

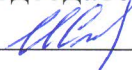
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ  
ИМПЕРАТОРА АЛЕКСАНДРА I»  
(ФГБОУ ВО ПГУПС)  
ПЕТРОЗАВОДСКИЙ ФИЛИАЛ ПГУПС

ОДОБРЕНО

на заседании цикловой комиссии

протокол № 13 от 23.06.2017

Председатель цикловой комиссии:

 (И.В.Стрельцова)

УТВЕРЖДАЮ

Начальник УМО



А.В. Калько

«  »                      201   г.

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**  
**по организации и проведению практических занятий**

МДК.01.02. Эксплуатация подвижного состава  
(электроподвижного) и обеспечение безопасности  
движения поездов

Тема 2.5. Основы локомотивной тяги

Специальность: 23.02.06 Техническая эксплуатация подвижного  
состава железных дорог

Тема: «Практические занятия»

Разработал: Дедовец Дмитрий Тимофеевич

2017 г.

## Исходные данные на практические работы

Локомотив	Электровоз ВЛ-10	Электровоз ВЛ-80 <sup>Р</sup>	Электровоз ВЛ-80 <sup>С</sup>	Электровоз ВЛ-82 <sup>М</sup> (пост.ток)	Электровоз ВЛ-10 <sup>У</sup>	Электровоз ВЛ-11 2 секции	Электровоз ВЛ-85
Сцепной вес, т	190	192	288	200	200	186	288
Число осей	8	8	12	8	8	8	12
Расчетная скорость, км/ч	46,7	43,5	43,5	51	45,8	46,7	42,5
Конструкционная скорость, км/ч	100	110	110	110	100	100	110
Тип тягового электродвигателя	ТЛ2К1	НБ418К6	НБ514	НБ407	ТЛ2К1	ТЛ2К1	НБ514
Длина локомотива, м	33	33	51	33	33	33	45
Состав поезда в % по массе: 8-осного вагона 6-осного вагона 4-осного вагона	15 1 84	15 2 83	14 3 83	18 2 80	17 1 82	16 1 83	17 1 82
Масса вагона БРУТТО, т: 8-осного вагона 6-осного вагона 4-осного вагона	186 124 86	164 126 84	166 128 88	168 126 86	164 124 84	166 126 86	164 126 86
Тормозных осей в составе, %	95	96	97	98	98	96	97
Длина приемоотправочных путей, м	1250	1250	1250	1550	1250	1450	1600
Тормозные колодки	Чугунные		Композиционные		Чугунные	Чугунные	Композиционные

Локомотив	Электровоз ВЛ-80 <sup>с</sup>	Электровоз ВЛ-82 (переменный ток)	Электровоз ВЛ-80 <sup>т</sup>	Электровоз ВЛ-11 3 секции	Электровоз ВЛ-80 <sup>к</sup>
Сцепной вес, т	192	192	186	279	184
Число осей	8	8	8	12	8
Расчетная скорость, км/ч	43,5	51	43,5	46,7	44,2
Конструкционная скорость, км/ч	110	110	110	100	110
Тип тягового электродвигателя	НБ418К6	НБ407	НБ418К6	ТЛ2К1	НБ418К
Длина локомотива, м	33	33	33	50	33
Состав поезда в % по массе: 8-осного вагона 6-осного вагона 4-осного вагона	15 3 82	16 4 80	16 3 81	15 3 82	15 2 83
Масса вагона БРУТТО, т: 8-осного вагона 6-осного вагона 4-осного вагона	164 128 84	166 124 88	164 128 88	168 128 84	166 124 86
Тормозных осей в составе, %	98	97	96	96	98
Длина приёмоправочных путей, м	1250	1250	900	1600	1250
Тормозные колодки	Чугунные	Композиционные	Чугунные		Композиционные

### Вариант №1.

Движение поезда от станции А к станции Б.

### Вариант №2

Движение поезда от станции Б к станции А  
(знаки уклонов сменить на обратные).

Номер элемента	Длина элемента (м)	Уклон $i$ (‰)	Кривые
1	1700	0	станция А
2	1200	-5	$\alpha = 60^\circ$  R=1000;S=700
3	1000	-6	
4	7800	-9	
5	800	0	
6	1800	+3	
7	2000	+4	$\alpha = 58^\circ$
8	1500	0	
9	900	-3	
10	800	-11	
11	1000	0	
12	600	+5	станция К R=700;S=450
13	7300	+10	
14	500	+4	
15	600	0	
16	500	-2	
17	800	-5	$\alpha = 58^\circ$
18	1200	+12	
19	1850	+4	
20	1000	0	
21	1200	-2	
22	1800	-6	R=1500;S=1000
23	2000	-1	
			станция Б

### Вариант №3.

Движение поезда от станции А к станции Б.

### Вариант №4

Движение поезда от станции Б к станции А  
(знаки уклонов сменить на обратные).

Номер элемента	Длина элемента (м)	Уклон $i$ (‰)	Кривые
1	1900	+1	станция А R=800;S=600
2	600	-5	
3	900	-7	
4	1200	0	
5	8200	-8	
6	1200	-10	
7	500	0	$\alpha = 64^\circ$
8	850	+2	
9	1100	+6	
10	1100	0	R=950;S=600
11	1000	-4	
12	800	-6	
13	1800	0	станция К
14	1200	+12	
15	7500	+10	
16	600	0	$\alpha = 60^\circ$
17	1200	-2	
18	1800	-6	
19	700	0	R=1100;S=300
20	450	+6	
21	1300	+2	
22	350	+4	$\alpha = 48^\circ$
23	1700	0	
			станция Б

### Вариант №5.

Движение поезда от станции А к станции Б.

### Вариант №6

Движение поезда от станции Б к станции А  
(знаки уклонов сменить на обратные).

Номер элемента	Длина элемента (м)	Уклон $i$ (‰)	Кривые
1	1700	0	станция А $\alpha = 56^\circ$  R=800;S=450   $\alpha = 60^\circ$  станция К R=1500;S=500  $\alpha = 48^\circ$  R=1000;S=500  станция Б
2	400	-2	
3	800	0	
4	2000	+10	
5	6500	+9	
6	1100	0	
7	500	-6	
8	600	-5	
9	900	-4	
10	1500	0	
11	1200	-2	
12	1700	-1,5	
13	600	0	
14	500	+2	
15	1750	+1,5	
16	1100	+2	
17	900	0	
18	1550	-8	
19	6800	-7	
20	1550	0	
21	750	-4	
22	1200	-3	
23	1900	0	

### Вариант №7.

Движение поезда от станции А к станции Б.

### Вариант №8.

Движение поезда от станции Б к станции А

(знаки уклонов сменить на обратные).

Номер элемента	Длина элемента (м)	Уклон $i$ (‰)	Кривые
1	1850	0	станция А R=1200;S=600
2	750	+2	
3	1200	+11	
4	1200	0	
5	8000	+10,5	$\alpha = 48^\circ$
6	600	+2	
7	2000	0	
8	1150	-6	
9	2050	-4	$\alpha = 52^\circ$
10	550	0	
11	600	-10	
12	1700	+1,5	
13	400	+4	станция К $\alpha = 60^\circ$
14	800	+2	
15	600	0	
16	9000	-8	
17	400	-4	R=800;S=350
18	600	0	
19	1200	+3	
20	800	+5	
21	1000	+4	R=1200;S=700
22	800	0	
23	1700	-1	
			станция Б

### Вариант №9.

Движение поезда от станции А к станции Б.

### Вариант №10.

Движение поезда от станции Б к станции А  
( знаки уклонов сменить на обратные).

Номер элемента	Длина элемента (м)	Уклон $i$ (‰)	Кривые
1	1650	-1	станция А
2	750	-2	R=1300;S=800
3	600	-4	
4	7500	-9	
5	1250	-11	
6	600	0	
7	800	+4	$\alpha = 62^\circ$
8	600	+6	
9	1000	+2	
10	1300	0	
11	700	-4	
12	950	-6	R=900;S=600
13	1700	0	
14	400	+7	
15	800	+4	
16	1600	0	
17	500	-6,5	$\alpha = 48^\circ$
18	1000	-4	
19	600	0	
20	1300	+10	
21	7300	+9	
22	2000	0	$\alpha = 60^\circ$
23	1800	+1	
			станция Б



### Вариант №11.

Движение поезда от станции А к станции Б.

### Вариант №12.

Движение поезда от станции Б к станции А  
(знаки уклонов сменить на обратные).

Номер элемента	Длина элемента (м)	Уклон $i$ (‰)	Кривые
1	2000	0	станция А
2	550	-3	$\alpha = 54^\circ$
3	700	-5	
4	950	-4	R=1600;S=900
5	1200	0	
6	1800	+2,5	
7	2100	+2	
8	1700	0	R=1000;S=500
9	6800	-11	
10	1000	-12	
11	800	0	
12	1400	-1,5	станция К
13	750	0	
14	600	+2	$\alpha = 48^\circ$
15	800	+10	
16	7200	+9	
17	450	+1	R=1200;S=400
18	600	0	
19	1200	-6	
20	1000	-4	
21	800	-3	$\alpha = 56^\circ$
22	400	0	
23	1800	-1,5	станция Б

### Вариант №13.

Движение поезда от станции А к станции Б.

### Вариант №14.

Движение поезда от станции Б к станции А  
(знаки уклонов сменить на обратные).

Номер элемента	Длина элемента (м)	Уклон $i$ (‰)	Кривые
1	1600	-2	станция А
2	800	-4	
3	750	-6	
4	1000	0	R=800;S=600
5	550	+2	
6	700	+1,5	
7	900	0	$\alpha = 46^\circ$
8	7600	-7	
9	900	-8	
10	1500	0	R=1300;S=750
11	1100	+5	
12	800	+3	
13	450	0	станция К
14	1500	-2	
15	700	-4	
16	650	-5	$\alpha = 60^\circ$
17	400	0	
18	1500	+10	
19	7100	+9	R=800;S=400
20	2000	0	
21	750	-6	
22	1200	-4	$\alpha = 52^\circ$
23	1800	0	
			станция Б

Вариант №15.

Движение поезда от станции А к станции Б.

Вариант №16.

Движение поезда от станции Б к станции А  
(знаки уклонов сменить на обратные).

Номер элемента	Длина элемента (м)	Уклон $i$ (‰)	Кривые
1	1700	-2,5	станция А $\alpha = 56^\circ$
2	2400	-1,5	
3	800	-3,5	
4	1600	0	
5	1850	+12,5	
6	500	+3,5	
7	6800	+10	
8	1600	+1,5	станция К $R=1500; S=600$
9	800	0	
10	1200	-9	
11	1000	0	
12	800	+6	$\alpha = 60^\circ$ $R=650; S=450$
13	600	+4,5	
14	500	0	
15	7350	-7	$R=1300; S=600$
16	1250	-2	
17	2500	0	
18	1700	+2	
19	1600	0	
			станция Б

### Вариант №17.

Движение поезда от станции А к станции Б.

### Вариант №18.

Движение поезда от станции Б к станции А  
(знаки уклонов сменить на обратные).

Номер элемента	Длина элемента (м)	Уклон $i$ (‰)	Кривые
1	1800	-1,5	станция А R=800;S=1000  $\alpha = 54^\circ$
2	1800	-3	
3	2000	-5	
4	1600	0	
5	2000	+9	
6	7000	+7	
7	400	0	R=700;S=500 станция К $\alpha = 46^\circ$
8	500	+6	
9	1700	+1,5	
10	400	+5	
11	400	+3	
12	600	0	
13	1450	-10	R=700;S=400  $\alpha = 52^\circ$
14	800	0	
15	1400	+4	
16	800	+3	
17	700	0	
18	6500	-8	
19	1850	0	станция Б
20	1650	+1	
21	1500	+2	
22	1200	+4	
23	1900	0	

### Вариант №19.

Движение поезда от станции А к станции Б.

### Вариант №20.

Движение поезда от станции Б к станции А  
(знаки уклонов сменить на обратные).

Номер элемента	Длина элемента (м)	Уклон $i$ (‰)	Кривые
1	1600	0	станция А
2	1000	+2	R=800;S=400
3	1800	0	
4	800	-4	$\alpha = 50^\circ$
5	1000	0	
6	600	-5	R=1500;S=400
7	7800	-8	
8	1700	-2	станция К
9	1500	-10	
10	1500	0	R=1500;S=450
11	1500	+12	
12	8000	+9	
13	1800	+5	$\alpha = 58^\circ$
14	1300	0	
15	800	+4	
16	2000	0	
17	1700	+1	станция Б

### Вариант №21.

Движение поезда от станции А к станции Б.

### Вариант №22.

Движение поезда от станции Б к станции А  
(знаки уклонов сменить на обратные).

Номер элемента	Длина элемента (м)	Уклон $i$ (‰)	Кривые
1	1800	0	станция А
2	1500	-3	R=1500;S=900
3	7400	-7	
4	1250	-9	
5	800	0	
6	1200	+5,5	R=1000;S=500 $\alpha = 48^\circ$
7	600	+4,5	
8	400	0	
9	800	-4	
10	1000	0	R=900;S=350
11	1800	+2,5	
12	500	0	
13	450	-2	
14	500	-4	R=1200;S=300 $\alpha = 60^\circ$
15	600	0	
16	1750	+11	
17	6800	+9	
18	1000	+3	
19	2500	0	
20	1400	-2	
21	2000	-1,5	станция Б

### Вариант №23.

Движение поезда от станции А к станции Б.

### Вариант №24.

Движение поезда от станции Б к станции А  
(знаки уклонов сменить на обратные).

Номер элемента	Длина элемента (м)	Уклон $i$ (‰)	Кривые
1	1800	0	станция А
2	800	-1	R=900;S=400 $\alpha = 56^\circ$
3	1000	-4	
4	1400	0	
5	7500	-9	
6	1500	-10	R=800;S=300
7	650	0	
8	900	+5	
9	1300	+1	
10	2000	+2	станция К
11	900	0	$\alpha = 48^\circ$
12	1000	-3	
13	750	0	
14	2000	+11	
15	7500	+9	R=975;S=400
16	800	+1,5	
17	1600	0	
18	2750	-4	
19	850	-3	станция Б
20	1750	-1,5	

### Вариант №25.

Движение поезда от станции А к станции Б.

### Вариант №26.

Движение поезда от станции Б к станции А  
(знаки уклонов сменить на обратные).

Номер элемента	Длина элемента (м)	Уклон $i$ (‰)	Кривые
1	1900	-1	станция А
2	800	0	R=1000;S=600 $\alpha = 48^\circ$
3	600	-2	
4	2000	0	
5	1550	+9	
6	6800	+8	
7	600	0	$\alpha = 60^\circ$
8	800	-4	
9	1100	-3	
10	500	0	
11	700	+4	
12	900	+3	станция К $\alpha = 58^\circ$
13	1500	+2	
14	800	0	
15	750	-1,5	R=900;S=450
16	7100	-8	
17	1200	-10	
18	600	0	R=1500;S=600
19	800	+3	
20	1000	+1,5	
21	700	0	станция Б
22	1200	-2	
23	2000	0	



### Вариант №27.

Движение поезда от станции А к станции Б.

### Вариант №28.

Движение поезда от станции Б к станции А  
(знаки уклонов сменить на обратные).

Номер элемента	Длина элемента (м)	Уклон $i$ (‰)	Кривые
1	1700	0	станция А $R=1200; S=500$
2	600	-2	
3	800	-1,5	
4	1100	0	
5	1200	+10	
6	7000	+8	$\alpha = 60^\circ$
7	800	0	
8	500	-6	
9	1300	-4	
10	800	-5	
11	600	0	станция К $\alpha = 56^\circ$
12	1500	+1,5	
13	750	+2	
14	600	+4	
15	1250	0	
16	6500	-7	$R=1\,500; S=1000$
17	1500	-8	
18	1100	0	
19	800	+2	
20	1500	+1	
21	600	+3	$\alpha = 50^\circ$
22	500	0	
23	1800	-2	
			станция Б

### Вариант №29.

Движение поезда от станции А к станции Б.

### Вариант №30.

Движение поезда от станции Б к станции А  
(знаки уклонов сменить на обратные).

Номер элемента	Длина элемента (м)	Уклон $i$ (‰)	Кривые
1	2000	+1	станция А
2	600	0	R=1200;S=350
3	400	-4	
4	800	-3	
5	1200	0	$\alpha = 56^\circ$
6	7200	-7	$\alpha = 52^\circ$
7	1500	-8	
8	1100	0	
9	800	+2	станция К
10	500	+4	
11	1600	0	
12	550	-4	R=800;S=450
13	900	-3	
14	650	-2,5	
15	1100	0	$\alpha = 46^\circ$
16	1350	+9	
17	6900	+8	
18	900	+1,5	R=1000;S=600
19	500	0	
20	700	-2	
21	1550	-1	станция Б
22	1200	-2	
23	1800	0	

## Практическое занятие №1

**Тема:** Расчет и построение тяговых характеристик локомотивов.

**Цель:** Практически произвести расчет и построить тяговые характеристики локомотивов.

### Осваиваемые профессиональные компетенции:

ПК 1.1. Эксплуатировать подвижной состав железных дорог.

ПК 1.3. Обеспечивать безопасность движения подвижного состава.

### Порядок выполнения работы.

#### 1 Построить тяговую характеристику локомотива.

Важнейшей характеристикой локомотива является тяговая характеристика, которая представляет собой графическую зависимость касательной силы тяги локомотива  $F_k$  от скорости движения  $V$ .

Тяговую характеристику локомотива  $F_k = f(V)$  рассчитывают исходя из электромеханических характеристик тягового электродвигателя, отнесенных к ободу колеса.

Основными электромеханическими характеристиками ТЭД, отнесенными к ободу движущихся колес, являются: зависимость скорости движения локомотива от тока ТЭД  $V = f(I_d)$  (скоростная характеристика) и зависимость силы тяги, реализуемой одной движущейся колесной парой, от тока ТЭД  $F_{kd} = f(I_d)$ .

Электромеханические характеристики ТЭД, приведены в “Правилах тяговых расчетов для поездной работы” (ПТР).

Исходя из задания на практическую работу, необходимо вычертить электромеханическую характеристику ТЭД на миллиметровую бумагу.

Для построения зависимости  $F_k = f(V)$  необходимо задаться несколькими (шестью-семью) значениями тока электродвигателя и по электромеханическим характеристикам определить соответствующие значения силы тяги  $F_{kd}$  и скорости движения  $V$ .

Полная касательная сила тяги определяется по формуле:

$$F_k = m \cdot F_{kd} \quad 1.$$

где:  $m$  - количество двигателей.

Полученные данные занести в таблицу 1.

Таблица 1

Ток $I_d$ , А	Скорость $V$ , км/ч	Сила тяги электродвигателя $F_{kd}$ , кН	Касательная сила тяги локомотива $F_k$ , кН
1	2	3	4

Данные столбцов 2 и 4 таблицы 1 являются координатами точек тяговой характеристики. Нанеся точки на планшет с системой координат  $F_k - V$  и соединив их плавной линией, получаем тяговую характеристику локомотива  $F_k=f(V)$ .

## 2 Построить ограничение по сцеплению колеса с рельсом.

На построенную тяговую характеристику необходимо нанести ограничение силы тяги по сцеплению колес с рельсами и по конструкционной скорости.

Ограничение силы тяги по сцеплению колеса рельсом представляет собой наибольшую касательную силу тяги, которая может быть реализована локомотивами при отсутствии буксования.

Наибольшая сила тяги определяется по формуле:

$$F_{\text{сц}} = P_{\text{сц}} \cdot \Psi_k \quad 2$$

где:  $F_{\text{сц}}$  – наибольшая сила тяги локомотива, допустимая по условию сцепления колес с рельсами, кН;

$P_{\text{сц}}$  – сцепной вес локомотива, кН;

$\Psi_k$  – расчетный коэффициент сцепления.

Значения  $\Psi_k$  для различных скоростей движения рассчитываются согласно формулам ПТР.

Результаты расчетов занести в таблицу 2.

Таблица 2

Скорость $V$ , км/ч	Расчетный коэффициент сцепления, $\Psi_k$	Сила тяги локомотива по сцеплению $F_{\text{сц}}$ , кН
1	2	3

Построение тяговой характеристики и ограничения по сцеплению и максимальной скорости производят на одном планшете миллиметровой бумаги со следующими масштабами:

Скорость  $V$ : 1 км/ч=1 мм

Сила тяги  $F_k$ : 50 кН=1см.

В точке пересечения тяговой характеристики и характеристики ограничения по сцеплению определяем скорость выхода на автоматическую характеристику (расчетную скорость) и расчетную силу тяги. В точке пересечения характеристики ограничения по сцеплению с осью ординат определяем силу тяги локомотива при трогании.

## 3 Сделать вывод по работе.

## Практическое занятие №2

**Тема:** Спрямление и приведение профиля пути.

**Цель:** Практически научиться производить спрямление профиля пути.

### Осваиваемые профессиональные компетенции:

ПК 1.1. Эксплуатировать подвижной состав железных дорог.

ПК 1.3. Обеспечивать безопасность движения подвижного состава.

### Порядок выполнения работы.

#### 1 Спрямление элементов профиля пути.

При выполнении расчетов связанных с движением поезда, число элементов профиля пути уменьшают за счет спрямления элементов, при котором несколько элементов с различными уклонами заменяют одним уклоном – спрямленным участком, имеющим длину  $S_c$ , равную сумме длин, спрямленных элементов:

$$S_c = S_1 + S_2 + S_3 + \dots + S_n \quad 1$$

Такая замена позволяет упростить расчеты.  
Спрямленный уклон определяется по формуле:

$$i_c = \frac{i_1 S_1 + i_2 S_2 + \dots + i_n S_n}{S_1 + S_2 + \dots + S_n} = \frac{\sum_{i=1}^n i_i S_i}{\sum_{i=1}^n S_i} = \frac{\sum_{i=1}^n i_i S_i}{S_c} \quad 2$$

#### 2 Проверка допустимости спрямления элементов профиля пути.

Спрямление элементов вносит погрешность в расчеты, возрастающую с увеличением разницы в крутизне соседних элементов и в длинах элементов. Чтобы в расчетах не допустить больших погрешностей при определении скорости движения и времени хода поезда по участку, спрямлять можно только близкие по значению и знаку элементы профиля пути. С этой целью после спрямления элементов проводят проверку допустимости спрямления по формуле:

$$S_i \leq 2000 / |\Delta i| \quad 3$$

где  $S_i$  – длина спрямляемого элемента профиля пути, м;

$\Delta i$  – абсолютная разность между уклонами спрямленного участка и проверяемого элемента, ‰.

$$\Delta i = |i_c| - |i_i| \quad 4$$

Такой проверке подвергают все элементы, входящие в спрямленный участок. Условные допустимые спрямления выполняются в случае спрямления длинных элементов при меньшей разности между уклонами, следовательно, и при меньших значениях  $\Delta i$ , коротких элементах допускается их спрямление при большей разности в уклонах.

Спрямлению подлежат только элементы с уклонами одного знака.

Элементы профиля пути, на которых располагаются станции, с прилегающими элементами пути перегонов не спрямляются.

Не следует включать в группы элементов, подлежащие спрямлению, расчетный подъем, а также наиболее крутой подъем участка.

### 3 Определение фиктивного подъема от кривых.

Кривые, находящиеся на пути спрямляются в плане, заменяя их фиктивным подъемом  $i_c''$ , имеющим крутизну, на котором создается дополнительное сопротивление движению, равное дополнительному сопротивлению от кривых. Знак крутизны фиктивного подъема от кривой  $i_c''$  всегда положительный. Это обязательно надо учитывать при вычислениях.

Фиктивные подъемы от кривых определяют по формулам:

Если кривая задана радиусом  $R$  и длиной  $S_{кр}$

$$i_c'' = \frac{700}{S_c} \sum_{i=1}^n \frac{S_{кри}}{R_i} \quad 5$$

Если кривая задана центральным углом  $\alpha$ :

$$i_c'' = \frac{12,2}{S_c} \sum_{i=1}^n \alpha \quad 6$$

### 4 Определение приведенного уклона спрямленного профиля пути.

Алгебраическую сумму уклона  $i_c'$  и фиктивного подъема  $i_c''$  называют приведенным уклоном  $i_c$ .

Приведенный уклон определяется по формуле:

$$i_c = i_c' + i_c'' \quad 7$$

Результаты спрямления занести в таблицу 1.

Таблица 1

№ элемента	Длина элементов $S$ , м	Крутизна элементов $i$ , ‰	Кривые $R$ , м; $S_{кр}$ , м или $\alpha$	Длина спрямленного участка $S$ , м	Крутизна спрямленного участка $i_c'$ , ‰	Фиктивный подъем от кривых $i_c''$ , ‰	Суммарная крутизна спрямленного участка $i_c = i_c' + i_c''$ , ‰	№ спрямленных участков
1	2	3	4	5	6	7	8	9

5 Сделать вывод по работе.

## Практическое занятие №3

**Тема:** Расчет массы состава при движении по расчетному подъему с расчетной скоростью и проверкой ее по условию трогания на подъеме крутизной более чем расчетный, а также по длине приемоотправочных путей.

**Цель:** Практически научиться определять массу состава и производить ее проверку по различным условиям.

### Осваиваемые профессиональные компетенции:

ПК 1.1. Эксплуатировать подвижной состав железных дорог.

ПК 1.3. Обеспечивать безопасность движения подвижного состава.

### Порядок выполнения работы.

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

Расчетным подъемом называется наиболее трудный для движения в данном направлении элемент профиля пути, на котором достигается расчетная скорость, соответствующая расчетной силе тяги локомотива. Если наиболее крутой подъем имеет большую протяженность, и при движении по нему скорость будет снижаться и достигнет установившегося наименьшего значения, расчетной скорости, то такой подъем и принимают за расчетный. Если наиболее крутой подъем имеет небольшую протяженность, и на подходах к нему расположены элементы, на которых поезд может разогнаться и создать запас кинетической энергии, то такой подъем не может быть принят за расчетный. В этом случае за расчетный следует принять подъем меньшей крутизны, но большей протяженности, на котором может быть достигнута расчетная скорость. Номер элемента профиля, величину расчетного подъема и его длину следует указать в отчете.

#### 2 Расчет массы состава.

Масса состава – один из важнейших показателей, влияющих на эффективность работы железнодорожного транспорта. Увеличение масс составов позволяет повысить провозную способность, снизить себестоимость и повысить экономичность перевозок, улучшить использование силы тяги и мощности локомотива, снизить расход электрической энергии или топлива на тягу поездов. Поэтому массу грузового состава рассчитывают исходя из полного использования силы тяги.

Для выбранного расчетного подъема рассчитывают массу состава по формуле:

$$m_c = \frac{F_{кр} - (w_o' + i_p)P_{сц} \cdot g}{(w_o'' + i_p) \cdot g} \quad 1$$

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

$P_{сц}$  – сцепной вес локомотива, т;

$w_o'$  – основное удельное сопротивление движению локомотива, Н/кН;

$w_o''$  – основное удельное сопротивление движению состава, Н/кН;

$i_p$  – крутизна расчетного подъема, ‰;

$g$  – ускорение свободного падения;  $g=9,81 \text{ м/с}^2$ .

Величины  $w_o'$  и  $w_o''$  определяют для расчетной скорости локомотива  $V_p$ .

Основное удельное сопротивление движению локомотивов вычисляют по формулам:

Для электровозов на звеньевом пути

$$w_o' = 1,9 + 0,01V + 0,0003V^2 \quad 2$$

Для электровозов на бесстыковом пути

$$w_o' = 1,9 + 0,008V + 0,00025V^2 \quad 3$$

Основное удельное сопротивление движению состава вычисляют по формулам:

для звеньевого пути на подшипниках качения

4 – х осные вагоны

$$w_{o4}'' = 0,7 + \frac{3 + 0,1V + 0,0025V^2}{q_{o4}} \quad 4$$

6 – ти осные вагоны

$$w_{o6}'' = 0,7 + \frac{8 + 0,1V + 0,0025V^2}{q_{o6}} \quad 5$$

8 – ми осные вагоны

$$w_{o8}'' = 0,7 + \frac{6 + 0,038V + 0,0021V^2}{q_{o8}} \quad 6$$

для бесстыкового пути на подшипниках качения

4 – х осные вагоны

$$w_{o4}'' = 0,7 + \frac{3 + 0,09V + 0,002V^2}{q_{o4}} \quad 7$$

6 – ти осные вагоны

$$w_{o6}'' = 0,7 + \frac{8 + 0,08V + 0,002V^2}{q_{o6}} \quad 8$$

8 –ми осные вагоны

$$w_{o8}'' = 0,7 + \frac{6 + 0,026V + 0,0017V^2}{q_{o8}} \quad 9$$

где:  $q_{o4}, q_{o6}, q_{o8}$  – масса, приходящаяся на одну колесную пару соответственно 4 -, 6 - и 8 – осного вагона, т/ось;

$$q_{o4} = \frac{q_4}{4}; q_{o6} = \frac{q_6}{6}; q_{o8} = \frac{q_8}{8} \quad 10$$

где:  $q_4, q_6, q_8$  – масса брутто соответственно 4 -, 6 - и 8 – осного вагона, т.

Общее основное удельное сопротивление движению состава определяют по формуле:

$$w_o'' = \alpha w_{o4}'' + \beta w_{o6}'' + \gamma w_{o8}'' \quad 11$$

где:  $\alpha, \beta, \gamma$  – соответственно доли 4 -, 6 – и 8 – осных вагонов в составе по массе.

Вычисленную массу состава следует в соответствии с правилами ПТР округлить до 50 или 100 т.

### 3 Проверка рассчитанной массы состава по длине приемоотправочных путей.

Данная проверка производится с целью, определить поместиться ли данный состав в пределах полезной длины приемоотправочных путей. В противном случае он займет



стрелки, чем усложнит работу раздельного пункта и сделает невозможным обгон, а также скрещение поездов на однопутных участках.

Чтобы выполнить проверку, необходимо определить число вагонов в составе, длину поезда и сопоставить эту длину с заданной длиной приемоотправочных путей станции.

Число вагонов в составе грузового поезда определяют по формулам:

8 – осных

$$m_8 = \frac{\gamma \cdot m_c}{q_8} \quad 12$$

6 – осных

$$m_6 = \frac{\beta \cdot m_c}{q_6} \quad 13$$

4 – осных

$$m_4 = \frac{\alpha \cdot m_c}{q_4} \quad 14$$

Длины вагонов принимаются: 4 – осного – 15м, 6 – осного – 17м, 8 – осного 20м. Общую длину поезда, с учетом запаса 10м на неточность его установки, определяют по формуле:

$$L_{\text{п}} = 20 \cdot m_8 + 17 \cdot m_6 + 15 \cdot m_4 + L_{\text{л}} + 10 \quad 15$$

где:  $L_{\text{л}}$  – длина локомотива, м;

Проверка возможности установки поезда на приемоотправочных путях выполняется по соотношению:

$$L_{\text{п}} \leq L_{\text{поп}} \quad 16$$

где:  $L_{\text{поп}}$  – длина приемоотправочных путей, м.

Если длина поезда меньше или равна длине приемоотправочных путей, то масса состава не корректируется. Если же вычисленная длина поезда получилась больше длины приемоотправочных путей, указанной в задании, то масса состава уменьшается так, чтобы длина поезда равнялась длине приемоотправочных путей.

#### 4 Проверка по условию трогания состава на подъеме крутизной больше чем расчетный.

Перед проведением проверки необходимо указать номер элемента, его крутизну и длину. Данная проверка производится с целью, определить возможность трогания состава на подъеме крутизной больше чем расчетный, т. к. есть вероятность остановки поезда на данном подъеме. Если масса состава по условиям трогания  $m_{\text{стр}}$  окажется больше массы состава  $m_c$ , рассчитанной по условию движения на расчетном подъеме, то поезд может тронуться с места остановки. В том случае, когда  $m_{\text{стр}} < m_c$ , трогание невозможно. Необходимо произвести корректировку массы состава  $m_c$ . Эту проверку массы состава проводят по формуле:

$$m_{\text{сп}} = \frac{F_{\text{ктр}}}{(w_{\text{тр}} + i_{\text{тр}})g} - P_{\text{сц}} \quad 17$$

где:  $F_{\text{ктр}}$  – сила тяги локомотива при трогании, Н, которую определяют из тяговой характеристики по ограничивающей линии  $F_{\text{ксц}}$  при  $V=0$ ;

$w_{\text{тр}}$  – удельное сопротивление состава (основное и дополнительное) при трогании, Н/кН;

$i_{\text{тр}}$  – подъем, ‰;

$g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$P_{\text{сц}}$  – сцепной вес локомотива, т.

Удельное сопротивление состава при трогании определяют по формуле:

$$w_{\text{тр}} = \alpha w_{\text{тр}4} + \beta w_{\text{тр}6} + \gamma w_{\text{тр}8} \quad 18$$

где:  $w_{\text{тр}4}$ ,  $w_{\text{тр}6}$ ,  $w_{\text{тр}8}$  - удельное сопротивление состава при трогании соответственно 4 -, 6 - и 8 - осных вагонов.

$$w_{\text{тр}} = \frac{28}{q_o + 7} \quad 19$$

где:  $q_o$  – масса, приходящаяся на одну колесную пару данной группы вагонов, т, данная масса определяется по формуле 10.

**5 Сделать вывод по работе.**

## Практическое занятие №4

**Тема:** Расчет и построение диаграммы удельных ускоряющих, замедляющих сил.

**Цель:** Практически научиться рассчитывать и строить диаграммы ускоряющих, замедляющих сил.

### Осваиваемые профессиональные компетенции:

ПК 1.1. Эксплуатировать подвижной состав железных дорог.

ПК 1.3. Обеспечивать безопасность движения подвижного состава.

### Порядок выполнения работы.

Для построения диаграммы удельных ускоряющих, замедляющих сил предварительно составляется таблица для трех режимов ведения поезда по прямому горизонтальному участку пути:

- для режима тяги  $f_k - w_o = f_1(V)$ ;
- для режима выбега  $w_{ox} = f_2(V)$ ;
- для режима торможения:
  - а) при служебном регулировочном торможении  $w_{ox} + 0,5 \sigma_t = f_3(V)$
  - б) при экстренном торможении  $w_{ox} + \sigma_t = f_4(V)$

Таблица ускоряющих, замедляющих сил заполняется для скоростей от 0 до конструкционной  $V_{\text{констр}}$  через  $10 \text{ км/ч}$ ; кроме этого необходимо внести величины скоростей, соответствующих характерным точкам характеристики заданного локомотива: скорость выхода на автоматическую характеристику, расчетную скорость.

В таблицу заносят значения силы тяги локомотива  $F_k$  для заданных скоростей. Значения силы тяги определяют по расчетной тяговой характеристике локомотива. Тяговая характеристика рассчитана в практической работе №1.

### 1 Расчет условного удельного сопротивления движению локомотива и состава в режиме тяги.

Основное удельное сопротивление движению локомотива при движении под током  $w'_0$  и основное удельное сопротивление движению состава  $w''_0$  определяют по формулам, приведенным в практической работе №3.

В отчете необходимо указать пример расчета для скоростей  $V=10$  и  $V=20 \text{ км/ч}$ , остальные расчеты занести в таблицу 1.

Величины  $w'_0$  и  $w''_0$ , определяют для скоростей начиная с  $10 \text{ км/ч}$  и выше. Значения этих величин при  $V=0$  принимают соответственно такими же, как при  $V=10 \text{ км/ч}$ .

### 2 Расчет основного удельного сопротивления движению локомотива и состава в режиме выбега.

Основное удельное сопротивление локомотива в режиме выбега для различных значений скорости определяют по формулам:

При движении по звеньевому пути

$$w_x = 2,4 + 0,011V + 0,00035V^2$$

1

при движении по бесстыковому пути

$$w_x = 2,4 + 0,009V + 0,00035V^2$$

2

Основное удельное сопротивление движению состава в режиме выбега принимают таким же, как при движении в режиме тяги. Величины  $w_x$  и  $w_{ox}$ , определяют для скоростей начиная с  $10 \text{ км/ч}$  и выше. Значения этих величин при  $V=0$  принимают соответственно такими же, как при  $V=10 \text{ км/ч}$ .

### 3 Расчет удельных тормозных сил поезда.

Удельные тормозные силы поезда определяют по формуле

$$w_T = 1000 \cdot \varphi_{kp} \cdot g_p \quad 3$$

где:  $\varphi_{kp}$  - расчетный коэффициент трения колодок о колесо;

$g_p$  - расчетный тормозной коэффициент состава.

Расчетный коэффициент трения определяют по формулам:  
При чугунных колодках:

$$\varphi_{kp} = 0,27 \cdot \frac{V + 100}{5V + 100} \quad 4$$

При композиционных колодках:

$$\varphi_{kp} = 0,36 \cdot \frac{V + 150}{2V + 150} \quad 5$$

Значения  $\varphi_{kp}$  вычисляют для всех величин скоростей, включая  $V=0$ .

Величину  $\varphi_{kp}$  определяют с точностью до третьего знака после запятой.

Расчетный тормозной коэффициент состава определяют по формуле:

$$g_p = \frac{\sigma \sum K_p}{m_c \cdot g} = \frac{\sigma (K_{p4} \cdot n_4 + K_{p6} \cdot n_6 + K_{p8} \cdot n_8)}{m_c \cdot g} \quad 6$$

где  $n_4, n_6, n_8$  число осей соответственно в группах 4 -, 6 - и 8 - осных вагонов состава:

$$n_4 = m_4 \cdot 4 \quad 7$$

$$n_6 = m_6 \cdot 6 \quad 8$$

$$n_8 = m_8 \cdot 8 \quad 9$$

где:  $m_4, m_6, m_8$  - количество вагонов соответственно 4 -, 6 - и 8 - осных.

$K_{p4}, K_{p6}, K_{p8}$  - расчетные силы нажатия тормозных колодок соответственно на ось 4 -, 6 - и 8 - осного вагона (при чугунных колодках  $K_{p4} = K_{p6} = K_{p8} = 68,5 \text{ кН/ось}$ , а при композиционных колодках  $K_{p4} = K_{p6} = K_{p8} = 41,5 \text{ кН/ось}$ );

$\sigma$  - доля тормозных осей в составе.

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

В отчете привести вычисления для двух значений скоростей, остальные результаты расчетов занести в таблицу 1.

Таблица удельных равнодействующих сил

Таблица 1

Режим тяги			Режим выбега		Режим торможения	
1	$V, км/ч$		2	$F_K, Н$	14	$\Phi_{кр}$
3	$w_{\text{л}}^o, Н/кН$		10	$w_x, Н/кН$	15	$b_l = 1000 \cdot \phi \cdot \delta \cdot q^L, Н/кН$
4	$w_{\text{л}}^o = w_{\text{л}}^o \cdot P^{cu} \cdot \delta, Н$		11	$w_x = w_x \cdot P^{cu} \cdot \delta, Н$	16	$w_o + 0,5 \cdot q^L, Н/кН$
5	$w_{\text{л}}^o, Н/кН$		12	$w_x + w_{\text{л}}^o, Н$	17	$w_o + q^L, Н/кН$
6	$w_{\text{л}}^o = w_{\text{л}}^o \cdot m \cdot \delta, Н$		13	$w_o + w_{\text{л}}^o \cdot \frac{\delta \cdot (m + m_{nc})}{\delta} = w_o, Н/кН$		
7	$w_{\text{л}}^o = w_{\text{л}}^o + w_{\text{л}}^o, Н$					
8	$F_K - w_o, Н$					
9	$F_K - w_o - f_k = \frac{\delta \cdot (m + m_{nc})}{\delta} = F_K - w_o, Н/кН$					

На основании таблицы 1 строим диаграмму удельных ускоряющих, замедляющих сил. Строим зависимости:

$$f_k - w_0 = f_1(V); w_{ox} = f_2(V) \text{ и } w_{ox} + 0,5 v_T = f_3(V).$$

Построение диаграммы производят на одном планшете. Влево откладывают ускоряющие силы, а вправо – замедляющие. Построения вести в следующих масштабах:

Удельные силы      1 Н/кН = 6 мм

Скорость            1 км/ч = 1 мм.

**4 Сделать вывод по работе.**

## Практическое занятие №5

**Тема:** Решение тормозной задачи и определение максимально допустимой скорости движения поезда по номограмме.

**Цель:** Практически определить максимально допустимую скорость движения поезда по участку, при заданных тормозных средствах и принятом тормозном пути, графическим методом и определить максимально допустимую скорость движения поезда по номограмме.

### Осваиваемые профессиональные компетенции:

ПК 1.1. Эксплуатировать подвижной состав железных дорог.

ПК 1.3. Обеспечивать безопасность движения подвижного состава.

### Порядок выполнения.

Режим торможения является важнейшим в обеспечении безопасности движения поездов, тормозным расчетам уделяют большое внимание, и сводят их к решению тормозных задач.

В данной практической работе необходимо рассчитать максимально допустимую скорость движения на уклоне, имеющем наибольшую крутизну, исходя из условия остановки поезда в пределах заданного тормозного пути, при заданном значении расчетного тормозного коэффициента состава.

Эта задача в практической работе решается графическим способом.

При решении тормозной задачи учитываем, что длина тормозного пути равна:

- на спусках крутизной до 6 ‰ включительно – 1000 м;
- на спусках крутизной более 6 ‰ – 1200 м.

Полный тормозной путь выражается равенством:

$$S_T = S_{\text{п}} + S_{\text{д}} \quad 1$$

Где  $S_{\text{п}}$  – путь подготовки тормозов к действию, на протяжении которого тормоза поезда условно принимаются недействующими (от момента установки ручки крана машиниста в тормозное положение до включения тормозов поезда);

$S_{\text{д}}$  – действительный тормозной путь, на протяжении которого поезд движется с действующими в полную силу тормозами (конец пути  $S_{\text{п}}$  совпадает с началом пути  $S_{\text{д}}$ ).

Равенство 1 позволяет искать допустимую скорость как величину, соответствующую точке пересечения графических зависимостей подготовительного пути  $S_{\text{п}}$  и действительного тормозного пути  $S_{\text{д}}$  от скорости движения поезда в режиме торможения.

### 1 Построить зависимость действительного тормозного пути от скорости движения.

По данным таблицы удельных равнодействующих сил (практическая работа №4) строим графическую зависимость удельных замедляющих сил при экстренном торможении от скорости  $\omega_{\text{ox}} + \epsilon_T = f(V)$ , а рядом, справа устанавливаем в соответствующих масштабах систему координат  $V-S$ . Оси скоростей  $V$  в обеих системах координат должны быть параллельны, а оси удельных сил  $(\omega_{\text{ox}} + \epsilon_T)$  и пути  $S$  лежать на одной прямой.

Для построения принимают следующие масштабы:

Удельные силы  $1 \text{ Н/кН} = 2 \text{ мм}$

Скорость  $1 \text{ км/ч} = 2 \text{ мм}$

Путь

$$1 \text{ км} = 240 \text{ мм}$$

На кривой  $\omega_{ox} + e_T = f(V)$  отмечаем точки, соответствующие средним значениям скоростей выбранного скоростного интервала:

- для скоростей от 0 до 50 км/ч принимаем интервал скоростей 5 км/ч
- для скоростей от 50 км/ч до конструкционной скорости интервал скоростей 10 км/ч.

Соответственно средние значения скоростей при интервале 5 км/ч будут 2,5; 7,5; 12,5 и т.д. км/ч; а при интервале 10 км/ч 55; 65; 75 и т.д. км/ч.

Через эти точки из точки М на оси, соответствующей крутизне самого крутого спуска, проводим лучи 1, 2, 3 и т.д. (рис. 1).

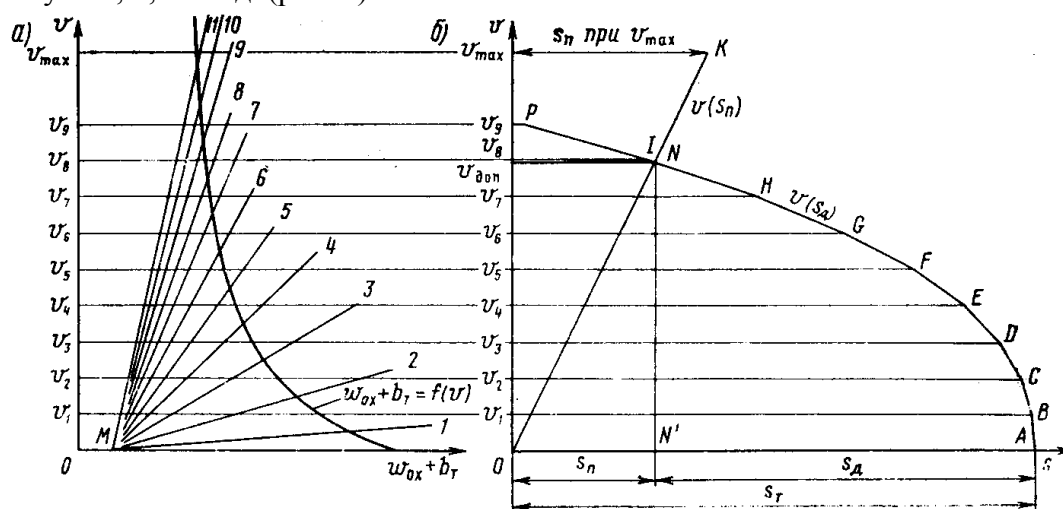


Рис. 1

Построение кривой  $V = f(S_n)$  начинаем из точки А, 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 5 км/ч (отрезок АВ). Из точки В проводим перпендикуляр к лучу 2 до конца второго скоростного интервала от 5 до 10 км/ч (отрезок ВС) и т.д. Начало каждого последующего отрезка совпадает с концом предыдущего. В результате получаем ломаную линию, которая представляет собой выпрямленную графическую зависимость скорости заторможенного поезда от пройденного пути.

## 2 Расчет и построение зависимости подготовительного пути от скорости.

Построение зависимости подготовительного тормозного пути  $S_n$  от скорости производим по двум точкам, для чего подсчитываем значения  $S_n$  при  $V=0$  и при  $V=V_{\text{констр}}$ .

Значение подготовительного пути определяют по формуле:

$$S_n = 0,278 V_n t_n \quad 2$$

где:  $V_n$  - скорость в начале торможения, км/ч;

$t_n$  - время подготовки тормозов к действию, с.

Время подготовки тормозов к действию, в зависимости от количества осей в составе определяют по формулам:

для составов длиной 200 осей и менее

$$t_n = 7 - \frac{10i_c}{e_T} \quad 3$$

для составов длиной от 200 осей до 300 осей



$$t_n = 10 - \frac{15i_c}{\epsilon_T} \quad 4$$

для составов длиной более 300 осей

$$t_n = 12 - \frac{18i_c}{\epsilon_T} \quad 5$$

где:  $i_c$  - крутизна уклона, для которого решается тормозная задача, ‰;

$\epsilon_T$  - удельная тормозная сила при начальной скорости торможения  $V_n$ , Н/кН.

Графическую зависимость между  $S_n$  и  $V_n$  строим в тех же выбранных масштабах. Значение  $S_n$  вычисленное для скорости, равной конструкционной, откладываем в масштабе вправо от оси OV на “уровне” конструкционной скорости. Получаем точку К. Соединив эту точку с началом координат получим зависимость подготовительного пути от скорости. Построение проводят на том же планшете, на котором была построена зависимость  $V = f(S_d)$ . Точка пересечения зависимости  $V = f(S_d)$  и зависимости  $V = f(S_n)$ , это точка N, определяет максимально допустимую скорость движения. Для данной скорости движения необходимо определить действительный тормозной путь и путь подготовки тормозов к действию. Для этого необходимо из точки N, соответствующей максимально допустимой скорости, опустить перпендикуляр на ось пути S.

Путь подготовки тормозов к действию это отрезок ON', а действительный тормозной путь – отрезок N'A.

### **3 Определить максимально допустимую скорость движения поезда, на уклоне наибольшей крутизны, по номограмме.**

Для определения максимально допустимой скорости движения по участку при заданном значении расчетного тормозного коэффициента состава  $\mathcal{G}_p$  необходимо, по номограмме, для уклона имеющего наибольшую крутизну, от заданного значения  $\mathcal{G}_p$ , на оси абсцисс, восстановить перпендикуляр до величины тормозного пути  $S_T$ , на пересечении получим максимально допустимую скорость движения.

### **4 Сделать вывод по работе.**

## Практическое занятие №6

**Тема:** Построение кривых скорости движения и времени хода поезда графическим методом МПС.

**Цель:** Практически построить кривые скорости движения и времени хода поезда по заданному участку графическим методом МПС.

### Осваиваемые профессиональные компетенции:

ПК 1.1. Эксплуатировать подвижной состав железных дорог.

ПК 1.3. Обеспечивать безопасность движения подвижного состава.

### Порядок выполнения работы.

#### 1 Построить кривую скорости движения поезда по заданному участку.

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 поезд. Условно принимают, что эта материальная точка расположена в середине поезда.

Кривая скорости строится для движения поезда в одном направлении, исходя из того, что поезд отправляется со станции А (Б), проходит без остановки станцию К и делает остановку на станции Б (А). При этом надо соблюдать условия, что скорость поезда по входным стрелкам станции, на которой предусмотрена остановка, не должна превышать 50 км/ч вследствие возможного приема на боковой путь.

Построение кривой скорости начинают от оси первой станции, которая располагается в середине первого элемента. Оси промежуточной и конечной станции располагаются в середине соответствующих элементов профиля пути, на которых располагаются данные станции. Построения начинают, используя режим тяги, задавая интервалом скоростей 10 км/ч до выхода на автоматическую характеристику, после до выхода на автоматическую характеристику интервал скорости берут 5 км/ч.

Построение ведут следующим образом: на диаграмме удельных ускоряющих сил выбирают точку, среднего значения скорости для данного интервала скоростей. Вторую точку берут на оси удельных сил, в зависимости от того, на каком элементе профиля находимся (спуск, подъем, площадка). Прикладывают линейку к данным точкам, к линейке прикладывают угольник одной стороной прямого угла, вторая сторона угольника покажет направление первого отрезка кривой скорости  $V(S)$ . Угольник смещают по линейке до оси первой станции, и проводят отрезок в интервале выбранного интервала скорости. Дальнейшие построения производят аналогично описанным выше. При этом начало последующего отрезка совпадает с концом предыдущего, концы отрезков кривой скорости обозначаются цифрами. Проекция отрезков на ось абсцисс показывают путь, проходимый поездом при изменении скорости.

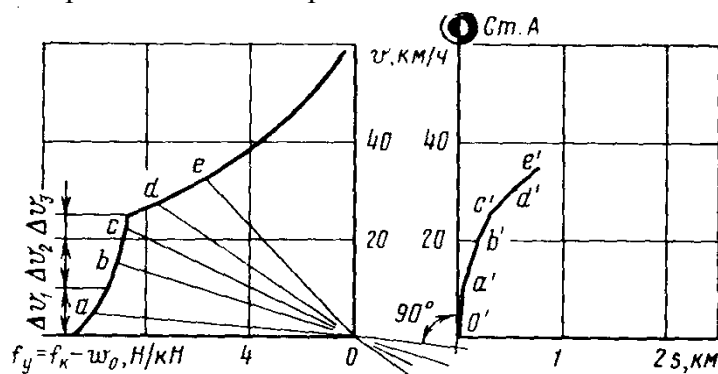


Рисунок 1

При достижении максимально допустимой скорости движения необходимо выключить ток, и перейти в режим выбега или регулировочного торможения. Если при переходе в режим выбега, скорость движения будет увеличиваться, то необходимо применить регулировочное торможение. Снижение скорости при торможении принимаем 15 – 20 км/ч. Переход в режим выбега при построении сводится к использованию кривой удельных замедляющих сил при выбеге  $w_{ox}(V)$  вместо кривой удельных ускоряющих сил при тяге  $f_k - w_0(V)$ , начиная с той скорости, при которой перешли на выбег. При этом принимаем интервал скорости  $\Delta V = 10$  км/ч.

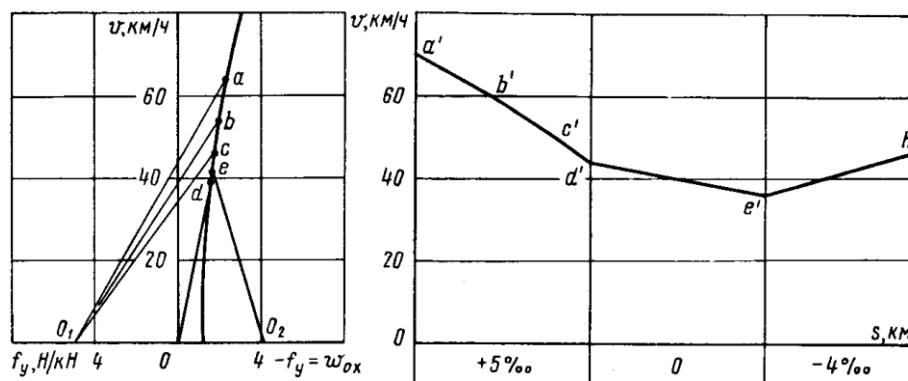


Рисунок 2

При включении тормозов (проверка действия на эффективность, следование на остановку), необходимо перейти на кривую замедляющих сил при служебном торможении  $w_{ox} + 0,5w_T(V)$ . Задаваясь интервалами скоростей построить кривую  $V(S)$  при торможении. При скоростях от максимально допустимой до 50 км/ч – интервал скорости принимаем 10 км/ч, а при скоростях от 50 км/ч до 0 км/ч – интервал скорости принимаем 5 км/ч.

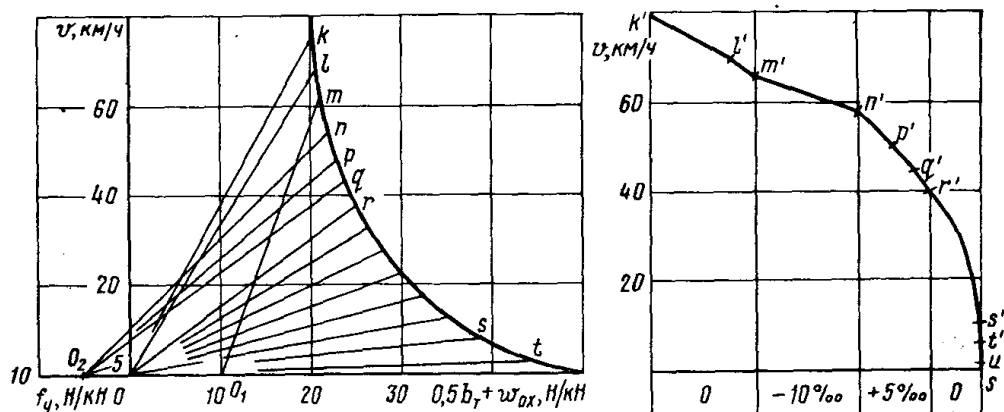


Рисунок 3

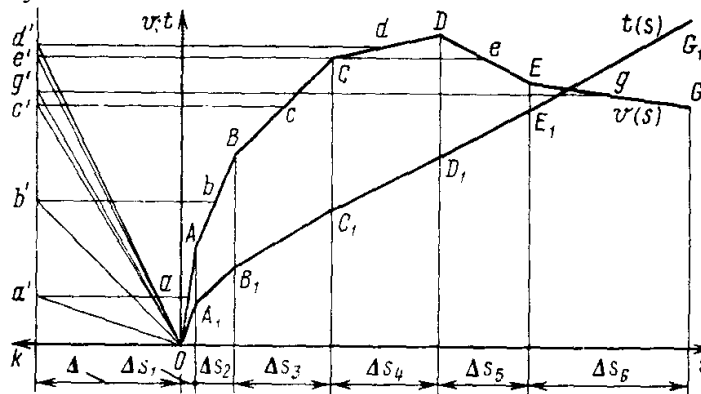
Построение кривой скорости ведут с условием, что скорость поезда не должна превышать максимально допустимую.

Обязательно следует иметь в виду, что при выполнении тяговых расчетов необходимо стремиться к более полному использованию тяговых свойств и мощности локомотива с тем, чтобы время движения поезда по перегонам было минимальным. При построении кривой скорости необходимо учитывать проверку тормозов на эффективность, которая выполняется, при достижении поездом скорости 40 – 60 км/ч на площадке или спуске. При движении поезда по затяжному спуску желательно скорость поддерживать постоянной. Поэтому необходимо ее регулировать, используя поочередно режимы служебного торможения и выбега. При этом получается пилообразная линия  $V(S)$ . В данном случае, допускается строить кривую скорости в виде горизонтальной линии, проводимой ниже уровня допустимой скорости на величину поправки  $\Delta V$ , которая зависит от величины уклона. Величины поправок приведены в таблице 1.

Тип поезда	$\Delta V_{\text{км/ч}}$ , при движении по спуску (с учетом кривой) $^0_{\text{00}}$							
	4	6	8	10	12	14	16	18
грузовой	4	4	4	4	5	6	7	8

**2 Построить кривую времени хода по заданному участку графическим методом МПС.**

Построенная кривая скорости состоит из отрезков, которые располагаются в границах интервала скоростей и соединены друг с другом. Для построения первого отрезка кривой времени в функции пути берут среднюю скорость на первом отрезке кривой скорости, переносят эту скорость на вертикальную линию, проведенную на расстоянии  $\Delta$ , от начала координат. К точкам среднего значения скорости и начала координат прикладывают линейку, а угольник - к ней с таким расчетом, чтобы провести отрезок перпендикулярной линии через точку начала координат в пределах  $\Delta S$ ; отрезка пути пройденного поездом в пределах интервала скорости. Далее, для второго интервала скорости определяем среднее значение скорости и соединив начало координат с точкой среднего значения скорости второго интервала. Перпендикуляр к этой линии проводят через конец отрезка первого значения времени в пределах пути ограниченного концом второго интервала скорости. Построения производят для всего участка. При построении кривой времени 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 обрывать, точку обрыва снести по вертикали вниз на ось абсцисс и продолжить построение кривой снова от нуля. Таким образом, кривая времени обрывается через каждые 10 мин. У точек пересечения кривой времени с осями отдельных пунктов записываются времена хода поезда между двумя соседними отдельными пунктами, с точностью до 0,1 мин. Возле оси последней станции, ставится дополнительно, время хода по всему участку.



Кривые скорости и времени хода поезда строятся на листе миллиметровой бумаги, в нижней части которой следует расположить заданный профиль или план участка, над ними спрямленный профиль, по которому строится кривая скорости. Кроме того,

необходимо внизу указать километровые отметки. Километровые отметки начинают устанавливаться от оси первой станции.

Все построения ведутся в следующих масштабах:

Удельные силы  $1 \text{ Н/кН} = 6 \text{ мм}$

Скорость  $1 \text{ км/ч} = 1 \text{ мм}$

Путь  $1 \text{ км} = 20 \text{ мм}$

Постоянная времени  $\Delta = 30 \text{ мм}$

Время  $1 \text{ мин} = 10 \text{ мм}$

**3 Сделать вывод по работе.**

## Практическое занятие №7

**Тема:** Построение кривых тока.

**Цель:** Практически построить кривую потребления тока заданного локомотива.

### Осваиваемые профессиональные компетенции:

ПК 1.1. Эксплуатировать подвижной состав железных дорог.

ПК 1.3. Обеспечивать безопасность движения подвижного состава.

### Порядок выполнения работы.

Построение кривых тока подвижного состава проводят с целью нахождения токов при движении поезда с различными скоростями, которые необходимы для оценки использования мощности тяговых электродвигателей, а на электроподвижном составе и для определения расхода энергии на тягу поездов. По току, проходящему по обмоткам тягового электродвигателя или генератора, и времени, в течение которого проходит данный ток, определяют нагрев их обмоток.

#### 1 Построить кривую потребления тока электровозом постоянного тока.

Ток, потребляемый электровозом для любой скорости, взятой по кривой скорости  $V = f(S)$ , определяют с помощью тяговых характеристик электровоза  $I_{\text{э}} = f(V)$ . Построение выполняют следующим образом. Для точек изломов кривой  $V = f(S)$  (на границах приращения скорости  $\Delta V$ ) по токовым характеристикам  $I_{\text{э}} = f(V)$  находят точки  $I_{\text{э}}$ , которые откладывают в масштабе в соответствующих точках пути. Соединив полученные точки прямыми линиями, получают кривую тока. Там где локомотив движется без тока (режим выбега, торможения) кривую обрывают и проводят вертикально вниз до нуля. Включение тока показывают вертикальной линией от нуля до значения тока, соответствующего скорости движения поезда в данной точке. Концы обрезков обозначают цифрами, соответствующими цифрам кривой скорости  $V = f(S)$ , при резких изменениях значения тока, без изменения пути, точка измененного значения тока обозначается со штрихом.

#### 2 Построить кривые потребления тока тяговыми двигателями и электровозом переменного тока.

Построение кривой активного тока электровоза для любой скорости, взятой по кривой скорости  $V = f(S)$ , ведут с помощью токовой характеристики электровоза (активный ток)  $I_{\text{да}} = f(V)$ . Данная кривая будет использоваться при расчете расхода электрической энергии.

Чтобы в дальнейшем произвести расчет нагревания электрических машин, для электровозов переменного тока необходимо построить кривую потребления тока электродвигателями от пройденного пути  $I_{\text{д}} = f(S)$ . Данная кривая строится на основании токовой характеристики электродвигателя  $I_{\text{д}} = f(V)$  соответствующего электровоза. Построения производят аналогично построению кривой тока электровозов постоянного тока.

Построение кривых тока выполняется в следующих масштабах:

- для электровозов постоянного тока:

ВЛ-11 (3 секции), ВЛ-10<sup>у</sup> 1мм=20А;

ВЛ-10, ВЛ-11 (2 секции), ВЛ-82, ВЛ-82<sup>м</sup> 1мм=15А;

- для электровозов переменного тока:

$I_{da}$  : 1мм=2А;

$I_d$  : 1мм=6А.

**3 Сделать вывод по работе.**

## Практическое занятие №8

**Тема:** Проверка расчетной массы состава по условию нагревания электрических машин локомотива.

**Цель:** Практически определить превышение температуры наиболее нагретой части электрической машины над температурой наружного воздуха и сравнить с допустимым нагревом обмоток по классу изоляции.

### Осваиваемые профессиональные компетенции:

ПК 1.1. Эксплуатировать подвижной состав железных дорог.

ПК 1.3. Обеспечивать безопасность движения подвижного состава.

### Порядок выполнения работы.

Нагревание электрических машин зависит от потерь мощности, продолжительности нагревания и интенсивности охлаждения.

Чтобы уменьшить нагрев частей тяговых электрических машин, их охлаждают воздухом, поступающим снаружи с помощью вентилятора.

При малом нагреве изоляции, ее изоляционные свойства сохраняются долго, а при высоких температурах происходит интенсивный процесс ее старения и потери изоляционных свойств. Обмотки тяговых электрических машин допускают нагрев до разных температур в зависимости от класса изоляции. При большом токе обмотки электрической машины нагреваются до предельно допустимой температуры быстро, а при малом токе медленнее.

При рассмотрении процессов нагревания тел удобнее пользоваться не температурой тела, а превышением его температуры над температурой окружающего воздуха. В зависимости от класса изоляции допускают различные превышения температур обмоток электрических машин. Эти превышения температур приведены в таблице 1.

Таблица 1

Части тяговой электрической машины	Предельно допустимые превышения температур частей тяговых электрических машин над $t_{нв} \leq 40^{\circ}C$ при продолжительном и часовом режимах, $^{\circ}C$		
	Класс изоляции		
	В	F	Н
Обмотки якоря	120	140	160
Катушки полюсов	130	155	180
Коллектор	95	95	105

Проверку нагревания электрических машин выполняют, определяя превышение температуры наиболее нагретой части – обмотки якоря или катушки главных полюсов, или дополнительных полюсов над температурой наружного воздуха.

В соответствии с законом нагревания однородного твердого тела превышение температуры  $\tau, ^{\circ}C$ , при номинальных условиях охлаждения определяют по формуле:

$$\tau = \tau_{\infty} t / T + \tau_0 (1 - t / T) \quad 1$$

где:  $_{\Delta}t$  - интервал времени, мин, в течение которого по обмоткам идет неизменный средний ток.



При движении локомотива в режиме выбега (без тока) происходит остывание обмоток. Температуру обмоток в режиме выбега определяют по формуле:

$$\tau = \tau_0(1 - \Delta t / T) \quad 2$$

где:  $\tau_0$  - начальное превышение температуры для расчетного промежутка времени, °C ;

$T$  - тепловая постоянная времени, мин, соответствующая такому условному времени, в течение которого нагрелась бы обмотка электрической машины до установившейся температуры при полном отсутствии теплоотдачи.

При этом должно соблюдаться условие, что отношение

$$\Delta t / T \leq 0,1 \quad 3$$

Из полученных превышений температур электрических машин выбирают наибольшую и затем приводят ее к расчетной температуре наружного воздуха. Расчетное превышение температуры определяют по формуле:

$$\tau_p = \tau K_{сз} K_{нв} \quad 4$$

где:  $K_{сз}$  - коэффициент сезона, принимаемый летом равным 1,0, а зимой 1,1;

$K_{нв}$  - коэффициент наружного воздуха.

Значения коэффициента наружного воздуха приведены в таблице 2.

Таблица 2

Обмотки электрических машин	Значение коэффициента наружного воздуха $K_{нв}$ при расчетной температуре наружного воздуха $t$ , °C							
	0	5	10	15	20	25	30	35
полюсов	0,9	0,92	0,94	0,96	0,98	1	1,02	1,04
якоря	0,94	0,95	0,96	0,98	0,99	1	1,01	1,02

### 1 Произвести расчет нагревания электрических машин.

Расчет нагревания электрических машин произвести для летнего периода с температурой наружного воздуха  $t_{нв}$ :

- для электровозов переменного тока  $t_{нв} = +15$  °C;
- для электровозов постоянного тока  $t_{нв} = +20$  °C;

При отправлении со станции начальное превышение температуры  $\tau_0$  принимают +15 °C.

По кривой тока подвижного состава определяют начальное и конечное значение тока (точки перелома кривой скорости), после чего определяют среднее значение тока. По кривой времени определяем промежуток времени, в течение которого протекает данный ток по обмоткам электрической машины. По кривым тепловых характеристик электрических машин находят значения тепловых параметров  $\tau_\infty$  и  $T$ . После его необходимо определить отношение  $\Delta t / T$ , при этом необходимо соблюдать условие 3. Далее необходимо произвести расчеты согласно таблице 3.

При расчете каждой последующей строки таблицы значение  $\tau_0$  берется как значение  $\tau$  в предыдущей строке. После заполнения таблицы выбираем наибольшее превышение температуры обмотки электрической машины, и рассчитываем расчетное превышение температуры обмотки при расчетной температуре наружного воздуха по формуле 4.

Полученную температуру сравнить с допустимой температурой изоляции класса F.

При определении среднего тока электрических машин необходимо учитывать число параллельных ветвей у электровозов постоянного тока.

Таблица 3

Участок кривой тока	$I_{н}, A$	$I_{к}, A$	$I_{ср}, A$	$\Delta t, \text{мин}$	$\tau_{ос}, ^\circ C$	$\frac{\Delta t}{T}$	$1 - \frac{\Delta t}{T}$	$\tau_{\infty} \frac{\Delta t}{T}, ^\circ C$	$\tau_0 \left(1 - \frac{\Delta t}{T}\right), ^\circ C$	$\tau, ^\circ C$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

**2 Сделать вывод по работе.**

## Практическое занятие №9

**Тема:** Определение полного и удельного расхода электрической энергии на тягу поездов.

**Цель:** Практически определить полный и удельный расход электрической энергии локомотивами.

### Осваиваемые профессиональные компетенции:

ПК 1.1. Эксплуатировать подвижной состав железных дорог.

ПК 1.3. Обеспечивать безопасность движения подвижного состава.

### Порядок выполнения работы.

В период пуска механическая работа локомотива затрачивается на преодоление сил сопротивления движению и на создание запаса кинетической энергии. Часть потребляемой электрической энергии при пуске электроподвижного состава постоянного тока теряется в пусковом реостате, а также в тяговых электродвигателях и передаче, а при переменном токе - в тяговых электродвигателях, передаче и преобразовательной установке. При расчете полного расхода электрической энергии, потребляемой электроподвижным составом, ее подразделяют на отдельные составляющие: энергия, расходуемая на движение поезда и на собственные нужды.

Наиболее точно расход энергии на движение поезда определяют по кривым тока и времени в функции пути графоаналитическим методом.

#### 1 Определить расход электрической энергии электровозом постоянного тока.

По кривым  $I_{\text{э}} = f(S)$  и  $t = f(S)$  подсчитывается расход энергии, затраченной электровозом на перемещение поезда по участку и отнесенной к токоприемнику.

Для расчета электроэнергии по кривой тока определяют среднее значение тока потребляемого электровозом в определенный промежуток времени. Начальное и конечное значение тока принимают по переломным точкам кривой  $I_{\text{э}} = f(S)$ . Для этого интервала потребления тока определяют время.

Данные заносят в таблицу 1.

Таблица 1

Номера участков	Средний ток электровоза $I_{\text{эср}}, A$	Время $\Delta t, \text{мин}$	$I_{\text{эср}} \cdot \Delta t, A \cdot \text{мин}$
1	2	3	4

Расход электроэнергии затраченной на тягу поездов определяют по формуле:

$$A' = \frac{U_{\text{э}} \Sigma (I_{\text{эср}} \cdot \Delta t)}{60 \cdot 1000} \quad 1$$

где:  $U_{\text{э}}$  - напряжение на токоприемнике электровоза, В,  $U_{\text{э}} = 3000 \text{ В}$ ;

$I_{\text{эср}}$  - среднее значение тока для отрезка  $I_{\text{э}} = f(S)$ , в пределах которого величину тока можно принять постоянной и равной полусумме токов в начале и конце указанного отрезка, А;

$\Delta t$  - соответствующий промежуток времени, в течение которого величина тока принимается постоянной, мин.

Для определения полного расхода электрической энергии необходимо к расходу энергии на тягу поездов добавить расход электроэнергии на собственные нужды электровоза (на работу вспомогательных машин, питание цепей освещения, отопления и управления). Его определяют по средней потребляемой для этих целей электроэнергии и полному времени работы электровозов.

Средние значения расходов электроэнергии на собственные нужды электровозов постоянного тока приведены в таблице 2.

Таблица 2

Серия электровоза	Средний расход электроэнергии на собственные нужды $r$ , кВт ч/мин
ВЛ – 10, ВЛ – 10 <sup>у</sup> , ВЛ – 11(2 секции)	2,08
ВЛ – 11 (3 секции)	3,12
ВЛ – 82, ВЛ – 82 <sup>м</sup>	4,17

Расход электроэнергии на собственные нужды определяют по формуле:

$$A'' = r \cdot t \quad 2$$

где:  $r$  - средний расход электроэнергии на собственные нужды электровоза в единицу времени, кВт ч/мин;

$t=t_1+t_2$  – полное время работы электровоза на заданном участке, мин.

Полный расход электроэнергии определяют по формуле:

$$A = A' + A'' \quad 3$$

Удельным расходом электроэнергии на движение поезда называют расход электроэнергии, отнесенный к единице перевозочной работы – к 1т массы состава и пройденному расстоянию в 1 км.

Удельный расход электроэнергии с учетом расхода электроэнергии на собственные нужды определяют по формуле:

$$a = \frac{1000A}{Q \cdot L} \quad 4$$

где:  $Q$  - масса состава, т;

$L$  - длина участка, для которого выполнены тяговые расчеты, км (расстоянии принимается от оси первой станции до оси конечной).

## 2 Определить расход электрической энергии электровозом переменного тока.

Для определения расхода электрической энергии пользуются кривой активного тока  $I_{da} = f(S)$  и производят заполнение таблицы 3.

Таблица 3

Номера участков	Ток в начале участка $I_{дан}$ , А	Ток в конце участка $I_{дак}$ , А	Среднее значение активного тока $I_{даср}$ , А	Время $\Delta t$ , мин	$I_{даср} \cdot \Delta t$ , А · мин
1	2	3	4	5	6

Заполнение таблицы проводят по аналогии с заполнением таблицы для электровозов постоянного тока.

Расход электроэнергии на тягу поездов рассчитывают по формуле:

$$A' = \frac{U_{\text{э}} \Sigma (I_{\text{даср}} \cdot \Delta t)}{60 \cdot 1000} \quad 5$$

где:  $U_{\text{э}}$  - напряжение в контактной сети, В,  $U_{\text{э}}=25000$  В;

$I_{\text{даср}}$  - среднее значение активного тока для отрезка кривой  $I_{da} = f(S)$  между соседними точками перелома кривой, А;

$\Delta t$  - соответствующий промежуток времени, который определяется по кривой  $t = f(S)$ .

Расход электроэнергии на собственные нужды определяют также как и для электровозов постоянного тока, по формуле 2.

Средние значения расходов электроэнергии на собственные нужды электровозов переменного тока приведены в таблице 4.

Таблица 4

Серия электровоза	Средний расход электроэнергии на собственные нужды г, кВт · ч/мин
ВЛ – 80 <sup>к</sup>	4,83
ВЛ – 80 <sup>т</sup> , ВЛ – 80 <sup>с</sup> (2 секции)	5,50
ВЛ – 80 <sup>с</sup> (3 секции)	8,25
ВЛ – 80 <sup>р</sup>	5,83
ВЛ – 85	5,33

Полный расход электроэнергии определяют также как и для электровозов постоянного тока, по формуле 3.

Удельный расход электроэнергии определяют также как и для электровозов постоянного тока, по формуле 4.

### 3 Сделать вывод по работе.