{v + 150}{2v + 150} \quad (29)$$

(величины $\varphi_{кр}$ подсчитываются или принимаются по таблице, помещенной в [4], для всех скоростей, занесенных в табл. 4);

ϑ_p — расчетный тормозной коэффициент состава в кН/кН

$$\vartheta_p = \frac{\sigma \sum k_p}{Qg} = \frac{\sigma(k_{p4}n_4 + k_{p8}n_8)}{Qg}, \quad (30)$$

где n_4, n_8 — число осей соответственно в группах 4- и 8-осных вагонов состава: $n_4=4m_4, n_8=8m_8$. (Значения m_4 и m_8 подсчитывались выше в п. 5);

k_{p4}, k_{p8} — расчетные силы нажатия тормозных колодок соответственно на ось 4- и 8-осного вагона (при чугунных колодках $k_{p4}=k_{p8}=68,5$ кН/ось, а при композиционных колодках $k_{p4}=k_{p8}=41,5$ кН/ось);
 σ — доля (не %!) тормозных осей в составе (см. табл. 1).

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

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

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

при экстренном торможении $w_{ox} + b_T^{**}$.

Все результаты вычислений вносим в расчетную табл. 4. По данным этой таблицы следует построить по расчетным точкам диаграмму удельных равнодействующих сил для режима тяги $f_k - w_0 = f_1(v)$, режима холостого хода $w_{ox} = f_2(v)$ и режима служебного торможения $w_{ox} + 0,5 b_T = f_3(v)$ (рис. 1, см. вклейку).

Диаграмму удельных равнодействующих сил рекомендуется **вычертить на отдельном листе**, с тем чтобы в дальнейшем при построении кривой $v=f(s)$ ее можно было бы перемещать вдоль **профиля**.

При построении графических зависимостей следует пользоваться масштабами, приведенными в табл. 5.

Пользуясь построенной диаграммой для определенной массы состава и типа локомотива, можно анализировать условия и характер движения поезда на различных элементах профиля пути: определять равномерную скорость движения

* Значение расчетного тормозного коэффициента ϑ_p следует вычислять до третьего знака после запятой.

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

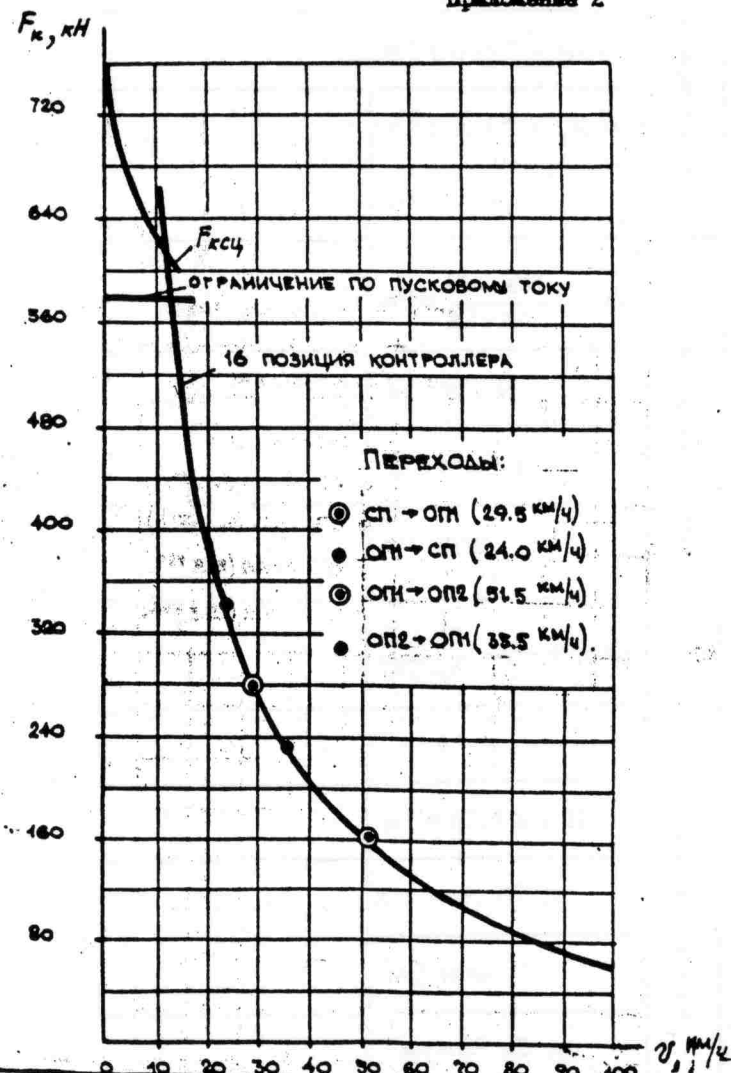


Рис. I. Тяговая характеристика тепловоза ТЭЗ с тяговым генератором МПТ 99/47А и тяговыми электродвигателями ЭДТ-200Б

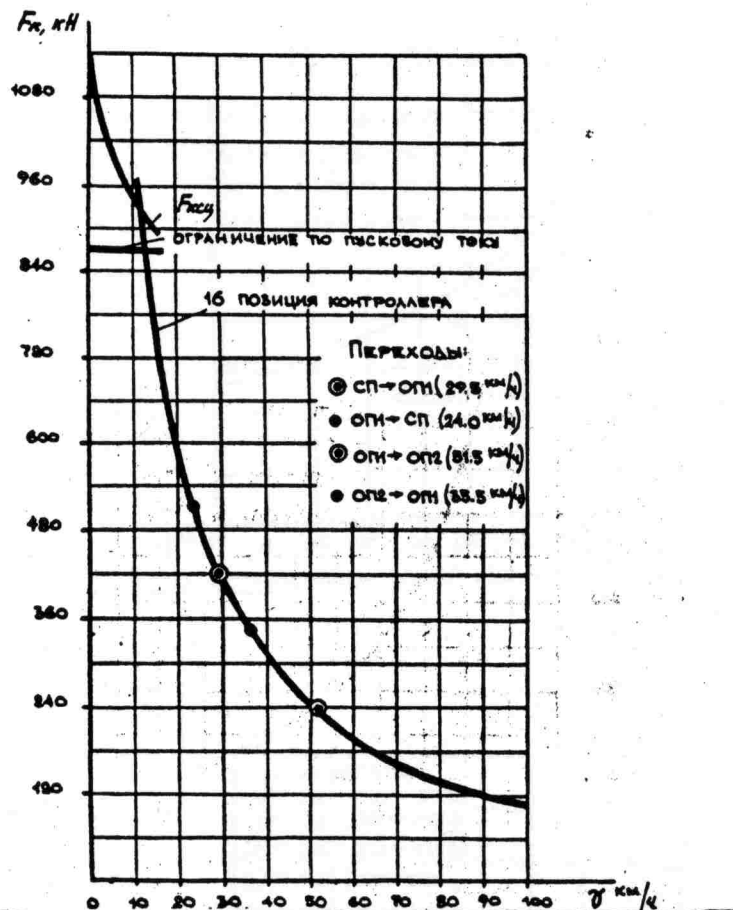


Рис.2. Тяговая характеристика тепловоза 3133 с тяговыми электродвигателями ЭДТ-200Б

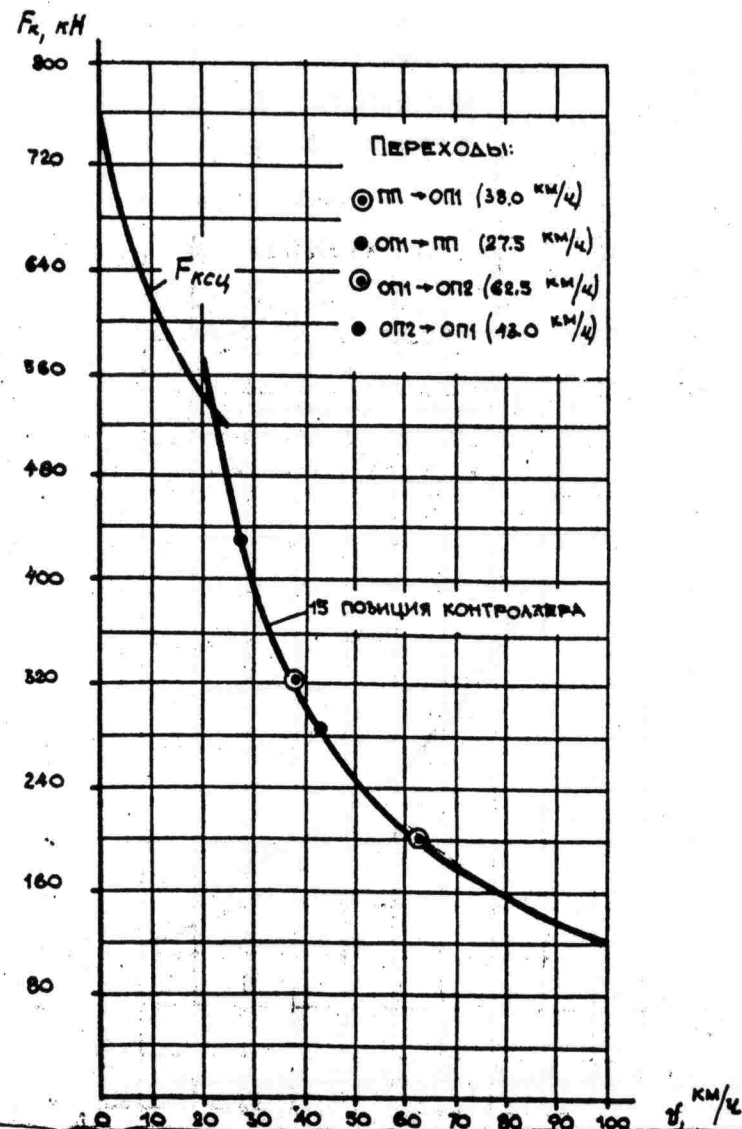


Рис.3. Тяговая характеристика тепловоза 2310Л с тяговыми электродвигателями ЭД107А

$F_k, \text{нН}$

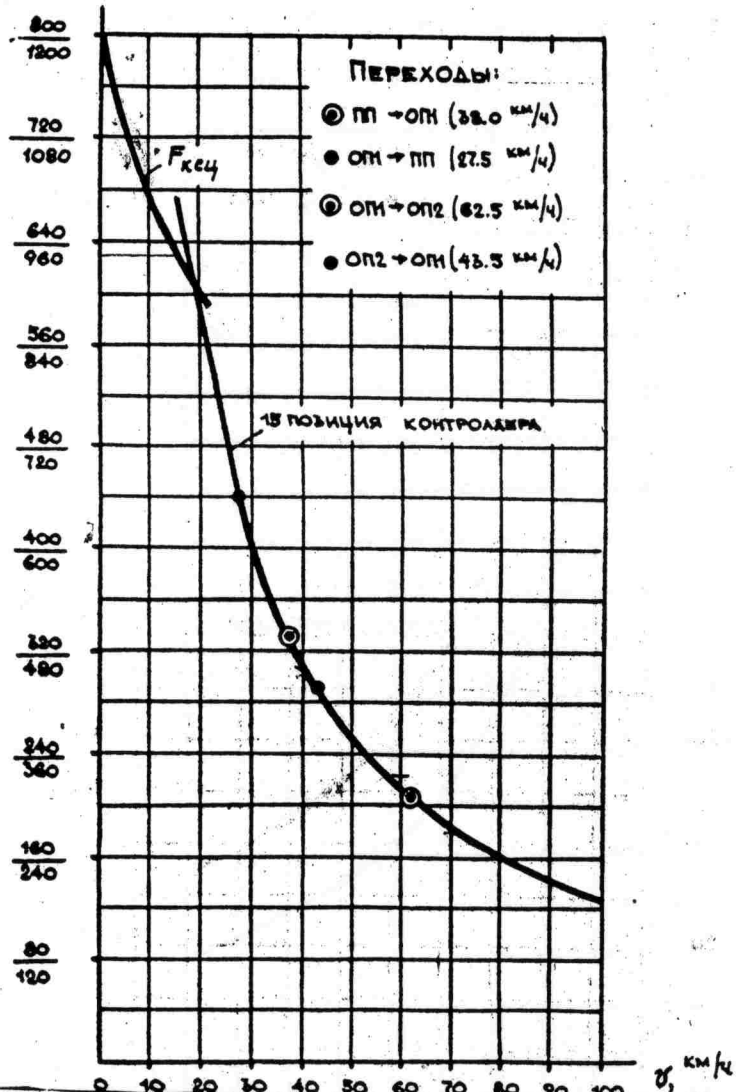


Рис.4. Тяговая характеристика тепловозов 2ТЭ10М и 3ТЭ10М с тяговыми электродвигателями ЭД118А (значение F_k в числителе для тепловоза 2ТЭ10М, в знаменателе — для тепловоза 3ТЭ10М)

IV

Приложение 3

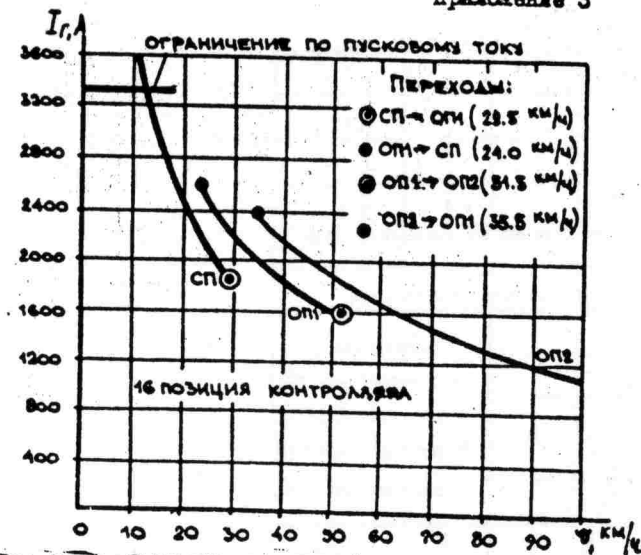


Рис.7. Ток генератора МТН 99/47А тепловозов ТЭ3 и 3ТЭ3

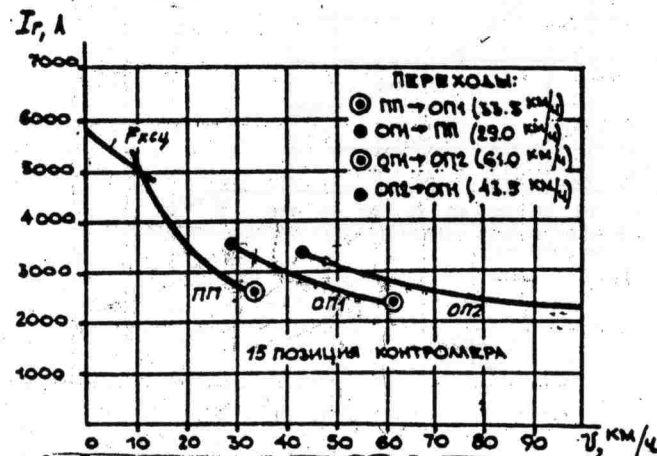


Рис.8. Ток тягового генератора ПП-3ПБ тепловозов 2ТЭ10Л, 2ТЭ10М, 3ТЭ10М

VII

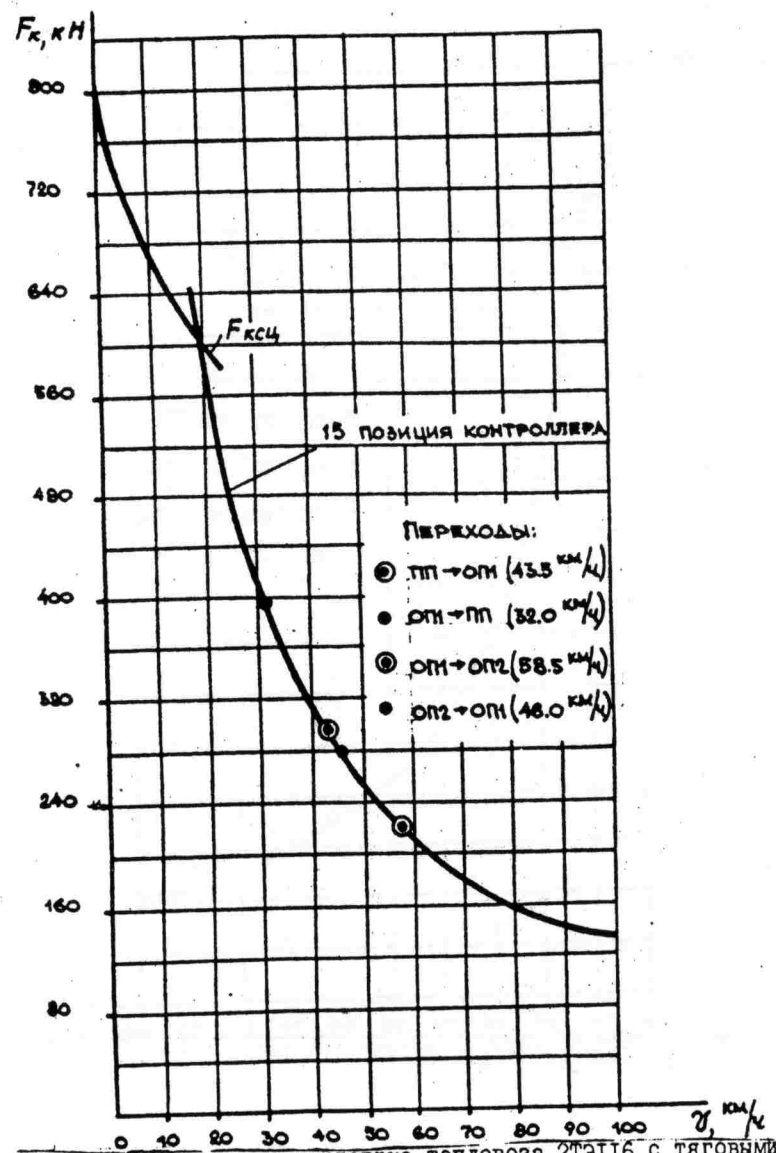


Рис. 6. Тяговая характеристика тепловоза 2ТЭ116 с тяговыми электродвигателями ЭДЦ18А

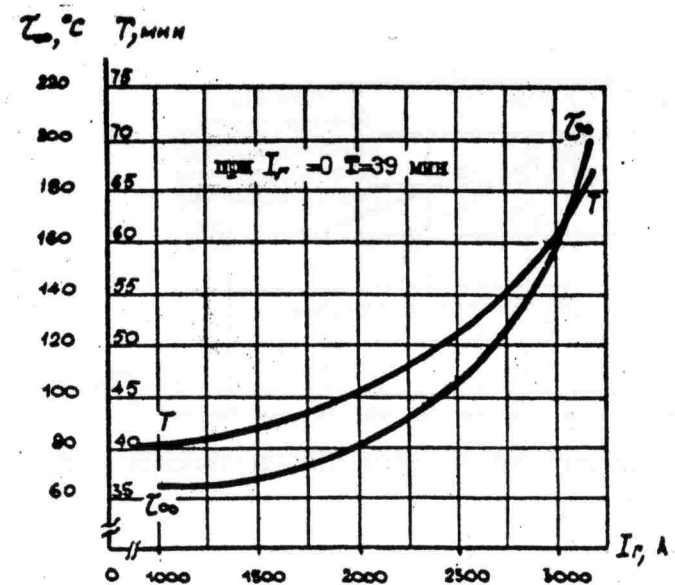


Рис. II. Тепловые характеристики тягового генератора МПТ 99/47А тепловозов ТЭ3 и ЗТЭ3

18

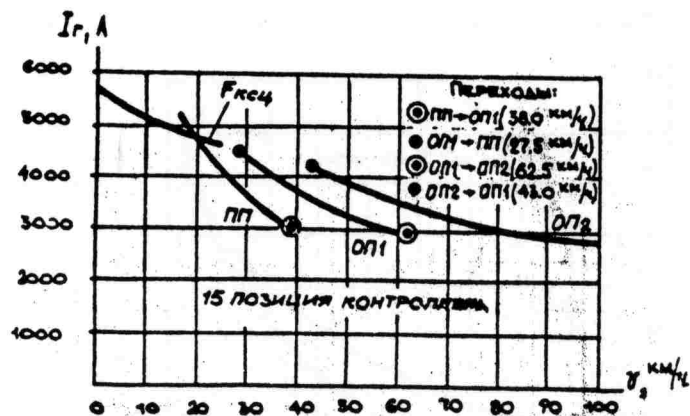


Рис.9. Ток тягового генератора ПП-312 тепловоза 2М62

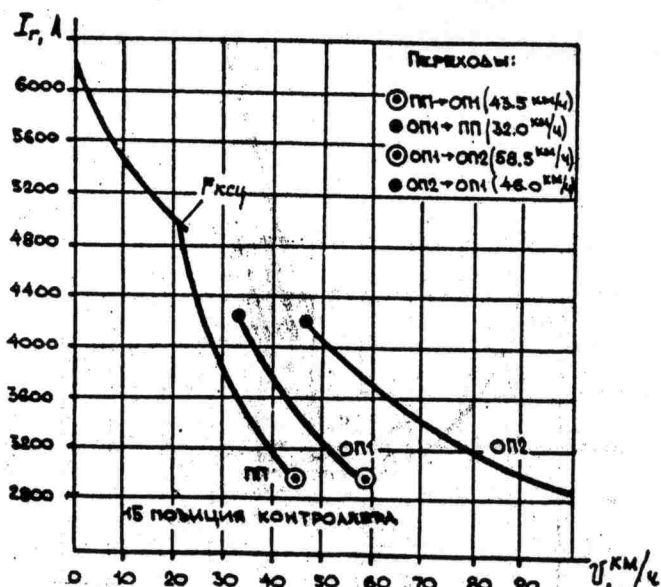


Рис.10. Выпрямленный ток тягового генератора TC-501A тепловоза 2ТЭ116

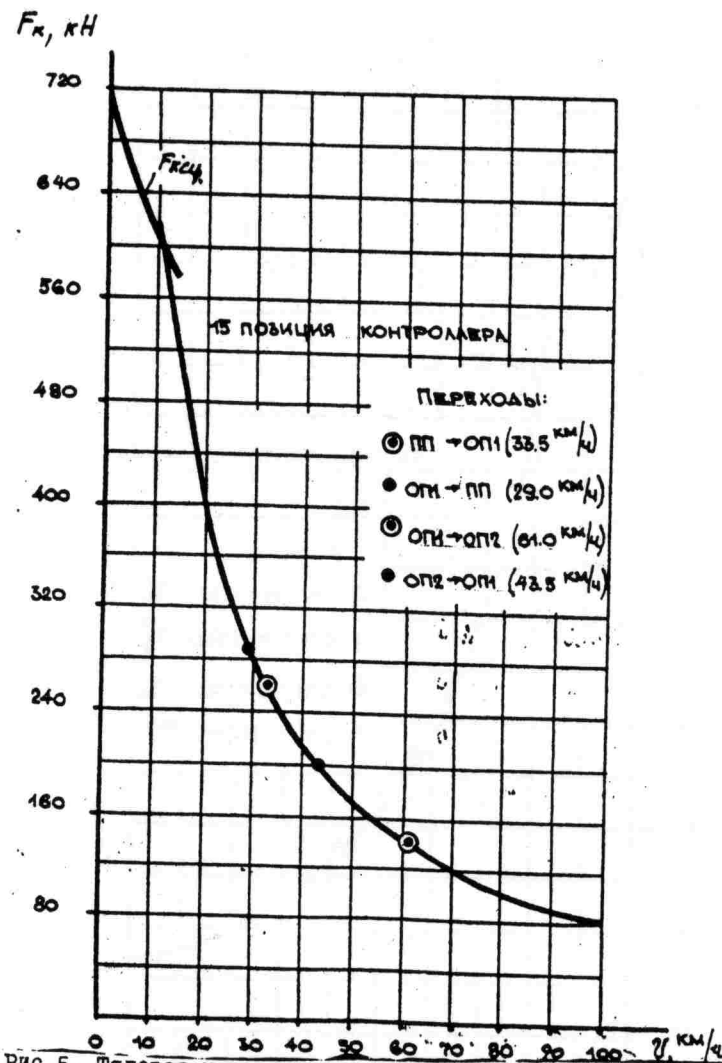


Рис.5. Тяговая характеристика тепловоза 2М62 с тяговыми электродвигателями ЭД107А

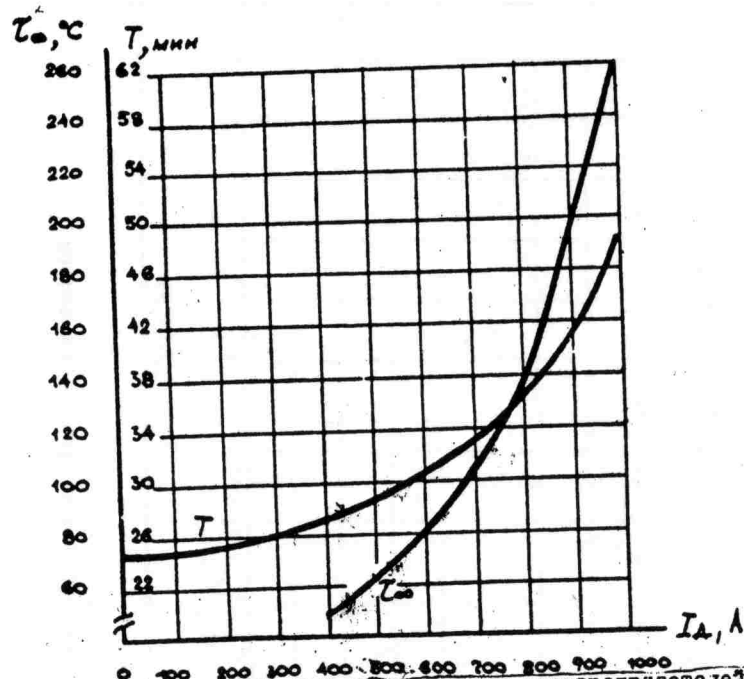


Рис. 12. Тепловые характеристики тяговых электродвигателей ЭД107А (тепловозов 2М62 и 2ТЭ10М) и ЭД118А (тепловозов 2ТЭ10М, 3ТЭ10М и 2ТЭ116)

поезда на элементах различной крутизны, удельную равнодействующую силу на разных элементах в зависимости от скорости и т. д.

Диаграмму удельных равнодействующих сил вычерчивают на миллиметровой бумаге, расчетные точки наносят на планшет заточенным карандашом, четко, чтобы их положение было заметно.

Масштабы для графических расчетов

Таблица 5

Величины	Для общих расчетов		Для тормозных расчетов	
	1 *	2	3	4 *
Удельные силы 1 Н/кН = k, мм	6	10	1	2
Скорость 1 км/ч = m, мм	1	2	1	2
Путь 1 км = y, мм	20	48	120	240
Постоянная времени Δ, мм	30	25	—	—
Время 1 мин = x, мм	10	10	—	—
Ток 100 А = c, мм	10 — для электровозов постоянного тока 50 — для электровозов переменного тока			

* При выполнении курсовой работы предпочтительнее данная группа масштабов.

8. Перед тем, как приступить к построению кривых скорости и времени хода поезда по участку, следует решить тормозную задачу, которая состоит в определении максимально допустимой скорости движения поезда по наиболее крутому спуску участка при заданных тормозных средствах и принятом тормозном пути *. Эта задача в курсовой работе решается графическим способом.

Полный (расчетный) тормозной путь

$$s_r = s_n + s_d, \quad (31)$$

где s_n — путь подготовки тормозов к действию, на протяжении которого тормоза поезда условно принимаются недействующими (от момента установки

* Крутизну наиболее крутого спуска заданного участка, на котором решается тормозная задача, необходимо указать (например, $i_c = -12\%$).

ручки крана машиниста в тормозное положение до включения тормозов поезда);

s_d — действительный тормозной путь, на протяжении которого поезд движется с действующими в полную силу тормозами (конец пути s_n совпадает с началом пути s_d).

Равенство (31) позволяет искать допустимую скорость как величину, соответствующую точке пересечения графических зависимостей подготовительного пути s_n и действительного тормозного пути s_d от скорости движения поезда на режиме торможения. Поэтому, решаем тормозную задачу следующим образом.

По данным расчетной 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 расчетах следует выбирать из табл. 5.

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‰ — 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, 2, 3, 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, говоря ина-

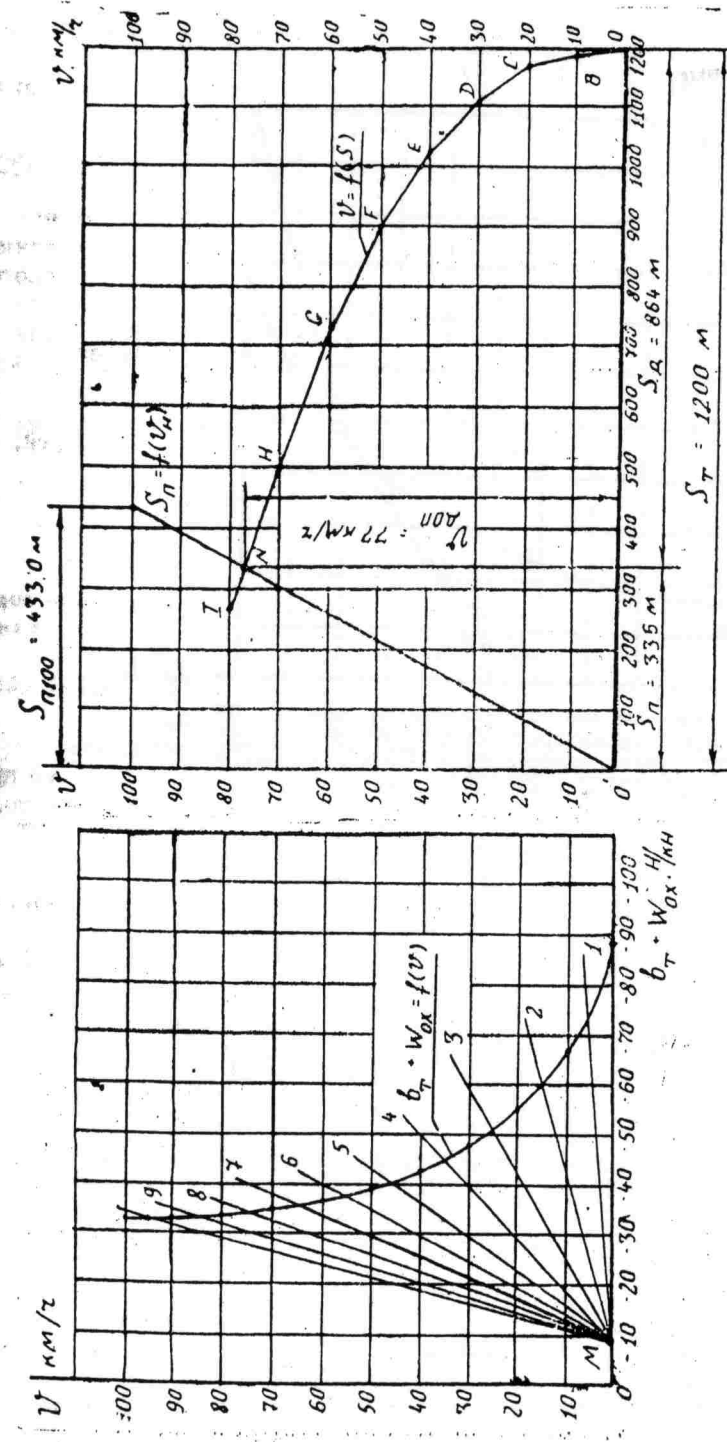


Рис. 2. Диаграмма удельных замедляющих сил при экстренном торможении

че, зависимость пути, пройденного поездом на режиме торможения, от скорости движения).

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

$$s_n = 0,278 v_n t_n, \quad (32)$$

где v_n — скорость в начале торможения, км/ч;
 t_n — время подготовки тормозов к действию, с; это время для автотормозов грузового типа равно:

$$t_n = 7 - \frac{10 i_c}{b_r} \text{ — для составов длиной 200 осей и менее;}$$

$$t_n = 10 - \frac{15 i_c}{b_r} \text{ — для составов длиной от 200 до 300 осей;}$$

$$t_n = 12 - \frac{18 i_c}{b_r} \text{ — для составов длиной более 300 осей.}$$

Здесь i_c — крутизна уклона, для которого решается тормозная задача (для спусков со знаком «минус»)*;
 b_r — удельная тормозная сила при начальной скорости торможения v_n .

Число осей в составе $n = n_4 + n_8$ (см. п. 7).

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

Считаем, что заторможенный поезд движется слева направо.

Графическую зависимость между s_n и v_n строим в тех же выбранных масштабах. Значение s_n , вычисленное для скорости, равной конструкционной скорости локомотива ($v_{\text{констр}}$ 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_n (т. е. против скорости, равной $v_{\text{констр}}$). Получаем точку K ; соединяем ее с точкой O' (так как при $v_n = 0$ имеем $s_{n0} = 0$). Точка пересечения ломаной линии $OBCDEFGHIP$ с линией $O'K$ — точка N — определяет максимально допустимую скорость движения поезда

* Следовательно, при $n < 200$ осей $t_n > 7$ с, при $n > 200$ осей $t_n > 10$ с, при $n > 300$ осей $t_n > 12$ с.

на наиболее крутом спуске участка при данном расчетном тормозном пути s_r . Полученные после решения тормозной задачи результаты следует указать в курсовой работе ($v_{\text{доп}} = \dots$ км/ч; $s_n = \dots$ м; $s_d = \dots$ м).

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

После решения тормозной задачи студент должен подумать над следующими вопросами: чему будет равен путь s_r , если начальная скорость поезда равна, например, 60 км/ч? чему будет равна наибольшая допустимая скорость, если путь s_r равен, например, 900 м?

Если студент имеет доступ к ЭВМ, то желательно, чтобы тормозная задача была решена с использованием вычислительной машины по программе, составленной студентом (самостоятельно или при помощи преподавателя); допускается использование для решения тормозных задач готовых программ, которые имеются в лабораториях вычислительной техники линейных филиалов и факультетов ВЗИИТа, а также приведены в ряде изданных пособий (например, в руководствах [6÷9]). Если тормозная задача решалась с применением ЭВМ, то в курсовой работе необходимо поместить рабочую программу, комментарий к ней и результаты расчета, выведенные на экран дисплея или на печать вычислительной машины.

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

9. Построение кривых скорости $v = f(s)$ и времени хода поезда $t = f(s)$ производится методом МПС, изложенным в [1, 2, 4]

В соответствии с ПТР при выполнении тяговых расчетов 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*.

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

Кривая скорости строится для движения поезда в одном (заданном) направлении, исходя из того, что поезд отправляется со ст. $A(E)$, проходит без остановки станцию K и делает остановку на ст. $E(A)$. При этом надо соблюдать условие, что скорость поезда по входным стрелкам станции, на которой предусмотрена остановка, в соответствии с ПТЭ не должна превышать 50 км/ч вследствие возможного приема на боковой путь для скрещения или обгона.

По построенной кривой скорости следует проверить прохождение поездом подъема большей крутизны, чем расчетный (выше в п. 3 такая проверка выполнялась аналитически).

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, (см. с. 7);

наибольшая допустимая скорость поезда по тормозным средствам определена выше при решении тормозной задачи.

Максимально допустимая скорость движения поезда при построении кривой $v=f(s)$ должна приниматься как наименьшая из четырех перечисленных выше ограничительных скоростей. Если при построении кривой скорости поезда на спусках скорость стремится превзойти допускаемую, то необходимо применять служебное регулировочное торможение. В таких случаях 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

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

минимальным. Только в этом случае может быть освоена наибольшая пропускная способность участка. Поэтому переход с режима тяги на режим холостого хода или торможения может быть оправдан лишь в случаях, когда скорость, возрастая, доходит до наибольшего допустимого значения. 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 допускать на 15—20 км/ч.

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

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 $\frac{l_p}{2}$. Это необходимо учитывать при

построении кривой скорости при остановке поезда 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 $\frac{l_p}{2}$ 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, иллюстрируются кривыми, приведенными на рис. 3.

При построении кривой времени $t=f(s)$ следует иметь в виду, что эта кривая нарастающая. Поэтому, чтобы не иметь дела с очень большим листом бумаги, при достижении ординаты, равной 10 мин, кривую времени следует оборвать, точку обрыва снести по вертикали вниз на ось абсцисс и продолжать построение кривой времени снова от нуля. Таким образом, кривая времени обрывается через каждые 10 мин.

* Оси станций заданного участка проводим в середине элементов пути, на которых они расположены.



отпуск тормозов; Х. х. — холостой ход (выбег)



27

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, $t_{ак} = 15,2$ мин, $t_{ке} = 18,6$ мин, $T_{ак} = 33,8$ мин).

Построенные графические зависимости должны быть обозначены: $v=f(s)$, $t=f(s)$ (а также $I_r=f(s)$ — см. ниже п. 11).

Кривые скорости и времени хода поезда строятся 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 станций 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, должны выполняться хорошо заточенным твердым карандашом тонкими, но четкими линиями. Следует обращать внимание на точность и аккуратность всех построений.

Примеры построения кривых $v=f(s)$ и $t=f(s)$ для конкретных участков пути с подробными пояснениями приведены в [1, 2, 5]. Этими примерами и следует руководствоваться при выполнении курсовой работы.

При наличии возможности использования электронной вычислительной машины, расчет скорости и времени движения поезда на заданном участке желательно выполнить с применением ЭВМ по рабочим программам, исполненным на одном из алгоритмических языков; можно также для выполнения расчетов по определению скорости и времени движения поезда использовать программируемые калькуляторы. В случае применения для расчетов ЭВМ 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 $A-K-E$ (или $E-K-A$).

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

Все данные сводятся в таблицу, причем расчетные данные берутся по кривой $t=f(s)$ с точностью до 0,1 мин, а принятые для графика движения поездов времена хода по перегонам округляются с точностью до 1 мин.

Таблица 6

Времена хода поезда по перегонам участка

Перегоны	Длина, км	Время хода, мин	
		по расчету	принятое для графика движения
A-K	...	...	...
K-E	...	...	...
По участку	...	...	...

Техническая скорость движения поезда по участку в км/ч

$$v_t = \frac{L \cdot 60}{t_1 + t_2}, \quad (33)$$

где t_1 и t_2 — соответственно времена хода поезда по первому и второму перегонам заданного участка $A-K-E$ (или $E-K-A$), мин;

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

11. 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 $I_r=f(s)$.

При построении кривой тока следует руководствоваться кривой скорости $v=f(s)$ и токовой характеристикой $I_r=f(v)$ генератора заданного тепловоза (см. прил. 2).

В период трогания с места и разгона поезда значения тока I_r следует принимать в соответствии с ограничениями по сцеплению или по пусковому току. После выхода на автоматическую характеристику, соответствующую крайнему положению контроллера машиниста (16-е для тепловозов ТЭЗ и ЗТЭЗ, 15-е для остальных тепловозов), величина тока определяется по кривым $I_r=f(v)$ с учетом режима работы тяговых электродвигателей (ПП, ОП1, ОП2). Значения тока I_r 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 определять 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 $I_r = f(s)$ 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 $I_r = f(s)$.

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

Пример построения кривой $I_r = f(s)$ с подробными пояснениями приведен в [1].

Проверку на нагревание электрических машин тепловоза следует выполнять, руководствуясь построенной кривой тока $I_r = f(s)$ 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 — обмотки якорей тяговых электродвигателей.

Для расчетов по проверке обмоток электромашин на нагревание используется формула

$$\tau = \tau_{\infty} \frac{\Delta t}{T} + \tau_0 \left(1 - \frac{\Delta t}{T}\right), \quad (34)$$

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

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

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

τ_{∞} — установившееся превышение температуры обмоток электромашин над температурой окружающего воздуха (для данного значения тока $I_{г ср}$ или $I_{д ср}$), °С;

T — тепловая постоянная времени (для данного значения тока $I_{г ср}$ или $I_{д ср}$), 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. 2.

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

$$\frac{\Delta t}{T} \leq 0,1. \quad (35)$$

При определении средней величины тока тягового электродвигателя или главного генератора для отыскания тепловых параметров T и τ_{∞} следует кривую тока $I_r = f(s)$ 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 2М62, 2ТЭ10Л, 2ТЭ10М, 3ТЭ10М, 2ТЭ116 определяется делением тока генератора I_r на шесть (так как в силовую цепь включены параллельно 6 тяговых двигателей).

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

$$\tau = \tau_0 \left(1 - \frac{\Delta t}{T}\right). \quad (36)$$

Снижение температуры обмоток тяговых электрических машин при движении на режимах холостого хода и торможения можно также определять по кривой $\tau = f(t)$ при $I_r(I_d) = 0$ (характеристике охлаждения обмоток); эти кривые для электрических машин тепловозов приведены в [3].

Полученные по формулам (34) и (36) значения температур τ для каждого расчетного элемента кривой тока являются начальными значениями τ_0 для следующего элемента расчета.

Первоначальное превышение температуры обмоток тяговых электромашин в момент отправления поезда со станции А(Е) следует принимать равным $\tau_0 = +15^\circ\text{С}$.

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 — 140°С .

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

ПРОФИЛИ К ЗАДАНИЯМ НА КОНТРОЛЬНУЮ И КУРСОВУЮ РАБОТУ

(принимается профиль, номер которого соответствует предпоследней цифре шифра студента)

Профиль № 0 — от ст. А к ст. Е
Профиль № 1 — от ст. Е к ст. А (знаки уклонов сменить на обратные)

Номера элементов	Крутизна уклона, ‰	Длина элемента, м	Кривые (радиус и длина в м)	Раздельные пункты
1 (19)	—2,5	1700	...	Станция А
2 (18)	—1,5	2400	R=650; s _{кр} =350	
3 (17)	—3,5	800		
4 (16)	0,0	1600		
5 (15)	+12,5	1850		
6 (14)	+3,5	500		
7 (13)	+10,0	6800		Станция К
8 (12)	+1,5	1600	...	
9 (11)	0,0	800	R=1500; s _{кр} =600	
10 (10)	—9,0	1200		
11 (9)	0,0	1000	R=1000; s _{кр} =500	
12 (8)	+6,0	800	R=650; s _{кр} =450	
13 (7)	+4,5	600		Станция Е
14 (6)	0,0	500		
15 (5)	—7,0	7375		
16 (4)	—2,0	1250		
17 (3)	0,0	2500		
18 (2)	+2,0	1700	R=1300; s _{кр} =600	
19 (1)	0,0	1600	...	

Время работы тепловоза t_t и t_x 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 в кг/10⁴ ткм

$$e = \frac{E}{QL} 10^4, \quad (38)$$

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 в кг/10⁴ ткм

$$e_y = e \mathcal{E}, \quad (39)$$

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

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Бабичков А. М., Гурский П. А., Новиков А. П. Тяга поездов и тяговые расчеты. М.: Транспорт, 1971.
2. Осипов С. И. Основы электрической и тепловозной тяги. М.: Транспорт, 1985.
3. Правила тяговых расчетов для поездной работы. М.: Транспорт, 1985.
4. Гребенюк П. Т., Долганов А. Н., Скворцова А. И. Тяговые расчеты. М.: Транспорт, 1987.
5. Хуторянский Н. М. Тяговая характеристика тепловоза. Диаграмма удельных равнодействующих сил. М.: ВЗИИТ, 1980.
6. Володин А. И., Хуторянский Н. М., Кононов В. Е. и др. Руководство по выполнению контрольных работ и курсовых проектов с применением ЭВМ по профилирующим дисциплинам для студентов специальности «Тепловозы и тепловозное хозяйство». М.: ВЗИИТ, 1988.
7. Хуторянский Н. М., Ильин Г. А. Тяга поездов. Подвижной состав и тяга поездов. Руководство по применению программируемых микрокалькуляторов при выполнении курсовых работ. М.: Транспорт, 1989.
8. Хуторянский Н. М. Выполнение тяговых расчетов на ЭЦВМ. М.: ВЗИИТ, 1979.
9. Хуторянский Н. М. Решение тормозных задач. М.: ВЗИИТ, 1991.

Профиль № 2 — от ст. А к ст. Е.
Профиль № 3 — от ст. Е к ст. А (знаки уклонов сменить на обратные)

Номера элементов	Крутизна уклона, ‰	Длина элемента, м	Кривые (радиус и длина в м)	Раздельные пункты
1 (23)	-1,5	1800	...	Станция А
2 (22)	-3,0	1800	$R=800; s_{кр}=1000$	
3 (21)	-5,0	2000	$R=1000; s_{кр}=600$	
4 (20)	0,0	1600		
5 (19)	+9,0	2000		
6 (18)	+7,0	7000		
7 (17)	0,0	400	$R=700; s_{кр}=500$	
8 (16)	+6,0	500		Станция К
9 (15)	+1,5	1700	...	
10 (14)	+5,0	300	$R=650; s_{кр}=400$	
11 (13)	+3,0	400		
12 (12)	0,0	600		
13 (11)	-10,0	1450		
14 (10)	0,0	800		
15 (9)	+4,0	1400		
16 (8)	+3,0	800	$R=700; s_{кр}=400$	
17 (7)	0,0	700		
18 (6)	-8,0	6500		
19 (5)	0,0	1850		
20 (4)	+1,0	1650		
21 (3)	+2,0	1500		
22 (2)	+4,0	1200	$R=1500; s_{кр}=850$	
23 (1)	0,0	1900	...	Станция Е

Профиль № 4 — от ст. А к ст. Е

Профиль № 5 — от ст. Е к ст. А (знаки уклонов сменить на обратные)

Номера элементов	Крутизна уклона, ‰	Длина элемента, м	Кривые (радиус и длина в м)	Раздельные пункты
1 (17)	0,0	1600	...	Станция А
2 (16)	+2,0	1000	$R=800; s_{кр}=400$	
3 (15)	0,0	1800		
4 (14)	-4,0	1500	$R=1200; s_{кр}=650$	
5 (13)	0,0	600	$R=1500; s_{кр}=400$	
6 (12)	-5,0	600		
7 (11)	-8,0	7800		
8 (10)	-2,0	1700	...	Станция К
9 (9)	-10,0	1500		
10 (8)	0,0	1500	$R=1500; s_{кр}=450$	
11 (7)	+12,0	1500		
12 (6)	+9,0	8000		
13 (5)	+5,0	1500	$R=850; s_{кр}=750$	
14 (4)	0,0	1300		
15 (3)	+3,0	800		
16 (2)	0,0	2000		
17 (1)	+1,0	1700	...	Станция Е

Профиль № 6 — от ст. А к ст. Е
Профиль № 7 — от ст. Е к ст. А (знаки уклонов сменить на обратные)

Номера элементов	Крутизна уклона, ‰	Длина элемента, м	Кривые (радиус и длина в м)	Раздельные пункты
1 (21)	0,0	1800	...	Станция А
2 (20)	-3,0	1500	$R=1500; s_{кр}=900$	
3 (19)	-7,0	7400		
4 (18)	-9,0	1250		
5 (17)	0,0	800	$R=1000; s_{кр}=500$	
6 (16)	+5,5	1200	$R=700; s_{кр}=400$	
7 (15)	+4,5	600		
8 (14)	0,0	400	$R=900; s_{кр}=350$	
9 (13)	-4,0	800		Станция К
10 (12)	0,0	1000	...	
11 (11)	+2,5	1800		
12 (10)	0,0	500	$R=1200; s_{кр}=300$	
13 (9)	-2,0	450	$R=1500; s_{кр}=500$	
14 (8)	-4,0	500		
15 (7)	0,0	600		
16 (6)	+11,0	1750		
17 (5)	+9,0	6800		
18 (4)	+3,0	1000		
19 (3)	0,0	2500		
20 (2)	-2,0	1400		
21 (1)	-1,5	2000	...	Станция Е

Профиль № 8 — от ст. А к ст. Е

Профиль № 9 — от ст. Е к ст. А (знаки уклонов сменить на обратные)

Номера элементов	Крутизна уклона, ‰	Длина элемента, м	Кривые (радиус и длина в м)	Раздельные пункты
1 (20)	0,0	1800	...	Станция А
2 (19)	-1,0	800		
3 (18)	-4,0	1000	$R=900; s_{кр}=400$	
4 (17)	0,0	1400	$R=1500; s_{кр}=650$	
5 (16)	-9,0	7500		
6 (15)	-10,5	1500		
7 (14)	0,0	650	$R=800; s_{кр}=300$	
8 (13)	+5,0	900		
9 (12)	+1,0	1300		
10 (11)	+2,0	2000	...	Станция К
11 (10)	0,0	900		
12 (9)	-3,0	1000		
13 (8)	0,0	750	$R=1200; s_{кр}=450$	
14 (7)	+11,0	2000		
15 (6)	+9,0	7500		
16 (5)	+1,5	800	$R=975; s_{кр}=400$	
17 (4)	0,0	1800		
18 (3)	-2,0	2700		
19 (2)	-3,0	850		
20 (1)	-5,0	1750	...	Станция Е