

**РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ОТКРЫТЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ**

12/18/4

**Одобрено кафедрой
«Локомотивы и локомотивное
хозяйство»**

ЭНЕРГЕТИКА ЭПС

**Задание на контрольную работу
с методическими указаниями
для студентов V курса**

специальности

**190303 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТРАНСПОРТ
ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ (ЭПС)**



Москва – 2006

С о с т а в и т е л и : канд. техн. наук, проф. С.И. Осипов,
канд. техн. наук, доц. Н.И. Овчинников

Р е ц е н з е н т – канд. техн. наук, доц. С.И. Баташов

ЭНЕРГЕТИКА ЭПС

Задание на контрольную работу
с методическими указаниями

Редактор *Д.Н.Тихонычев*
Компьютерная верстка *А.Ю.Байкова*
Переиздание

Тип. зак.	Изд. зак. 80	Тираж 800 экз.
Подписано в печать 9.01.07	Гарнитура NewtonC	Офсет
Усл. печ. л. 0,75		Формат 60×90 ¹ / ₁₆

Издательский центр РГОТУПСа,
125993, Москва, Часовая ул., 22/2

Участок оперативной печати РГОТУПСа,
125993, Москва, Часовая ул., 22/2

© **Российский государственный открытый технический
университет путей сообщения, 2006**

ЗАДАНИЕ НА КОНТРОЛЬНУЮ РАБОТУ

Целью контрольной работы является изучение энергетики движения грузового поезда и составляющих расхода энергии восьмиосным электровозом постоянного тока и электрической железной дорогой с использованием аналитического метода решения уравнения движения поезда на участке железной дороги.

В контрольную работу входит:

1. Расчет электрической энергии на совершение работы по преодолению сил основного и дополнительного сопротивления движению грузового поезда на заданном участке.
2. Расчет потерь энергии при торможении перед остановкой.
3. Определение потерь энергии на электроподвижном составе при преобразовании потребляемой электрической энергии в механическую энергию движения поезда.
4. Расчет потерь энергии при пуске.
5. Определение количества электрической энергии, потребляемой электровозом.
6. Расчет удельного расхода энергии на движение поезда.
7. Определение расхода электроэнергии на движение поезда с учетом потерь в системе электроснабжения (на вводе тяговой подстанции).

ЛИТЕРАТУРА

1. Теория электрической тяги / Под ред. С.И. Осипова. – М.: Маршрут, 2006.
2. Осипов С.И., Осипов С.С. Основы тяги поездов. – УМК МПС России, 2000.
3. Осипов С.И. Энергетика электрических железных дорог. Лекция. М., РГОТУПС.2002.
4. Рациональные режимы вождения поездов и испытания локомотивов / Под ред. С.И. Осипова. – М.: Транспорт, 1983.
5. Пронтарский А.Ф. Системы и устройства электроснабжения. – М.: Транспорт, 1985.

ОФОРМЛЕНИЕ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

1. Для успешного выполнения контрольной работы необходимо изучить материалы дисциплины, понять физическую сущность и порядок проведения расчетов.

2. На обложке после слов «Контрольная работа» необходимо указать название учебной дисциплины, курс, специальность, фамилию, инициалы и учебный шифр. Для выполнения работы можно использовать школьную тетрадь.

3. Записка выполняется на одной стороне листа с полями с правой стороны шириной 25 – 30 мм.

4. Оформление работы должно соответствовать требованиям ЕСКД (ГОСТ 2.105 – 79).

5. На первом листе необходимо написать заголовок, отражающий содержание контрольной работы, учебный шифр и соответствующие ему исходные данные из табл.1 – по последней цифре учебного шифра, из табл.2 – по предпоследней цифре учебного шифра и общие для всех вариантов в том порядке, как они перечислены в задании.

6. Порядок оформления расчетов должен соответствовать рекомендованному в методических указаниях. Все записи должны быть написаны аккуратно без сокращения слов.

7. При выполнении расчетов следует привести расчетную формулу, после чего через знак равенства численные выражения входящих в нее величин и результат.

8. Все расчеты следует вести с точностью до четырех значащих цифр.

9. Не следует переписывать в качестве пояснений текст из методических указаний или литературных источников. Необходимые пояснения и выводы нужно формулировать самостоятельно, по возможности кратко и ясно.

10. Выполненную в полном объеме контрольную работу студент сдает на факультет для рецензирования. Правильно выполненная работа возвращается студенту с указанием «Допущен к зачету» и при необходимости – с перечнем замечаний, которые студент должен исправить к зачету. Для исправлений нужно использовать обратную (чистую) сторону предыдущего листа.

Исходные данные

Таблица 1

Показатель	Номер варианта (последняя цифра учебного шифра)									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Масса поезда m , т	3000	3200	3400	3600	3800	4000	4200	4400	4600	4800
2. Среднее основное удельное сопротивление движению поезда по участку $w_{0,ср}$ Н/кН	1,7	1,75	1,8	1,85	1,9	1,95	2,0	2,05	2,1	2,15
3. Длина пути при пуске поезда $s_{п}$, м	800	850	900	950	1000	1050	1100	1150	1200	1250
4. Среднее основное удельное сопротивление движению при пуске $w_{отп}$ Н/кН	1,2	1,24	1,28	1,32	1,36	1,4	1,44	1,48	1,52	1,56
5. Среднее основное удельное сопротивление движению при торможении $w_{отт}$ Н/кН	1,25	1,3	1,35	1,4	1,45	1,5	1,55	1,6	1,65	1,7

Таблица 2

Показатель	Номер варианта (предпоследняя цифра учебного шифра)									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Эквивалентный подъем заданного участка $i_э$, %	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5
2. Профиль пути в пределах пуска $i_{п}$, %	2	1,6	1,2	0,8	0,4	0	-0,2	-0,4	-0,6	-0,8
3. Профиль пути при торможении $i_{т}$, %	-2,4	-2,0	-1,6	-1,2	-0,8	-0,4	0	0,4	0,8	1,2

Исходные данные, общие для всех вариантов

1. Длина заданного участка железной дороги $s = 100$ км.
2. Коэффициент, учитывающий инерцию вращающихся частей поезда $(1 + \gamma) = 1,06$.
3. Скорость поезда в начале торможения $v_T = 70$ км/ч.
4. Длина тормозного пути поезда $s_T = 1100$ м.
5. Средний КПД электровоза с учетом собственных нужд $\eta_{\text{ЭПС}} = 0,88$.
6. Скорость окончания пуска – при выходе на безреостатную характеристику параллельного соединения тяговых двигателей $v_{\text{п}} = 47$ км/ч.
7. Коэффициент пусковых потерь восьмиосного электровоза $k_{\text{п}} = 0,375$.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Расход электрической энергии можно определить графоаналитическим, графическим или аналитическим методами. Первые два метода требуют весьма трудоемких расчетов кривых движения поезда, а аналитический метод, основанный на расчетах составляющих расхода энергии, позволяет снизить затраты времени.

Для уменьшения объема вычислений в аналитическом методе переменные параметры заменяют усредненными значениями. При этом несколько снижается точность расчетов.

В этой контрольной работе студенты и используют для расчетов аналитический метод, в котором изучают составляющие расхода энергии и их влияние на общий расход.

При движении поезда электроподвижной состав потребляет электрическую энергию в режиме тяги. Эта энергия расходуется на совершение работы по преодолению сил основного сопротивления движению, сил дополнительного сопротивления при движении в кривых участках пути, затрачивается на увеличение потенциальной энергии поезда при движении на подъем и кинетической энергии – при увеличении скорости движения. Часть энергии теряется на электроподвижном составе, при преобразовании и в пусковом реостате при пуске, а часть

расходуется на собственные нужды электровоза.

Кинетическая энергия перед началом движения поезда и после его остановки в конце участка (при $v = 0$) равна нулю.

При увеличении скорости она возрастает, потребляя электроэнергию из контактной сети. Однако в дальнейшем движении на выбеге и при механическом торможении без потребления энергии из контактной сети этот запас кинетической энергии расходуется на совершение работы по преодолению сил основного и дополнительного сопротивления движению, а так же теряется в тормозах. В этих составляющих и учитывают энергию, израсходованную ранее на запас кинетической энергии, не определяя ее в разных точках пути.

Железные дороги оплачивают стоимость электроэнергии по счетчикам, установленным на вводах тяговых подстанций. Поэтому для таких расчетов с энергосистемой необходимо учитывать потери энергии в системе тягового электроснабжения — на тяговых подстанциях и в контактной сети.

Студенты рассчитывают следующие составляющие расхода электрической энергии:

1. Энергию, затрачиваемую на совершение работы по преодолению сил основного и дополнительного (от подъемов и кривых) сопротивлений движению поезда A_w на заданном участке длиной 100 км.

2. Потери энергии при торможении поезда перед остановкой механическим тормозом A_T .

3. Механическую работу, выполняемую тяговыми двигателями A_M .

4. Потери энергии при преобразовании электрической энергии в механическую на электровозе $A_{эпс}$.

5. Потери энергии при пуске на электровозе $A_{п}$.

6. Полный A и удельный a расход электроэнергии на электровозе.

7. Количество потребляемой энергии из энергосистемы на движение поезда на вводе тяговой подстанции A' .

Ниже приводятся методические указания по выполнению каждой составляющей расхода энергии.

Результаты расчетов сводят в табл.3, анализируют и определяют относительное влияние каждой составляющей (в процентах) на общий расход энергии.

1. Энергия, расходуемая на совершение работы по преодолению сил основного и дополнительного сопротивления движению A_w [1, 2, 3]

Работа, совершаемая электровозом, может быть выражена произведением изменяющихся сил сопротивления движению – основного w_o и дополнительного (от подъемов и кривых) w_d на путь s , проходимый поездом в течение действия этих сил.

Основное сопротивление движению поезда W_o , Н, выраженное через удельное ее значение w_o , Н/кН, будет равно

$$W_o = m g w_o,$$

где m – масса поезда, т;

g – ускорение под действием силы тяжести 9,81 м/с²;

mg – вес поезда, кН.

Дополнительное сопротивление движению на уклонах и в кривых участках пути соответственно равно mgw_d , где w_d – удельное дополнительное сопротивление движению на подъемах и в кривых участках пути, Н/кН, численно равное спрямленному уклону в ‰.

Тогда при изменении w_o и w_d

$$A_w = m g \int (w_o + w_d) ds. \quad (1)$$

Для упрощения расчетов в этой формуле заменяют изменяющееся основное удельное сопротивление движению на среднее ее значение по всему участку $w_{o\text{ ср}}$, Н/кН; дополнительное удельное сопротивление w_d заменяют эквивалентным уклоном $i_э$ ‰, одинаковым по всей длине участка уклоном, при движении по которому электровоз должен выполнить работу, равную той работе, которую он совершит при движении по действительному профилю пути.

Величину эквивалентного уклона определяют, исходя из уклонов элементов профиля пути, сложенных с дополнительным сопротивлением в кривых участках пути за вычетом так называемых *вредных спусков*. На таких спусках составляющая

веса поезда превышает силы основного сопротивления движению при максимально допустимой скорости. Чтобы не превысить эту скорость необходимо включать тормоза. Затраты энергии на этом спуске принимают равными нулю.

С учетом таких упрощений уравнение (1) будет иметь вид, Н · м или Дж, или Вт · с:

$$A_w = 1000 m g (w_{\text{ОСР}} + i_{\text{э}}) s, \quad (2)$$

где s — длина участка железной дороги, км, коэффициент 1000 введен для перевода s из км в м.

Для получения расхода энергии на преодоление сил сопротивления движению в кВт · ч вводят переводной коэффициент из Вт · с:

$$1 \text{ Вт} \cdot \text{с} = \frac{1}{1000} \cdot \frac{1}{3600} = 2,78 \cdot 10^{-7} \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Тогда расчетная формула приобретает вид

$$A_w = 2,78 \cdot 10^{-4} m g (w_{\text{ОСР}} + i_{\text{э}}) s, \text{ кВт} \cdot \text{ч}. \quad (3)$$

Результат расчета по формуле (3) необходимо занести в табл.3, приведенную в конце методических указаний.

2. Расчет потерь энергии в тормозах A_T , [1, 2, 3]

В контрольной работе механические тормоза применяются один раз перед остановкой на конечной станции. В этом случае перед торможением поезд обладает запасом кинетической энергии поступательного движения и вращательного движения колесных пар вагонов, колесных пар и якорей тяговых двигателей электровоза. В расчетах используют приведенную массу поезда $m(1 + \gamma)$, где $(1 + \gamma)$ — коэффициент, учитывающий инерцию вращающихся частей.

Основная часть кинетической энергии теряется в тормозах (на нагревание колодок и колес), а небольшая часть идет на совершение работы по преодолению сил основного и дополнительно сопротивления движению в пределах тормозного пути.

Потери в тормозах рассчитывают по формуле, Н · м, Дж, Вт · с:

$$A_T = \frac{1000m(1 + \gamma)v_T^2}{2 \cdot 3,6^2} - mg(w_{\text{от}} + i_T) s_T \quad (4)$$

или в кВт · ч

$$A_T = 2,78 \cdot 10^{-7} m \left[\frac{1000(1 + \gamma)v_T^2}{2 \cdot 3,6^2} - g(w_{\text{от}} + i_T) s_T \right], \quad (5)$$

где v_T – скорость поезда в начале торможения, км/ч;
 $w_{от}$ – среднее основное сопротивление движению поезда при торможении, Н/кН;
 i_T – профиль пути при торможении, ‰, численно равный удельному дополнительному сопротивлению в Н/кН (« + » – подъем, « - » – спуск);
 s_T – длина тормозного пути, м;
1000 – переводной коэффициент массы из т в кг;
1/3,6 – переводной коэффициент скорости из км/ч в м/с.
Результат расчета по формуле (5) заносят в табл.3.

3. Потери энергии при преобразовании на электровозе $A_{эпс}$, [1, 2, 3]

Сумму энергии, затраченной на работу по преодолению сил основного и дополнительного сопротивления движению A_w , с потерями энергии в тормозах A_T называют *механической работой тяговых двигателей* A_M , кВт · ч

$$A_M = A_w + A_T. \quad (6)$$

Для реализации этой механической работы электровоз должен потреблять из сети энергию, равную $A_M / \eta_{эпс}$, где $\eta_{эпс}$ – средний КПД электровоза с учетом потерь в тяговом двигателе и передаче.

Потери энергии при преобразовании на электровозе $A_{эпс}$, кВт · ч:

$$A_{эпс} = \frac{A_M}{\eta_{эпс}} - A_M. \quad (7)$$

Значения A_M и $A_{эпс}$ по формулам (6) и (7) заносят в табл.3.

4. Потери энергии при пуске $A_{п}$ [1, 2, 3]

Для определения потерь в пусковом реостате при пуске используют коэффициент пусковых потерь $k_{п}$, равный отношению потерянной в реостате энергии к электромагнитной энергии тяговых двигателей. Пренебрегая механическими и магнитными потерями в тяговых двигателях и потерями в передаче, электромагнитную энергию тяговых двигателей заменяют механической энергией, развиваемой на ободах колесных пар электровоза.

В период пуска энергия расходуется на накопление кинетической энергии поезда и на преодоление сил сопротивления движению на длине пуска s_{Π} . При умножении этой энергии на k_{Π} получают потерянную при пуске энергию, Н · м, Дж, Вт · с

$$A_{\Pi} = \left[\frac{1000m(1+\gamma)v_{\Pi}^2}{2 \cdot 3,6^2} + m g (w_{\text{оп}} + i_{\Pi}) s_{\Pi} \right] k_{\Pi}$$

или в кВт · ч

$$A_{\Pi} = 2,78 \cdot 10^{-7} m \left[\frac{1000(1+\gamma)v_{\Pi}^2}{2 \cdot 3,6^2} + g (w_{\text{оп}} + i_{\Pi}) s_{\Pi} \right] k_{\Pi}, \quad (8)$$

где v_{Π} – скорость поезда в конце пуска, км/ч;

$w_{\text{оп}}$ – среднее основное удельное сопротивление движению поезда при пуске, Н/кН;

i_{Π} – профиль пути на протяжении пуска, ‰;

s_{Π} – длина пути при пуске, м;

k_{Π} – коэффициент пусковых потерь.

Значение A_{Π} заносят в табл.3.

5. Полный и удельный расход энергии электровозом на движение поезда A, a [1, 2, 3]

Общий расход энергии электровозом определяется суммой рассмотренных составляющих, рассчитанных по формулам (3), (5), (7), (8) и расходом энергии на собственные нужды электровоза, $A_{\text{сн}} = 200$ кВт · ч:

$$A = A_w + A_T + A_{\text{эпс}} + A_{\Pi} + A_{\text{сн}}. \quad (9)$$

Удельный расход энергии на движение поезда определяют делением полного расхода в Вт · ч на единицу перевозочной работы – к одной тонне массы поезда и одному километру пройденного пути. Он определяется по формуле, Вт · ч/т · км:

$$a = \frac{1000A}{ms}. \quad (10)$$

Значения A и a заносят в табл.3.

6. Количество потребляемой энергии из энергосистемы [2, 5]

В системе тягового электроснабжения теряется часть потребляемой энергии.

На тяговых подстанциях электрических железных дорог постоянного тока полученная из энергосистемы электроэнергия преобразуется из трехфазного переменного тока в постоянный ток напряжением 3000 В. При преобразовании энергии в трансформаторах и выпрямителях часть ее теряется. Кроме того, часть энергии тратится на собственные нужды тяговых подстанций. Эти затраты энергии учитываются средним КПД тяговых подстанций, $\eta_{\text{ТП}}$, принимаемым в контрольной работе, равным 0,96.

При передаче энергии от тяговой подстанции к электровозу неизбежны потери в тяговой сети. Ее КПД $\eta_{\text{ТС}}$ принимают равной 0,9. Тогда КПД системы электроснабжения $\eta_{\text{Э.С.}}$ составит

$$\eta_{\text{Э.С.}} = \eta_{\text{ТП}} \cdot \eta_{\text{ТС}} = 0,96 \cdot 0,9 = 0,864. \quad (11)$$

Количество потребленной железной дорогой электрической энергии из энергосистемы на движение поезда A' составит, кВт · ч:

$$A' = \frac{A}{\eta_{\text{Э.С.}}} \quad (12)$$

Значение A' необходимо занести в табл.3.

Таблица 3

Показатель	Результаты расчетов								
	A_w	A_T	A_M	$A_{\text{ЭПС}}$	$A_{\text{П}}$	$A_{\text{СН}}$	A	a	A'
Результат, кВт · ч						200			
Процент от A_p , %			—					—	—

7. Анализ результатов расчетов

Студент рассчитывает процент каждой составляющей расхода электрической энергии электровозом A_i (A_w , A_T , $A_{\text{ЭПС}}$, $A_{\text{П}}$, $A_{\text{СН}}$) к полному расходу энергии электровозом A по формуле:

$$\% A_i = \frac{100 A_i}{A} \quad (13)$$

и заносит результат в табл.3.

Затем анализирует влияние каждой из составляющих на расход энергии потребляемой электровозом и отражает это в кратких выводах, объемом не более страницы.