ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Уральский государственный университет путей сообщения

Кафедра электрической тяги

**КУРСОВОЙ ПРОЕКТ**

**на тему: «Тяговые расчеты для поездной работы»**

**по дисциплине: Подвижной состав**

Проверил: Выполнил:

преподаватель студент группы БП – 414

Фетисова Н.Г. Пьянкова Ж.А.

Екатеринбург

2007

Содержание

Введение ………………………………………………………………………..…3

1 Исходные данные и задание на курсовую работу……………………….......4

1.1 Общие данные………………………………………………………………...4

1.2 Индивидуальные данные……………………………………………….........4

1.3 Задание …………………………………………………………………….….5

2 Содержание курсовой работы ………………………………………………...6

2.1 Определение основных технических данных локомотива ……………….6

2.2 Определение расчетной массы состава …………………………………..…6

2.3 Построение диаграммы удельных результирующих сил поезда ………... 9

2.4 Определение допустимой скорости движения поезда на спусках………12

2.5 Построение кривых движения поезда на участке ………………………..14

Заключение…………………………………………………………………….... 15

Список литературы ………..……………………………………………………16

Приложение А Диаграмма удельных результирующих сил…..……………..17

Приложение Б Графическое решение тормозной задачи….…..……………..18

Приложение В Кривые движения поезда…………..….…...………………...19

**Введение**

В теории тяги изучают управляемое движение поездов. При этом поезд рассматривают как управляемую систему, функционирующую в условиях переменных возмущающих воздействий внешней среды, наложения внутренних и внешних удерживающих связей и нормативных ограничений ее управляющих воздействий.

В тяге поездов принято считать, что локомотив и вагоны, связанные между собой автосцепками, движутся в пространстве и времени как единое целое – как система, не имеющая никаких других движений, кроме управляемого.

Очевидно, что автосцепки являются внутренними, а рельсы – внешними удерживающими связями, определяющими траекторию движения и направление сил, воздействующих на управляемое движение поезда.

Расчетную часть теории тяги поездов называют тяговыми расчетами. Тяговые расчеты используются для разработки графика движения поездов, изыскания и проектирования железных дорог, расчетов в области экономической эффективности перевозок. В данной курсовой работе рассчитываются важнейшие задачи по тяговым расчетам, которые являются основным расчетным инструментом в деле рационального функционирования, планирования и развития железных дорог: определение расчетной массы состава, построение диаграммы удельных результирующих сил поезда, определение допустимой скорости движения поезда на спусках, построение кривых движения поезда на участке.

1. **Исходные данные и задание на курсовую работу**
   1. **Общие данные**
      1. Участок А-Б-В имеет звеньевой путь.
      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. Длина станционных путей – 1250 м.
    2. Допустимая скорость движения по состоянию путей:
* по перегонам ……………. 80 км/ч;
* по станциям ……………... 60 км/ч.
  + 1. Допустимый тормозной путь при экстренном торможении – 1200 м.
    2. Расчетный тормозной коэффициент поезда – 0,33.
    3. Тормозные колодки – чугунные.
  1. **Индивидуальные исходные данные**
     1. **Серия локомотива – ВЛ8, профиль пути участка А-Б-В − № 16.**

Таблица 1.1 – Профиль пути участка пути А-Б-В

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Элемент пути | Длина,  Lэ, м | Уклон, i, ‰ | Элемент пути | Длина,  Lэ, м | Уклон,i, ‰ | Элемент пути | Длина,  Lэ, м | Уклон, i, ‰ |
| 1 | 800 | 0,2 | 10 | 1000 | 0 | 19 | 1500 | -4 |
| 2 | 1300 | 2,5 | 11 | 600 | 3 | 20 | 1600 | -11 |
| 3 | 1300 | 5 | 12 | 1200 | 1 | 21 | 600 | -3 |
| 4 | 1000 | 6 | 13 | 1500 | 0 | 22 | 800 | 0 |
| 5 | 800 | 3 | 14 | 900 | 2,5 | 23 | 1900 | 9 |
| 6 | 1700 | 5,5 | 15 | 1200 | 2 | 24 | 700 | 4 |
| 7 | 1200 | 4 | 16 | 1200 | 1 | 25 | 1500 | 1 |
| 8 | 1500 | 7,5 | 17 | 1400 | 0 | 26 | 1500 | 0 |
| 9 | 1900 | 9 | 18 | 1400 | -3 | 27 | 1100 | -0,5 |
| Lуч, м | | | 33100 | | |  | | |

* + 1. **Вагонный состав поезда**

Доля (по массе) восьмиосных (α8) и четырехосных (α4) вагонов в составе поезда:

α8 = 0,2 + 0,02N, (1.1)

α8 = 0,2 + 0,02\*16 = 0,52;

α4 = 1 - α8, (1.2)

α4 = 1 – 0,52 = 0,48.

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

m08 = 13 + 0,2N, (1.3)

m08 = 13 + 0,2 \* 16 = 16,2, т;

m04 = 15 + 0,2N, (1.4)

m04 = 15 + 0,2 \* 16 = 18,2, т;

где N – порядковый номер студента по списку.

* + 1. **Начальные условия**

Начальная километровая отметка участка Sо, км

Sо = 520 + 100N, (1.8)

Sо = 520 + 100\*16 = 2120, км.

Cкорость движения поезда в начале участка Vо, км/ч

Vо = 5 + N, (1.9)

Vо = 5 + 16 = 21, км/ч.

Начальное значение времени движения поезда to, мин

to = 0,3N, (1.10)

to = 0,3\*16 = 4,8, мин.

* 1. **Задание**

Определить расчетную массу состава.

Определить допустимую скорость движения поезда на спусках.

Построить зависимости V(S) и t(S) при движении поезда по участку с расчетной массой состава и оценить полученные результаты:

* по значениям технической и участковой скоростей движения;
* по режиму проследования расчетного подъема.
  + 1. Тяговые расчеты должны быть выполнены при условии варианта:

без остановки на промежуточной станции и без учета предупреждения;

Тяговые расчеты должны быть произведены с наибольшим использованием тяговых свойств локомотива и допустимых скоростей движения поезда с целью получения наименьших значений перегонных времен хода.

1. **Содержание курсовой работы**
   1. **Определение основных технических данных локомотива**

Основные технические данные локомотива серии ВЛ8:

* сила тяги при трогании с места Fк тр = 607 кН;
* расчетная сила тяги Fк р = 465 кН;
* расчетная скорость движения Vр = 43,3 км/ч;
* конструкционная скорость движения Vк = 80 км/ч;
* масса локомотива mл = 184 т;
* длина локомотива lл = 28 м.

Ограничение тяговой характеристики локомотива по сцеплению Fсц, кН:

Fсц = 9,81\* mл\*ψк, (2.1)

где mл – масса локомотива, т;

ψк – расчетный коэффициент сцепления:

ψк = 0,25 + 8/(100+20\*V) (2.2)

Vp = 43,3 км/ч: ψк = 0,25 + 8/(100+20\*43,3) = 0,258,

Fсц = 9,81\* 184\*0,258 = 466,0 кН;

Таблица 2.1 – Ограничение тяговой характеристики локомотива серии ВЛ8 по сцеплению

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| V, км/ч | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 43,3 |
| Fсц, кН | 596,0 | 500,0 | 480,5 | 471,5 | 467,5 | 466,0 |

Тяговую характеристику локомотива серии ВЛ8 Fк(V) и ее ограничение Fсц(V) (рисунок 2.1) строим на миллиметровой бумаге в удобном для пользования масштабе.

* 1. **Определение расчетной массы состава**
     1. **Расчет критической массы состава**

Критическую массу состава mс кр, т, определяют по мощности локомотива из условия движения поезда по расчетному подъему с установившейся (равномерной) скоростью при работе локомотива в расчетном режиме V = Vр:

mс кр = (Fкр/g) – mл (w'o + ip), (2.3)

w''o + ip

где Fкр – расчетная сила тяги, Н;

g – ускорение свободного падения, м/с2;

w'o – удельное основное сопротивление движению электровоза при езде под током, Н/кН;

ip – расчетный подъем, ‰;

w''o – удельное основное сопротивление движению состава, Н/кН.

Величину w'o рассчитывают по формуле

w'o = 1,9 + 0,01V + 0,0003V2, (2.4)

w'o = 1,9 + 0,01\*43,3 + 0,0003\*43,32 = 2,90, Н/кН,

где V – скорость движения, км/ч.

Для состава, сформированного из четырехосных и восьмиосных вагонов, величину w''o рассчитывают по формуле

w''o = α4\* w''o4 + α8\* w''o8, (2.5)

где w''o4 – удельное основное сопротивление движению четырехосных вагонов, Н/кН;

w''o8 – удельное основное сопротивление движению восьмиосных вагонов, Н/кН.

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

w''o4 = 0,7 + 3+0,1V+0,0025V2 , (2.6)

mo4

w''o4 = 0,7 + 3+0,1\*43,3+0,0025\*43,32 = 1,36, Н/кН,

18,2

w''o8 = 0,7 + 6+0,038V+0,0021V2 , (2.7)

mo8

w''o8 = 0,7 + 6+0,038\*43,3+0,0021\*43,32 = 1,41, Н/кН,

16,2

w''o = 0,48\* 1,36 + 0,52\* 1,41 = 1,39, Н/кН,

mс кр = (465000/9,81) – 184(2,90 + 9) = 4351 ≈ 4350, т.

1,39 + 9

* + 1. **Проверка массы состава по троганию с места**

Масса состава, рассчитанная выше, должна быть меньше массы mс тр, полученной по формуле

mс тр = Fк тр/[g(wтр + iтр)] – mл, (2.8)

где mс тр – масса состава при трогании с места, т;

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

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

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

Удельное основное сопротивление движению при трогании поезда с места для вагонов на роликовых подшипниках определяется по формуле

wтрi = 28/ (moi + 7), (2.9)

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

wтр4 = 28/ (18,2 + 7) = 1,11, Н/кН;

wтр8 = 28/ (16,2 + 7) = 1,21, Н/кН.

Для состава из четырехосных и восьмиосных вагонов wтр определяют по выражению

wтр = α4 \* wтр4 + α8 \* wтр8, (2.10)

wтр = 0,48 \* 1,11 +0,52 \* 1,21 = 1,16, Н/кН,

mс тр = 607000/[9,81(1,16 + 0,2)] – 184 = 45313 ≈ 45300, т.

4350 < 45300 => mс кр < mс тр, то есть условие выполняется.

* + 1. **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 lп, м, определяется по формуле

lп = lс + nл\*lл + 10, (2.11)

где lс – длина состава, м;

nл – количество локомотивов;

lл – длина локомотива, м.

Длина состава определяется по формуле

lс = ∑(ni\*li), (2.12)

где ni – количество вагонов i-того типа в составе;

li – длина вагона i-того типа, м. Принять l4 = 14м, l8 = 21м.

Количество вагонов определяется по выражению

ni = αi\* mc/mi (2.13)

где αi – доля вагонов i-того типа (по массе);

mi – масса одного вагона i-того типа, т. Определяется по числу осей и массе, приходящейся на ось.

n4 = 0,48\* 4350/18,2\*4 = 28;

n8 = 0,52\* 4350/16,2\*8 = 17;

lс = (28\*14) + (17\*21) = 749, м;

lп = 749 + 1\*28 + 10 = 787, м.

Так как длина приемоотправочных путей 1250 м, а длина поезда 787 м, то делаем вывод о том, что масса состава рассчитана верно.

* + 1. **Выбор расчетной массы состава**

Из двух значений масс состава, полученных выше, для дальнейших расчетов принимается ее наименьшее значение, а именно – 4350 т.

* 1. **Построение диаграммы удельных результирующих сил поезда**

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, выбега – fв, служебного механического торможения – fсл.т.. Совместное графическое изображение этих зависимостей принято называть диаграммой удельных результирующих сил поезда.

В тяговом режиме

fт = fк – wо, (2.14)

Таблица 2.2 – таблица удельных сил поезда. Сводная

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| V, км/ч | w'o, Н/кН | w''o4, Н/кН | w''o8,  Н/кН | w''o,  Н/кН | φкр | bт,  Н/кН | tn, c | Sn, м | wx,  Н/кН | wox, Н/кН | Fэкст.т.,  Н/кН | wo, Н/кН | Fк,  Н/кН | fк,  Н/кН | fт,  Н/кН | fсл.торм.,  Н/кН |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
| 0 | 2,03 | 0,93 | 1,11 | 1,02 | 0,270 | 89,10 | 11,85 | 0 | 2,55 | 1,09 | -90,26 | 1,06 | 596,0 | 13,40 | 12,39 | -45,58 |
| 10 | 2,03 | 0,93 | 1,11 | 1,02 | 0,198 | 65,34 | 12,53 | 35 | 2,55 | 1,09 | -66,42 | 1,06 | 500,0 | 11,24 | 10,18 | -33,76 |
| 20 | 2,22 | 1,03 | 1,17 | 1,10 | 0,162 | 53,46 | 13,09 | 73 | 2,76 | 1,17 | -54,63 | 1,15 | 480,5 | 10,80 | 9,66 | -27,90 |
| 30 | 2,47 | 1,15 | 1,26 | 1,21 | 0,140 | 46,33 | 13,56 | 113 | 3,05 | 1,28 | -47,61 | 1,26 | 471,5 | 10,60 | 9,34 | -24,45 |
| 40 | 2,78 | 1,30 | 1,37 | 1,34 | 0,126 | 41,58 | 13,97 | 155 | 3,40 | 1,42 | -43,00 | 1,40 | 467,5 | 10,51 | 9,11 | -22,21 |
| 43,3 | 2,90 | 1,36 | 1,41 | 1,39 | 0,122 | 40,34 | 14,09 | 170 | 3,53 | 1,48 | -41,82 | 1,45 | 466,0 | 10,48 | 9,03 | -21,65 |
| 50 | 3,15 | 1,48 | 1,51 | 1,50 | 0,116 | 38,19 | 14,32 | 199 | 3,83 | 1,59 | -39,78 | 1,56 | 280,0 | 6,30 | 4,73 | -20,69 |
| 60 | 3,58 | 1,69 | 1,68 | 1,68 | 0,108 | 35,64 | 14,63 | 244 | 4,32 | 1,79 | -37,43 | 1,76 | 143,0 | 3,22 | 1,45 | -19,61 |
| 70 | 4,07 | 1,92 | 1,87 | 1,90 | 0,102 | 33,66 | 14,90 | 290 | 4,89 | 2,02 | -35,68 | 1,98 | 89,0 | 2,00 | 0,02 | -18,85 |
| 80 | 4,62 | 2,18 | 2,09 | 2,13 | 0,097 | 32,08 | 15,14 | 337 | 5,52 | 2,27 | -34,35 | 2,23 | 62,0 | 1,39 | -0,84 | -18,31 |

в режиме выбега

fв = – wох, (2.15)

в режиме служебного механического торможения

fсл.т. = - (0,5\*bт + wох), (2.16)

где fк – удельная сила тяги, Н/кН;

wо – удельное основное сопротивление движению поезда при езде локомотива под током, Н/кН;

wох – удельное основное сопротивление движению поезда при езде локомотива без тока, Н/кН;

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

В свою очередь

wо = (mл\* w'о + mс\* w''о) / (mл+ mс), (2.17)

wох= (mл\* wх + mс\* w''о) / (mл+ mс), (2.18)

fк = Fк / [(mл+ mс)\*g], (2.19)

bт = 1000φкр\* υр; (2.20)

где wх – удельное основное сопротивление движению электровоза при езде без тока, Н/кН;

Fк – сила тяги электровоза, Н;

φкр – расчетный коэффициент трения колодок о бандаж;

υр – расчетный тормозной коэффициент, 0,33.

Для всех серий электровозов

wх = 2,4 + 0,011V + 0,00035V2. (2.21)

Для чугунных тормозных колодок

φкр = 0,27(V+100) / (5V+100). (2.22)

Расчет значений удельных сил поезда выполняют для скоростей движения в диапазоне от нуля до конструкционной скорости с интервалом 10 км/ч. В диапазоне скоростей движения от нуля до скорости выхода на характеристику полного возбуждения силу тяги принимают равной силе сцепления. Сопротивление движению локомотива и состава при скоростях 0…10 км/ч принимают неизменным и равным его величине при скорости движения V = 10 км/ч.

V = 10 км/ч: φкр = 0,27(10+100) / (5\*10+100) = 0,20;

wх = 2,4 + 0,011\*10 + 0,00035\*102 = 2,55,Н/кН;

bт = 1000\*0,198\* 0,33=65,34 Н/кН;

fк = 500000 / [(184+ 4350)\*9,81] = 11,24 Н/кН;

wох= (184\* 2,55 + 4350\* 0,97) / (184+ 4350) = 1,09, Н/кН;

wо = (184\* 1,9 + 4350\* 0,97) / (184+ 4350) = 1,06,Н/кН;

fт = 11,24 – 1,06 = 10,18, Н/кН;

fв = – 1,09, Н/кН;

fсл.т. = - (0,5\* 65,34 + 1,09) = - 33,76, Н/кН.

Полученные данные заносятся в таблицу 2.2, по данным граф 11, 16 и 17 строится диаграмма удельных результирующих сил поезда (приложение А).

* 1. **Определение допустимых скоростей движения поезда на спусках**

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 iс и тормозным средствам поезда bт определяется максимально допустимое значение скорости начала торможения Vнт.

Тормозной путь Sт, м, имеет две составляющие

Sт = Sп + Sд, (2.23)

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 = 0,278\* Vнт\*tп, (2.24)

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 находят время. Количество осей в составе определяется по формуле

No = 4n4 + 8n8, (2.25)

No = 4\*28 + 8\*17 = 248;

tп = 10 – 15\*iс / bт, (2.26)

При V= 10 км/ч tп = 10 – 15\*(-11) / 65,34 = 12,5, с;

Sп = 0,278\* 10\*12,5 = 35, м.

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

fэкст.т = - bт – wox. (2.27)

При V= 10 км/ч fэкст.т = - 65,34 – 1,09 = - 66,42, Н/кН.

Учитывая, что зависимость Sп(Vнт) начинается в начале заданного тормозного пути и имеет нарастающий характер, а зависимость 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 (приложение Б).

Если решить тормозную задачу для нескольких значений спусков на участке, начиная с самого крутого, то можно получить зависимость допустимой скорости движения поезда с расчетной массой состава от величины спусков на заданном участке Vдоп(iс) (рисунок 2.2).

Второй по величине спуск составляет -4‰. При решении тормозной задачи для этого спуска точка пересечения графиков зависимостей Sп(Vнт) и Sд(Vнт) оказалась значительно выше конструкционной скорости локомотива ВЛ8 (80км/ч). Поэтому принимаем ограничение скорости только на элементе профиля со спуском величиной - 11‰, а на остальных спусках скорость равна конструкционной скорости локомотива ВЛ8.

* 1. **Построение кривых движения поезда**
     1. Кривые движения поезда V(S) и t(S) – это зависимости, соответственно, скорости движения поезда и времени его хода от пути. Эти кривые получаются в результате решения основных дифференциальных уравнений движения поезда:

V(dV/dS) = 120f, (2.28)

dS/dt = V, (2.29)

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.

Значения f определяем по формулам (2.14), (2.15) или (2.16) в зависимости от режима ведения поезда, они приведены в таблице 2.2 и на диаграмме удельных результирующих сил поезда f(V).

В курсовом проекте используем графический метод интегрирования уравнений (2.28), (2.29). Сначала строим кривую скорости V(S), а затем кривую времени t(S),ось времени t располагаем параллельно оси скорости V. Для уменьшения размеров графика кривую t(S) строим со сбросами на нуль через каждые 10 мин.

Полюсное расстояние: Δ = mV\*mt/mS = 2\*3600/240 = 30 мм.

Кривые движения поезда приведены в приложении В.

1. По результатам построения кривых движения поезда по участку А-Б-В (без остановки на промежуточной станции Б) определяем:

- техническую скорость движения поезда

VT = Lуч\*60/Тх, (2.30)

VT = 33,1\*60/39,5 = 50,3 км/ч,

- участковую скорость движения поезда

Vуч = Lуч\*60/(Тх + Тст), (2.31)

Vуч = 33,1\*60/(39,5 + 0) = 50,3 км/ч,

где Lуч – длина участка А-Б-В, км;

Тх – время движения поезда по участку, мин;

Тст – время стоянки поезда на промежуточной станции, мин.

**Заключение**

В данной курсовой работе был выбран расчетный и проверяемый подъемы (+9‰ и -11‰ соответственно), определена расчетная масса состава (4350 т), определена длина поезда (787 м), рассчитаны удельные равнодействующие силы и построена их диаграмма, решена тормозная задача, определена допустимая скорость движения поезда на максимальном спуске – 79 км/ч, построены графики зависимости скорости V(S) и времени t(S) от пути, определено время хода поезда по перегонам (39,5 мин), рассчитаны техническая и участковая скорости, равные между собой – 50,3 км/ч.

**Список литературы**

* + - 1. Э.И.Бегагоин, О.И.Ветлугина. Тяговые расчеты для поездной работы: Методическое руководство к курсовому проекту.–Екатеринбург:

УрГУПС, 2004.

* + - 1. Подвижной состав и тяга поездов / Под ред. Н.А.Фуфрянского и В.В.Деева. – М.: Транспорт, 1971.
      2. Правила тяговых расчетов для поездной работы (ПТР). – М.: Транспорт, 1985 г.