ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Уральский государственный университет путей сообщения

Кафедра «Электрическая тяга»

Курсовой проект

По дисциплине: «Теория электрической тяги»

На тему:

«Тяговые расчеты поездной работы на электрифицированном участке»

Проверил:

Выполнил:

Екатеринбург 2006

**Содержание**

Введение

1. Исходные данные и задание на курсовой проект

2. Анализ исходных данных и выбор расчетного подъема

3. Расчет массы состава и ее проверка

4. Построение диаграммы удельных результирующих сил поезда

5. Тормозная задача

6. Построение кривых движения поезда

7. Построение кривых тока тягового двигателя и электровоза

8. Расчет нагревания тяговых двигателей

9. Расчет полного и удельного расхода электроэнергии

Список использованных источников

**1 Исходные данные.**

**1.1 Индивидуальные исходные данные**

**1.1.1 Электровоз ВЛ-8. Профиль № 10 (таблица 1.1.).**

**1.1.2 Вагонный состав поезда**

Доля (по массе) восьмиосных () и четырехосных () вагонов в составе поезда:

 = 0,02·N, (1.1)

 = 0,02·10 = 0,2

## где N – порядковый номер студента по списку.

 = 1 -  (1.2)

 = 1 – 0,2 = 0,8

Масса в тоннах, приходящихся на ось колесной пары, соответственно:

m08 = 6,5 + 0,5·N, (1.3)

m08 = 6,5 + 0,5·10 = 11,5 т.

m04 = 7,5 + 0,5·N. (1.4)

m04 = 8,5 + 0,5·10 = 13,5 т.

1.1.3 Направление движения –нечетное.

**1.2 Общие данные**

1.2.1 Участок А-Б-В имеет звеньевой путь.

1.2.2 Расположение осей станционных путей следующее:

– ось станции А расположена в начале первого элемента;

– ось станции Б расположена в середине элемента № 13;

– ось станции В расположена в конце последнего элемента.

1.2.3 Длина станционных путей – 1250 м.

1.2.4 Допустимая скорость движения по состоянию путей:

– по перегонам………..80 км/ч;

– по станциям…………60 км/ч.

1.2.5 Допустимый тормозной путь при экстренном торможении –1200 м.

1.2.6 Расчетный тормозной коэффициент поезда – 0,33.

1.2.7 Тормозные колодки – чугунные.

Таблица 1.1 – Продольный профиль и план пути участка А-Б-В

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Номер элемента | Lэ , м | i , % |
| 1 А | 1700 | -0,3 |
| 2 | 600 | -1 |
| 3 | 1100 | 0 |
| 4 | 1900 | 4,5 |
| 5 | 1200 | 0 |
| 6 | 1300 | 3,5 |
| 7 | 1400 | 8 |
| 8 | 1600 | 10 |
| 9 | 1100 | 0 |
| 10 | 1400 | -5 |
| 11 | 1800 | -2 |
| 12 | 800 | 0 |
| 13 Б | 1600 | 0,4 |
| 14 | 1300 | 1,5 |
| 15 | 1700 | 0 |
| 16 | 800 | -7 |
| 17 | 1600 | -12 |
| 18 | 1100 | -2 |
| 19 | 1200 | 0 |
| 20 | 1600 | 10 |
| 21 | 1800 | 2,5 |
| 22 | 800 | 0 |
| 23 | 1700 | -6 |
| 24 | 1000 | -3 |
| 25 | 1500 | -8 |
| 26 | 700 | 0 |
| 27 В | 1000 | 0,2 |
|  | 35300 |  |

**2. Анализ исходных данных и выбор расчетного подъема**

**2.1. Основные данные электровоза**

Таблица 2.1

Основные технические данные и характеристики электровоза.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Серия  электровоза | Тип  ТЭД | m э, т | F ктр, кН | Fкт,  кН | v р,  км/ч | L э,  м | a сн,  кВт·ч/мин | v к,  км/ч |
| ВЛ – 8 | НБ – 406 | 184 | 595 | 456 | 43,3 | 28 | 1,67 | 80 |

Таблица 2.2 – Тяговые характеристики электровоза ВЛ – 8.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| V, км/ч | Fк, кН | | | |
| ПВ | ОВ 1 | ОВ 2 | ОВ 3 |
| 0 | 595 |  |  |  |
| 10 | 499 |  |  |  |
| 20 | 480 |  |  |  |
| 30 | 471 |  |  |  |
| 43,3 | 466 | 600 | - | - |
| 45 | 282 | 397 | 530 | - |
| 50 | 190 | 274 | 362 | 460 |
| 55 | 134 | 196 | 266 | 335 |
| 60 | 98 | 140 | 194 | 254 |
| 65 | 77 | 112 | 151 | 193 |
| 70 | 61 | 87 | 119 | 157 |
| 75 | 50 | 73 | 103 | 133 |
| 80 | 41 | 61 | 88 | 112 |

Таблица 2.3

Токовые характеристики электровоза ВЛ – 8 в режиме тяги.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| V, км/ч | Iэ, А | | | |
| ПВ | ОВ 1 | ОВ 2 | ОВ 3 |
| 40 | 1900 | 3000 | - | - |
| 45 | 1330 | 1830 | 2500 | - |
| 50 | 970 | 1390 | 1900 | 2400 |
| 55 | 770 | 1110 | 1460 | 1870 |
| 60 | 620 | 880 | 1200 | 1530 |
| 65 | 540 | 740 | 1020 | 1290 |
| 70 | 480 | 650 | 900 | 1130 |
| 75 | 430 | 590 | 810 | 1020 |
| 80 | 390 | 540 | 750 | 930 |

Таблица 2.4 – Токи электровоза ВЛ – 8 в период пуска и разгона.

|  |  |
| --- | --- |
| V, км/ч | Iэ, А |
| 0,0  8,2  8,2  18,5  18,5  39,7 | 570  515  1030  980  1960  1910 |

Таблица 2.5 – Тепловая характеристика ТЭД НБ-406, электровоза ВЛ – 8.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Iя, А | 0 | 100 | 200 | 300 | 400 | 450 | 500 | 600 |
| τ∞, С° | 0 | 22 | 46 | 91 | 185 | 260 | 350 | 572 |
| Т, мин | 44 | 44 | 44 | 44 | 44 | 44 | 44 | 44 |

**2.2. Расчет и построение ограничений характеристик**

Сила сцепления в режиме тяги Fсц, кН, определяется по выражению:

Fсц = 9,81·mэ·ψк, (2.1)

где, mэ – масса электровоза.

ψк – расчетный коэффициент сцепления.

Расчетный коэффициент сцепления определяется:

ψк = 0,25+8/(100+20·v) (2.2)

Сила сцепления электровоза при рекуперативном торможении Всц, кН, принимаем равной 0,8 Fсц.

Таблица 2.6 – Ограничение характеристик по силе сцепления.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| V, км/ч | 0 | 10 | 20 | 30 | 43,3 | 50 | 60 | 70 | 80 |
| ψк | 0,330 | 0,277 | 0,266 | 0,261 | 0,258 | 0,257 | 0,256 | 0,255 | 0,255 |
| Fсц, кН | 595,66 | 499,39 | 480,14 | 471,88 | 466,20 | 464,38 | 462,36 | 460,88 | 459,75 |

**2.3. Анализ продольного профиля пути**

В курсовом проекте предполагается массу состава определить из условия движения с равномерной скоростью по расчетному подъему, но надежного метода выбора расчетного подъема нет, поэтому правильность определения расчетного подъема устанавливается при построении кривой скорости движения.

Если длина труднейшего подъема, характер прилегающих к нему элементов профиля пути и расположение остановочных пунктов позволяют предположить, что этот подъем не может быть преодолен с использованием кинетической энергии поезда, то такой подъем следует принимать расчетным.

По данным таблицы 1.1. выбираем три наиболее крутых подъёма:

- элемент 7, i = 8,0 ‰

- элемент 10, i = 10,0 ‰

- элемент 20, i = 10,0 ‰

За расчетный принимаем подъем на элементе 10.

Ось станции А расположена на уклоне i = -0,3 ‰ ось станции Б расположена на подъеме i = 0,4 ‰, ось конечной станции В на подъеме, где i = 0,2 ‰.

Самый крутой спуск на участке элемент 17, i = -12,0 ‰.

**3. Расчет массы состава и ее проверки**

**3.1. Расчет критической массы состава**

Критическая масса состава mс кр, т, определяется по мощности электровоза из условия движения поезда по расчетному подъему с установившейся (равномерной) скоростью и при работе электровоза в расчетном режиме

 (3.1)

где Fкр – расчетная сила тяги электровоза, Н;

g – ускорение свободного падения, м/с2;

wо’ – удельное основное сопротивление движению электровоза при езде под током, Н/кН;

iр – расчетный подъем, ‰;

w”о – удельное основное сопротивление движению состава, Н/кН.

Примечание. За расчетный подъем принимают один из наиболее крутых и один из наиболее длинных по протяженности подъемов, перед которым отсутствуют достаточно легкие элементы профиля пути. Последнее дает основание предположить, что этот подъем не может быть преодолен с использованием кинетической энергии движения поезда. Из вышесказанного следует, что надежного метода выбора расчетного подъема нет. Поэтому правильность определения расчетного подъема может быть установлена только после построения кривой скорости движения поезда и оценки проследования выбранного подъема.

Для всех серий электровозов величину wо’ рассчитывают по формуле

wо’ = 1,9 + 0,01V + 0,0003V2, (3.2)

где V – скорость движения, км/ч.

Для состава, сформированного из четырехосных и восьмиосных вагонов, величину wо” рассчитывают по формуле

 (3.3)

где wо4” – удельное основное сопротивление движению четырехосных вагонов, Н/кН;

wо8” – удельное основное сопротивление движению восьмиосных вагонов, Н/кН.

Удельное основное сопротивление движению груженых четырехосных и восьмиосных вагонов определяют по формулам:

, (3.4)

 (3.5)

где m04, m08 – масса приходящихся на одну ось четырехосного и восьмиосного вагона соответственно, т.

При расчете массы состава, величины wо’ , wо” определяют при V = Vр

Тогда, проведя расчет по формулам (4.1) – (4.5) получим:





wо’ = 1,9 + 0,01·43,3 + 0,0003·43,32 = 2,90 Н/кН



Тогда



**3.2 Проверка критической массы состава по условию взятию поезда с места**

Критическая масса состава должна быть меньше массы mс.тр, полученной по формуле

 (3.6)

где mс.тр – масса состава по условию взятия поезда с места, т;

Fк.тр – сила тяги электровоза при трогании поезда с места, Н;

wтр – удельное основное сопротивление движению состава при трогании поезда с места, Н/кН;

iтр – уклон станционного пути, на котором происходит трогание поезда с места, ‰.

Основное удельное сопротивление движению при трогании поезда с места для вагонов на роликовых подшипниках определяется по формуле

Wтрi = 28 / (moi + 7), (3.7)

где mоi – масса, приходящаяся на ось вагона i-того типа, т.

Для состава из четырехосных и восьмиосных вагонов wтр определяют по выражению

wтр = α4⋅wтр4+ α8⋅wтр8, (3.8)

Очевидно, критическая масса состава проверяется на взятие поезда с

места на остановочном пункте с наиболее тяжелым профилем пути.

Произведя расчеты по формулам (4.6) – (4.8) получим:

Wтр4 = 28 / (11,5 + 7) = 1,51 Н/кН

Wтр8 = 28 / (13,5 + 7) = 1,37 Н/кН

wтр = 0,8⋅1,51+ 0,2⋅1,37 = 1,48 Н/кН



Полученная масса состава значительно превышает то значение mс , которое было получено по формуле (3.1). Это удовлетворяет условию проверки.

**3.3 Проверка массы состава по размещению на станционных путях**

Длина поезда не должна превышать полезной длины приемоотправочных путей на участках обращения данного поезда (с учетом допуска 10 м на установку поезда).

Длина поезда *l*п, м, определяется по формуле

*l*п = *l*с + nл ⋅ *l*л + 10, (3.9)

где *l*с − длина состава, м;

nл − число локомотивов.

Длина состава определяется по формуле

*l*с = Σ(ni ⋅ *l*i), (3.10)

где ni − количество вагонов *i*−го типа в составе;

*l*i − длина вагона *i*−го типа, м.

В курсовом проекте принять *l*4 = 14 м, *l*8 = 21 м.

Количество вагонов определяется по выражению

*n*i = αi ⋅ *m*с / *m*i, (3.11)

где αi − доля вагонов *i*−го типа (по массе);

*m*i − масса одного вагона *i*−го типа, т.

Масса вагона определяется по числу осей и осевой нагрузке.

Тогда по формулам (3.9) – (3.11) получаем:

*n*4 = 

*n*8 = 

*l*с = (66⋅14)+ (7⋅21) = 1071,00 м.

*l*п = 1071,00 + 28 ⋅1 + 10 = 1109,00 ≈ 1110 м.

Данная проверка массы состава по размещению на станционных путях выполнена, т.к. полученная величина *l*п менее длины станционных путей 1250 м по условию задания.

**4. Расчет и построение зависимостей удельных результирующих сил поезда от скорости движения.**

Для получения в дальнейшем кривых движения поезда графическим способом необходимо предварительно рассчитать удельные результирующие силы, действующие на поезд при движении его по прямому и горизонтальному участку пути. При этом удельные результирующие силы поезда рассчитывают и строят на графике в зависимости от скорости движения для всех трех возможных режимов ведения поезда: тяги – fт (V), выбега – fв (V), служебного механического торможения – fсл..т (V). Совместное графическое изображение этих зависимостей принято называть диаграммой удельных результирующих сил поезда.

В тяговом режиме

fт = fк − wо, (4.1)

в режиме выбега

fв = −wох , (4.2)

в режиме экстренного торможения

fэ.т. = − (bт + wо) (4.3)

в режиме служебного механического торможения

fсл.т = − (0,5bт + wох), (4.4)

где fк − удельная сила тяги, Н/кН;

wо − удельное основное сопротивление движению поезда при работе электровоза под током, Н/кН;

wох − удельное основное сопротивление движению поезда при работе электровоза без тока, Н/кН;

bт − удельная тормозная сила при механическом торможении, Н/кН.

В свою очередь

wо = (mл ⋅ wo  + mc ⋅ wо  ) / (mл + mc), (4.5)

wох = (mл ⋅ wx + mc ⋅ wо  ) / (mл + mc), (4.6)

fк = Fк / [( mл + mc) ⋅ g], (4.7)

bт = 1000ϕкр ⋅ υр; (4.8)

где wх  − удельное основное сопротивление движению электровоза при

работе его без тока, Н/кН;

Fк  − сила тяги электровоза, Н;

ϕкр − расчетный коэффициент трения колодок о бандаж;

υр − расчетный тормозной коэффициент поезда.

Для всех серий электровозов

wх = 2,4 + 0,011V + 0,00035V2. (4.9)

Для чугунных тормозных колодок

ϕкр = 0,27(V + 100) / (5V + 100). (4.10)

Расчет значений удельных сил поезда выполняют для ряда скоростей движения с интервалом 10 км/ч в диапазоне от нуля до конструкционной скорости.

В диапазоне скоростей движения от нуля до скорости выхода на характеристику полного возбуждения ПВ силу тяги принимают равной силе сцепления.

Сопротивление движению электровоза и состава при скоростях от 0 до 10 км/ч принимают неизменным и равным его величине при скорости движения 10 км/ч.

Таблица 4.1 – Удельные сопротивления движению электровоза и состава в различных режимах работы.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| V, км/ч | 0 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 43,3 | 45 | 50 | 55 | 60 | 65 | 70 | 75 | 80 |
| W0'= | 2,030 | 2,030 | 2,118 | 2,220 | 2,338 | 2,470 | 2,618 | 2,780 | 2,890 | 2,958 | 3,150 | 3,358 | 3,580 | 3,818 | 4,070 | 4,338 | 4,620 |
| Wx= | 2,545 | 2,545 | 2,644 | 2,760 | 2,894 | 3,045 | 3,214 | 3,400 | 3,53 | 3,604 | 3,825 | 4,064 | 4,320 | 4,594 | 4,885 | 5,194 | 5,520 |
| W04"= | 1,070 | 1,070 | 1,140 | 1,222 | 1,314 | 1,417 | 1,532 | 1,657 | 1,74 | 1,792 | 1,939 | 2,097 | 2,265 | 2,445 | 2,635 | 2,836 | 3,048 |
| W08"= | 1,188 | 1,188 | 1,222 | 1,263 | 1,312 | 1,369 | 1,434 | 1,506 | 1,55 | 1,586 | 1,674 | 1,770 | 1,873 | 1,985 | 2,104 | 2,231 | 2,365 |
| W0"= | 1,093 | 1,093 | 1,157 | 1,230 | 1,314 | 1,408 | 1,512 | 1,626 | 1,70 | 1,751 | 1,886 | 2,031 | 2,187 | 2,353 | 2,529 | 2,715 | 2,911 |
| W0= | 1,137 | 1,137 | 1,201 | 1,276 | 1,362 | 1,457 | 1,564 | 1,680 | 1,76 | 1,808 | 1,945 | 2,093 | 2,252 | 2,421 | 2,601 | 2,791 | 2,991 |
| W0x= | 1,161 | 1,161 | 1,226 | 1,302 | 1,388 | 1,484 | 1,592 | 1,709 | 1,79 | 1,838 | 1,977 | 2,126 | 2,287 | 2,457 | 2,639 | 2,831 | 3,033 |

Таблица 4.2 – Результаты расчета (тяговый режим)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | V, км/ч | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 43,3 | 45 | 50 | 55 | 60 | 65 | 70 | 75 | 80 |
| W0= | 1,13 | 1,13 | 1,27 | 1,45 | 1,68 | 1,76 | 1,80 | 1,94 | 2,09 | 2,25 | 2,42 | 2,60 | 2,79 | 2,99 |
| Fк | ПВ | 596 | 499 | 480 | 472 | 447 | 447 | 282 | 190 | 134 | 98 | 77 | 61 | 50 | 41 |
| ОВ 1 |  |  |  |  | 600 | 600 | 397 | 274 | 196 | 140 | 112 | 87 | 73 | 61 |
| ОВ 2 |  |  |  |  |  |  | 530 | 362 | 266 | 194 | 151 | 119 | 103 | 88 |
| ОВ 3 |  |  |  |  |  |  |  | 460 | 335 | 254 | 193 | 157 | 133 | 112 |
| fк | ПВ | 15,44 | 12,93 | 12,43 | 12,23 | 11,58 | 11,58 | 7,30 | 4,92 | 3,47 | 2,53 | 1,99 | 1,58 | 1,29 | 1,06 |
| ОВ 1 |  |  |  |  | 15,54 | 15,54 | 10,28 | 7,10 | 5,07 | 3,62 | 2,90 | 2,25 | 1,89 | 1,58 |
| ОВ 2 |  |  |  |  |  |  | 13,73 | 9,38 | 6,89 | 5,02 | 3,91 | 3,08 | 2,66 | 2,28 |
| ОВ 3 |  |  |  |  |  |  |  | 11,91 | 8,68 | 6,58 | 5,00 | 4,06 | 3,44 | 2,90 |
| fт | ПВ | 14,30 | 11,79 | 11,16 | 10,77 | 9,90 | 9,81 | 5,50 | 2,97 | 1,37 | 0,28 | -0,42 | -1,02 | -1,49 | -1,92 |
| ОВ 1 |  |  |  |  | 13,86 | 13,78 | 8,47 | 5,15 | 2,98 | 1,37 | 0,48 | -0,34 | -0,89 | -1,41 |
| ОВ 2 |  |  |  |  |  |  | 11,92 | 7,43 | 4,79 | 2,77 | 1,49 | 0,48 | -0,12 | -0,71 |
| ОВ 3 |  |  |  |  |  |  |  | 9,97 | 6,58 | 4,33 | 2,58 | 1,46 | 0,65 | -0,08 |

Таблица 4.3 – Результаты расчета (выбег)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| V, км/ч | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 43,3 | 50 | 60 | 70 | 80 |
| W0x | 1,16 | 1,16 | 1,30 | 1,48 | 1,70 | 1,79 | 1,97 | 2,28 | 2,63 | 3,03 |
| f в | -1,16 | -1,16 | -1,30 | -1,48 | -1,70 | -1,79 | -1,97 | -2,28 | -2,63 | -3,03 |

Таблица 4.4 – Результаты расчета (механическое торможение)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| V, км/ч | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 |
| W0x | 1,161 | 1,161 | 1,302 | 1,484 | 1,709 | 1,977 | 2,287 | 2,639 | 3,033 |
| φкр | 0,270 | 0,198 | 0,162 | 0,140 | 0,126 | 0,116 | 0,108 | 0,102 | 0,097 |
| vр | 0,330 | 0,330 | 0,330 | 0,330 | 0,330 | 0,330 | 0,330 | 0,330 | 0,330 |
| bт | 89,100 | 65,340 | 53,460 | 46,332 | 41,580 | 38,186 | 35,640 | 33,660 | 32,076 |
| fсл.т | -45,71 | -33,83 | -28,03 | -24,65 | -22,49 | -21,07 | -20,10 | -19,46 | -19,07 |

Таблица 4.5 – Результаты расчета (экстренное торможение)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| V, км/ч | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 |
| W0x= | 1,16 | 1,16 | 1,30 | 1,48 | 1,709 | 1,97 | 2,28 | 2,63 | 3,03 |
| bт= | 89,1 | 65,34 | 53,46 | 46,33 | 41,58 | 38,18 | 35,64 | 33,66 | 32,07 |
| f= | -90,26 | -66,50 | -54,76 | -47,81 | -43,28 | -40,16 | -37,92 | -36,29 | -35,10 |

Полученные расчетные значения вышеприведенных физических величин заносятся в соответствующие таблицы, по данным которых на отдельном листе миллиметровой бумаги строится диаграмма удельных результирующих сил поезда - fт(V), fв(V), и fсл.т(V).

**5. Тормозная задача**

Определение допустимых скоростей движения поезда на спусках производится с целью недопущения проследования поездом участков пути, имеющих спуски, со скоростями движения, превышающими допустимые значения по тормозным средствам поезда. Такая задача называется тормозной задачей и решается путем расчета режима экстренного торможения поезда, когда по заданным значениям тормозного пути Sт, профиля пути (в данном случае величины спуска) iс и тормозным средствам поезда bт определяется максимально допустимое значение скорости начала торможения Vнт.

Зависимость действительного тормозного пути от скорости начала торможения Sд(Vнт) определяют путем решения графическим методом МПС основного уравнения движения поезда в режиме его экстренного торможения, когда удельная равнодействующая сила поезда fэкс.т равна

fэкс.т = - bт - wох. (5.1)

Полный тормозной путь Sт, м, имеет две составляющие

Sт = Sп + Sд, (5.2)

где Sп – подготовительный тормозной путь, м;

Sд – действительный тормозной путь, м.

Путь Sп, пройденный поездом за время подготовки тормозов к дей­ствию, находится по формуле

Sп = 0,278Vнт ⋅ tп, (5.3)

где Vнт – скорость движения поезда в момент начала торможения, км/ч;

tп – время подготовки тормозов к действию, с.

В зависимости от количества осей в грузовом составе Nо время нахо­дят по одной из эмпирических формул:

– при Nо ≤ 200

tп = 7 - 10ic / bт; (5.4)

– при 300 ≥ Nо > 200

tп = 10 - 15ic / bт; (5.5)

– при Nо > 300

tп = 12 - 18ic / bт, (5.6)

где ic – значение спуска, на котором решается тормозная задача, %о.

Количество осей в составе определяется по формуле

Nо = 4n4 + 8n8. (5.7)

Таким образом, расчет значений подготовительного тормозного пути Sп выполняют по (5.2) с учетом (5.3 – 5.6) для ряда скоростей начала торможения в диапазоне от 0 до Vк с шагом 10 км/ч и результаты расчетов заносят в специально подготовленную таблицу.

Таблица 5.1 Результаты расчетов

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| V, км/ч | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 |
| W0x | 1,161 | 1,161 | 1,302 | 1,484 | 1,709 | 1,977 | 2,287 | 2,639 | 3,033 |
| bт | 89,1 | 65,34 | 53,46 | 46,332 | 41,58 | 38,185 | 35,64 | 33,66 | 32,076 |
| tп | 14,42 | 15,305 | 16,040 | 16,662 | 17,194 | 17,656 | 18,060 | 18,417 | 18,734 |
| Sп | 0 | 42,550 | 89,184 | 138,961 | 191,206 | 245,426 | 301,251 | 358,397 | 416,644 |
| f | -90,261 | -66,501 | -54,762 | -47,816 | -43,289 | -40,162 | -37,927 | -36,298 | -35,109 |

Примеры расчетов для скорости 80 км/ч:

Nо = 4·66 + 8·7 = 320 осей

tп = 12- (18·(-12))/32,076 = 18,734 с

Sп = 0,278 · 80 ⋅ 18,734 = 416,644 м

fэкс.т = - 32,076 + 3,033 = -35,109 Н/кН

Учитывая, что зависимость Sп(Vнт) начинается в начале заданного тормозного пути и имеет нарастающий характер, а зависимость Sд(Vнт) заканчивается в конце заданного тормозного пути и имеет убывающий характер, то очевидно, что две эти зависимости на интервале тормозного пути пересекаются, а точка их пересечения и есть решение тормозной задачи. В результате построения графика точка пересечения Sп и Sд получилась на скорости 73 км/ч.

Поэтому выбираем предельную скорость следования поезда по перегону 70 км/ч.

**6. Построение кривых движения поезда**

**6.1 Метод получения кривых движения**

Кривые движения - зависимости скорости движения и времени хода от пути. Эти кривые получают в результате решения дифференциального уравнения

 = 120f ; (6.1)

 = V, (6.2)

где V − скорость движения поезда, км/ч;

S − путь, пройденный поездом, км;

f − удельная результирующая сила, действующая на поезд, Н/кН;

t − время движения поезда, ч.

В курсовом проекте рекомендуется использовать графический способ интегрирования уравнений (6.1 )-(6.2) - способ МПС. Сначала строим кривую V(S), затем t(S).

**6.2 Построение кривой скорости движения поезда V(S) способом МПС**

Для построения кривой скорости необходима диаграмма f(V), построенная на миллиметровой бумаге. Масштабы пути, скорости движения и силы увязываются между собой.

Для получения очередного отрезка кривой V(S) необходимо выполнить следующее:

а) выбрать режим ведения поезда;

б) при уклоне i≠0 перенести начало координат на диаграмме f(V) в точку на оси, где f=i;

в) определить знак силы f при начальной скорости (при новом положении начала координат). Знак силы определяет знак приращения скорости движения ∆V;

г) определить абсолютную величину приращения скорости ∆V, среднюю скорость движения Vcp и очередное значение скорости движения Vn+1 по выражениям:

Vср =Vn +∆V/2 , (6.3)

Vn+1 =Vn+∆V, (6.4)

д) при определении ∆V необходимо чтобы соблюдались условия:

|∆V|≤∆Vmax, (6.5)

Vn+1 ≤Vдоп, (6.6)

где ∆Vmax — максимально допустимое приращение скорости движения. Согласно ПТР ∆V = 5... 1 0 км/ч

— допустимая скорость движения на рассматриваемом элементе профиля пути.

Кроме того, необходимо следить, чтобы точки излома кривой f(V) и значение установившейся скорости движения не попадали внутрь интервала ∆V

е) на кривой f(V) для выбранного режима ведения поезда находим точку. соответствующую скорости Vср , и из этой точки проводим луч в начало координат;

ж) на графике V(S), ось скорости которого должна быть параллельна оси V на диаграмме f(V) через начальную точку кривой скорости V провести в пределах ∆V отрезок прямой, перпендикулярный полученному лучу на диаграмме f(V). Конец этого отрезка принимаем за начальную точку скорости движения на следующем отрезке пути. При подходе к перелому профиля пути чаще всего последняя точка, построенная для данного элемента, попадает на следующий элемент с другим уклоном. В этом случае отрезок кривой скорости проводят только до границы элемента, и точка пересечения с границей элемента принимается за начальную точку кривой скорости на следующем элементе профиля пути.

Далее необходимо перейти к пункту а) и повторить рассмотренные действия.

На кривой скорости в местах изменения условий ведения поезда делаем отметки необходимые для дальнейшего построения кривых тока.

Кривую скорости строят для двух вариантов движения с остановкой на промежуточной станции и без остановки).

**6.3 Выбор режима ведения поезда**

Для исключения неопределенности при выборе режима ведения поезда выбираем условия, соблюдение которых дает однозначное решен задачи. Такими условиями могут быть: получение наименьшего времени хода; получение наименьшего расхода электроэнергии при соблюдении данного времени хода; получение наименьших эксплуатационных затрат и многое другое.

Если каждый элемент профиля пути будет проследован с наименьшим временем, то и общее время хода будет минимальным.

Для получения наибольшей средней скорости требуется наибольшая результирующая сила, которая получается в тяговом режиме с наибольшими тяговыми усилиями (с учетом действующих ограничений силы тяги).

При одном и том же ускорении средняя скорость тем больше, чем больше начальная скорость.

Скорость движения поезда ограничена конструкцией пути, вагонов и локомотива и при тяговом режиме может достичь допустимого значения, В этом случае для обеспечения наименьшего времени хода движение поезда до конца элемента должно осуществляться с допустимой скоростью. Режим ведения поезда

с постоянной скоростью определяется из условия равенства нулю результирующей силы при этой скорости. Однако часто ни в одном из режимов это условие не выполняется, и тогда за счет чередования режимов скорость движения поддерживается около допустимого значения.

Движение с возможной наибольшей силой тяги до конца элемента профиля пути, или до точки пути, где скорость достигает максимального значения, дальнейшее движение со скоростью, близкой к допустимой, обеспечивает наибольшую скорость в конце рассматриваемого элемента профиля пути. Тем самым создаётся условие для получения наименьшего времени хода на следующем элементе.

**6.4 Построение кривой t(S) способом МПС**

Построение кривой t(S) начинаем с выбора масштаба времени mi и полюсного расстояния ∆. При построении кривой скорости были выбраны масштабы скорости движения и пути. Этим масштабам соответствии mi=10 мм/мин и ∆=30 мм. Кривую времени строю на одном графике с кривой скорости.

В результате выполненных построений, получаем время хода поезда с остановкой и без остановки.

**7. Построение кривых тока.**

Кривые тока строим на графике кривых движения. Для каждой точки кривой скорости по токовым характеристикам находим ток электровоза Iэ(V), ток который потребляется в тяговом режиме или отдается в контактную сеть в режиме рекуперации.

В точках пути, где режим работы электровоза меняется — определяем два значения тока (до и после изменения режима). Также с помощью скоростных характеристик двигателя Iя(V) определяем ток двигателя.

**8. Расчет нагревания тяговых двигателей**

Целью расчета нагревания тяговых двигателей является определение превышения температуры обмоток двигателя над температурой окружающего воздуха при работе электровоза на участке. При этом максимальное превышение температуры обмоток двигателя не должно быть больше их допустимого значения.

Превышение температуры , 0С, обмоток двигателя определяют по выражению

 = ·  / T +  (1 -  / T) (8.1)

при соблюдении условия

 / T ≤ 0.1, (8.2)

где  - i-й интервал времени;

 - превышение температуры двигателя в начале интервала , 0С;

 - превышение температуры двигателя в конце интервала , 0С;

 - установившееся превышение температуры обмоток двигателя при работе двигателя со средним значением тока в интервале , 0С;

Т - постоянная времени процесса нагревания двигателя, мин.

Расчеты по выражению (8.1) выполняются для всех интервалов времени  последовательно от начала участка до его конца, включая интервалы времени работы электровоза без тока (в последнем случае  = 0).

Для каждого отрезка кривой тока двигателя определяется среднее значение тока и соответствующий ему интервал времени  (по кривой времени), затем по тепловой характеристике двигателя для найденного среднего тока определяется соответствующее ему значение , после чего выполняется расчет  по формуле (8.1) и т.д.

Результаты расчетов сведем в таблицу 9.1.

Расчет на нагрев ТЭД показал, что превышение температуры обмоток двигателя над температурой окружающего воздуха составило 57,23 0С, что не превышает допустимого значения 120 0С.

**9. Расчет полного и удельного расхода электроэнергии**

Полный расход электроэнергии А, кВт.ч, потребляемой электровозом из контактной сети при работе его на участке, складывается из расхода электроэнергии на собственные нужды Асн, кВт.ч, расхода электроэнергии на тягу поезда Ат, кВт.ч, и возврата электроэнергии при рекуперативном торможении Ар, кВт.ч:

А = Асн + Ат + Ар. (9.1)

Расход электроэнергии на собственные нужды определяется по выражению

Асн = асн · Туч / 60, (9.2)

где асн – удельный расход электроэнергии на собственные нужды, кВт.ч/мин;

Туч - время работы электровоза на участке, мин.

Расход электроэнергии в режиме тяги определяется по формуле

Ат = (Uс / 60) ( Iт.ср.i · ), (9.3)

где Uc - напряжение контактной сети, кВ;

Iт.ср.i - среднее значение тока электровоза в режиме тяги на интервале времени , А;

n - количество отрезков пути (интервалов времени ), проходимых электровозом в режиме тяги.

Для электровозов постоянного тока: Uс = 3 кВ, Uр = 3.3 кВ.

Удельный расход электроэнергии а, кВт.ч/10 т.км брутто, определяется по выражению

а = А / (m · Lуч · 10-4), (9.5)

где m - масса поезда, т.

Lуч – длина участка.

А – расход электроэнергии на тягу.

а = 805,56 / (3750 · 35,3 · 10-4) = 60,854 кВт∙ч/10 т∙км брутто

Таблица 9.1 - Расчет нагрева тяговых двигателей, полного и удельного расхода электроэнергии.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Участок | Iэн, А | Iэк, А | Iэср, А | ∆t,  мин | ∆ti / Т | Iдср, А | τ ∞ ,  0С | τ ,  0С | А,  кВт∙ч | Ат,  кВт∙ч |
| 1.-2. | 580 | 1020 | 800 | 0,5 | 0,011 | 510 | 350 | 15 | 20,45 | 20 |
| 2.-3. | 1020 | 1970 | 1495 | 0,9 | 0,02 | 470 | 300 | 20,83 | 67,73 | 67,28 |
| 3.-4. | 1970 | 1940 | 1955 | 0,4 | 0,01 | 487,5 | 340 | 23,73 | 39,55 | 39,1 |
| 4.-5. | 1940 | 1910 | 1925 | 0,4 | 0,01 | 480 | 315 | 26,38 | 38,95 | 38,5 |
| 5.-6. | 1910 | 2120 | 2015 | 0,18 | 0,00 | 502,5 | 355 | 27,72 | 18,59 | 18,14 |
| 6.-7. | 2120 | 2240 | 2180 | 0,12 | 0,00 | 545 | 450 | 28,87 | 13,53 | 13,08 |
| 7.-8. | 2240 | 1620 | 1930 | 0,1 | 0,00 | 478,8 | 315 | 29,52 | 10,10 | 9,65 |
| 8.-9. | 1620 | 1600 | 1610 | 0,3 | 0,01 | 402,5 | 185 | 30,58 | 24,60 | 24,15 |
| 9.-10. | 1600 | 1380 | 1490 | 0,25 | 0,01 | 372,5 | 155 | 31,29 | 19,08 | 18,63 |
| 10.-11. | 1380 | 1220 | 1300 | 0,25 | 0,01 | 325 | 110 | 31,74 | 16,70 | 16,25 |
| 11.-12. | 1220 | 1300 | 1260 | 0,6 | 0,01 | 315 | 105 | 32,74 | 38,25 | 37,8 |
| 12.-13. | 1300 | 1140 | 1220 | 0,3 | 0,01 | 305 | 100 | 33,20 | 18,75 | 18,3 |
| 13.-14. | 1140 | 1230 | 1185 | 0,4 | 0,01 | 295 | 80 | 33,63 | 24,15 | 23,7 |
| 14.-15. | 1230 | 2000 | 1615 | 0,5 | 0,01 | 402,5 | 185 | 35,35 | 40,83 | 40,38 |
| 15.-16. | 2000 | 2400 | 2200 | 0,5 | 0,01 | 550 | 460 | 40,18 | 55,45 | 55 |
| 16.-17. | 2400 | 2280 | 2340 | 0,5 | 0,01 | 585 | 540 | 45,86 | 58,95 | 58,5 |
| 17.-18. | 2280 | 1900 | 2090 | 0,1 | 0,00 | 522,5 | 395 | 46,65 | 10,90 | 10,45 |
| 18.-19. | 1900 | 1540 | 1720 | 0,4 | 0,01 | 430 | 230 | 48,32 | 34,85 | 34,4 |
| 19.-20. | 0 | 0 | 0 | 0,1 | 0,00 | 0 | 0 | 48,21 | 0,45 | 0 |
| 20.-21. | 0 | 0 | 0 | 0,5 | 0,01 | 0 | 0 | 47,66 | 0,45 | 0 |
| 21.-22. | 0 | 0 | 0 | 0,5 | 0,01 | 0 | 0 | 47,12 | 0,45 | 0 |
| 22.-23. | 0 | 0 | 0 | 0,1 | 0,00 | 0 | 0 | 47,01 | 0,45 | 0 |
| 23.-24. | 0 | 0 | 0 | 0,2 | 0,01 | 0 | 0 | 46,80 | 0,45 | 0 |
| 24.-25. | 1900 | 1520 | 1710 | 0,2 | 0,01 | 427,5 | 228 | 47,62 | 17,55 | 17,1 |
| 25.-26. | 0 | 0 | 0 | 0,45 | 0,01 | 0 | 0 | 47,13 | 0,45 | 0 |
| 26.-27. | 1860 | 1500 | 1680 | 0,5 | 0,01 | 420 | 215 | 49,04 | 42,45 | 42 |
| 27.-28. | 1500 | 1180 | 1340 | 0,5 | 0,01 | 335 | 120 | 49,85 | 33,95 | 33,5 |
| 28.-29. | 0 | 0 | 0 | 0,2 | 0,01 | 0 | 0 | 49,62 | 0,45 | 0 |
| 29.-30. | 0 | 0 | 0 | 0,1 | 0,00 | 0 | 0 | 49,51 | 0,45 | 0 |
| 30.-31. | 0 | 0 | 0 | 0,1 | 0,00 | 0 | 0 | 49,40 | 0,45 | 0 |
| 31.-32. | 0 | 0 | 0 | 0,3 | 0,01 | 0 | 0 | 49,06 | 0,45 | 0 |
| 32.-33. | 0 | 0 | 0 | 0,15 | 0,00 | 0 | 0 | 48,89 | 0,45 | 0 |
| 33.-34. | 0 | 0 | 0 | 0,2 | 0,01 | 0 | 0 | 48,67 | 0,45 | 0 |
| 34.-35. | 0 | 0 | 0 | 0,35 | 0,008 | 0 | 0 | 48,28 | 0,45 | 0 |
| 35.-36. | 1320 | 1950 | 1635 | 0,15 | 0,003 | 408,7 | 200 | 48,80 | 12,72 | 12,26 |
| 36.-37. | 1950 | 2400 | 2175 | 0,2 | 0,005 | 543,8 | 445 | 50,60 | 22,2 | 21,75 |
| 37.-38. | 2400 | 2080 | 2240 | 0,35 | 0,008 | 560 | 480 | 54,02 | 39,65 | 39,2 |
| 38.-39. | 2080 | 1900 | 1990 | 0,05 | 0,001 | 497,5 | 350 | 54,36 | 5,43 | 4,98 |
| 39.-40. | 1900 | 1530 | 1715 | 0,6 | 0,014 | 430 | 230 | 56,76 | 51,9 | 51,45 |
| 40.-41. | 1530 | 1520 | 1525 | 0,2 | 0,005 | 380 | 160 | 57,23 | 15,7 | 15,25 |
| 41.-42. | 0 | 0 | 0 | 0,25 | 0,006 | 0 | 0 | 56,90 | 0,45 | 0 |
| 42.-43. | 0 | 0 | 0 | 0,15 | 0,003 | 0 | 0 | 56,71 | 0,45 | 0 |
| 43.-44. | 0 | 0 | 0 | 0,38 | 0,009 | 0 | 0 | 56,22 | 0,45 | 0 |
| 44.-45. | 0 | 0 | 0 | 0,02 | 0 | 0 | 0 | 56,19 | 0,45 | 0 |
| 45.-46. | 0 | 0 | 0 | 0,1 | 0,002 | 0 | 0 | 56,06 | 0,45 | 0 |
| 46.-47. | 0 | 0 | 0 | 0,3 | 0,007 | 0 | 0 | 55,68 | 0,45 | 0 |
| 47.-48. | 0 | 0 | 0 | 0,25 | 0,006 | 0 | 0 | 55,36 | 0,45 | 0 |
| 48.-49. | 0 | 0 | 0 | 0,15 | 0,003 | 0 | 0 | 55,17 | 0,45 | 0 |
| 49.-50. | 0 | 0 | 0 | 0,2 | 0,005 | 0 | 0 | 54,92 | 0,45 | 0 |
| 50.-51. | 0 | 0 | 0 | 0,4 | 0,009 | 0 | 0 | 54,42 | 0,45 | 0 |
| 51.-52. | 0 | 0 | 0 | 0,6 | 0,014 | 0 | 0 | 53,68 | 0,45 | 0 |
| 52.-53. | 0 | 0 | 0 | 0,2 | 0,005 | 0 | 0 | 53,44 | 0,45 | 0 |
| 53.-54. | 0 | 0 | 0 | 0,2 | 0,007 | 0 | 0 | 53,08 | 0,45 | 0 |
| 54.-55. | 0 | 0 | 0 | 0,1 | 0,37 | 0 | 0 | 33,42 | 0,45 | 0 |
| 55.-56. | 0 | 0 | 0 | 0,3 | 0 | 0 | 0 | 33,42 | 0,45 | 0 |
| Итого |  |  |  | 16,3 |  |  |  | 57,23 | 805,56 |  |

**Список использованных источников**

1. Правила тяговых расчетов для поездной работы (ПТР). – М.: Транспорт, 1985. – 287 с.
2. Розенфельд В.Е., Исаев И.П., Сидоров Н.Н. Теория электрической тяги. - М.: Транспорт, 1983. – 328 с.
3. Низов А.С., Пяткова А.Г. Основные требования к содержанию и оформлению дипломных проектов: Методические указания. – Екатеринбург, 2000. – 75 с.