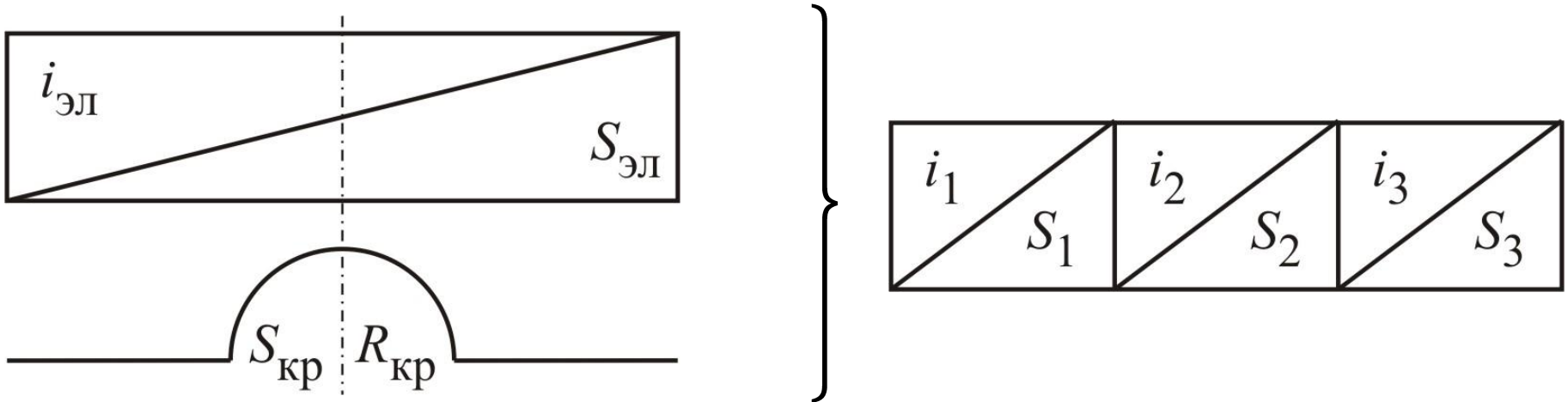


# 1. Спрямление профиля.

В соответствии с вариантом профиля по заданию из таблицы Приложения 2 методических указаний выбираем элементы профиля обозначенные \* и \*\*. Предполагаем, что кривая расположена по оси симметрии элемента.

Разбиваем каждый элемент на три:



# 1. Спрямление профиля.

Параметры новых элементов рассчитываем по формулам:

$$i_{\text{эл}} = i_2 = i \quad ; \quad i = \frac{k}{R_{\text{кр}}} + i \quad , \quad \text{‰}.$$

$i_{\text{эл}}$  – исходный уклон элемента профиля, ‰. Принимается из Приложения 2 методических указаний;

$R_{\text{кр}}$  – радиус кривой, м. Принимается из Приложения 2 методических указаний;

$k = 700$ , если  $R_{\text{кр}} \geq 300$ ; или  $k = 430$ , если  $R_{\text{кр}} < 300$

$$S_{\text{кр}} = S_3 = \frac{S_{\text{эл}} - S_{\text{кр}}}{2} \text{ м} \quad S_2 = S \quad ,$$

$S_{\text{эл}}$  – исходная длина элемента профиля, м. Принимается из Приложения 2 методических указаний;

$S_{\text{кр}}$  – длина кривой, м. Принимается из Приложения 2 методических указаний.

# 1. Спрямление профиля.

Результаты спрямления профиля оформляются в виде таблицы:

Исходный профиль				Спрямленный профиль		
№ п/п	$S_{эл}, \text{ м}$	$i_{эл}, \text{ ‰}$	$S_{эл} \cdot i_{эл}$	№ п/п	$S_{эл}, \text{ м}$	$i_{эл}, \text{ ‰}$
1				1		
2				2		
...				...		
15				19		
	$\Sigma S_{эл}$				$\Sigma S_{эл}$	

Определяются расчетные уклоны в режиме тяги и рекуперативного торможения:

$$i_{элi} \cdot S_{элi} = \max \Rightarrow i_p = i_{элi}, \text{ ‰ (ТОЛЬКО } i_{элi} > 0);$$

$$i_{элi} \cdot S_{элi} = \min \Rightarrow i_{pp} = i_{элi}, \text{ ‰ (ТОЛЬКО } i_{элi} < 0).$$

## 2. Определение расчетной массы состава.

Рассчитываем номинальную скорость движения электровоза:

$$V_{\text{н}} = \frac{\text{км} \cdot \pi \cdot n_{\text{н}} \cdot D_{\text{к}}}{60 \cdot \mu}, \text{ —.}$$

$n_{\text{н}}$  — номинальная частота вращения тягового электродвигателя, об/мин;

$D_{\text{к}}$  — диаметр движущего колеса электровоза, м;

$\mu$  — передаточное число редуктора электровоза.

Все величины принимаются по Приложению 1 методических указаний.

## 2. Определение расчетной массы состава.

Рассчитываем сопротивление обмоток тягового электродвигателя:  $R_{д} = R_{я} + R_{дп} + R_{ко} + R_{гп}$ , Ом.

$R_{я}$  – сопротивление обмотки якоря, Ом;

$R_{дп}$  – сопротивление обмотки дополнительных полюсов, Ом;

$R_{ко}$  – сопротивление компенсационной обмотки, Ом;

$R_{гп}$  – сопротивление обмотки главных полюсов, Ом.

Все величины принимаются по Приложению 1 методических указаний.

## 2. Определение расчетной массы состава.

Рассчитываем номинальный магнитный поток тягового электродвигателя:

$$C\Phi_{\text{н}} = \frac{U_{\text{дн}} - I_{\text{дн}} \cdot R_{\text{д}}}{V_{\text{н}}}, \frac{\text{В} \cdot \text{ч}}{\text{км}}.$$

$U_{\text{дн}}$  – номинальное напряжение тягового электродвигателя, В;

$I_{\text{дн}}$  – номинальный ток тягового электродвигателя, А.

Все величины принимаются по Приложению 1 методических указаний.

## 2. Определение расчетной массы состава.

Рассчитываем магнитный поток тягового электродвигателя, соответствующий расчетному току:

$$C\Phi_{\text{к}} = \frac{C\Phi_{\text{н}}}{\text{кМ}} \cdot \text{arctg} \left( 2,6 \cdot \frac{I_{\text{в}}}{I_{\text{вн}}} \right), \frac{\text{В} \cdot \text{ч}}{\text{кМ}}.$$

$I_{\text{в}}$  – ток возбуждения тягового электродвигателя, соответствующий расчетному току, А.  $I_{\text{в}} = I_{\text{я}}$ ;

$I_{\text{вн}}$  – номинальный ток возбуждения тягового электродвигателя, А.  $I_{\text{вн}} = I_{\text{дн}}$ .

Величина расчетного тока  $I_{\text{я}}$  принимается по заданию.

## 2. Определение расчетной массы состава.

Рассчитываем коэффициент, учитывающий механические и магнитные потери в тяговом электродвигателе и механические потери в тяговой передаче:

$$k_{\Pi} = \eta_{\text{ТП}} \cdot \frac{1 + \eta_{\text{ТД}}}{2}.$$

$\eta_{\text{ТП}}$  – КПД тяговой передачи;

$\eta_{\text{ТД}}$  – КПД тягового электродвигателя.

Все величины принимаются по Приложению 1 методических указаний.



## 2. Определение расчетной массы состава.

Вычисляем расчетную силу тяги электровоза:

$$F_{\text{кр}} = 0,367 \cdot g \cdot C\Phi_{\text{к}} \cdot I_{\text{я}} \cdot k_{\text{п}} \cdot 4 \cdot N_{\text{с}}, \text{ Н.}$$

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

$N_{\text{с}}$  – число секций электровоза. Принимается по заданию.

Вычисляем расчетную скорость движения электровоза:

$$V_{\text{р}} = \frac{U_{\text{кС}} - I_{\text{я}} \cdot 2 \cdot R_{\text{д}}}{\Phi C_{\text{к}}}, \frac{\text{км}}{\text{ч}}$$

$U_{\text{кС}}$  – напряжение контактной сети, В. Принимается по заданию.

## 2. Определение расчетной массы состава.

Вычисляем расчетный коэффициент сцепления колес электровоза с рельсами:

$$\Psi_{\text{к}} = 0,28 + \frac{3}{50 + 20 \cdot V_{\text{р}}} - 0,0007 \cdot V_{\text{р}}.$$

Вычисляем расчетную массу электровоза:  $G = G_2 \cdot \frac{N_{\text{с}}}{2}$  т.

$G_2$  – масса двухсекционного электровоза, т. Принимается по Приложению 1 методических указаний.

Вычисляем расчетную силу тяги электровоза по условиям сцепления колес с рельсами:  $F_{\text{сц}} = 1000 \cdot G \cdot g \cdot \Psi_{\text{к}}$ , Н.

Окончательно принимаем расчетную силу тяги электровоза по следующему условию:

$$\text{если } F_{\text{сц}} < F_{\text{кр}} \Rightarrow F_{\text{кр}} = F_{\text{сц}}, \text{ Н.}$$

## 2. Определение расчетной массы состава.

Вычисляем сопротивление движению электровоза в расчетном режиме:

$$w'_p = 1,9 + 0,01_p \cdot V + 0,0003 \cdot V^2, \frac{\text{Н}}{\text{кН}}.$$

Вычисляем сопротивление движению каждого типа вагонов в расчетном режиме:

$$w''_{oi} = a_i + \frac{b_i + c_i \cdot V_p + d_i \cdot V_p^2}{q_{oi}}, \frac{\text{Н}}{\text{кН}}.$$

$a_i, b_i, c_i, d_i$  – коэффициенты, величина которых зависит от типа вагона. Принимается по Таблице 1 методических указаний;

$q_{oi}$  – нагрузка на ось вагона  $i$ -го типа, т. Принимается по заданию.

## 2. Определение расчетной массы состава.

Вычисляем массу вагона каждого типа:  $Q_i = q_{oi} \cdot N_{oi}$ , т.  
 $N_{oi}$  – число осей вагона  $i$ -го типа . Принимается по заданию.

Вычисляем массовую долю каждого типа вагонов:

$$\beta_i = \frac{\alpha_i \cdot Q_i}{\sum_{i=1}^3 \alpha_i \cdot Q_i}.$$

$\alpha_i$  – процентная доля вагонов  $i$ -го типа. Принимается по заданию.

Делаем проверку правильности вычислений:

$$\left| 1 - \sum_{i=1}^3 \beta_i \right| \leq 0,01.$$

## 2. Определение расчетной массы состава.

Вычисляем сопротивление движению состава в расчетном режиме:

$$w''_0 = \sum_{i=1}^3 w''_{oi} \cdot \beta_i, \quad \frac{\text{Н}}{\text{кН}}.$$

Вычисляем расчетную массу состава:

$$Q_p = \frac{F_{\text{кр}} - G \cdot g \cdot (w'_0 + i_p)}{(w''_0 + i_p) \cdot g} \text{Т.}$$

Полученный результат округляем до **целого!**

### 3. Проверка массы состава по условиям трогания с места.

Вычисляем сопротивление движению состава при трогании с места:

$$w_{\text{тр}} = \sum_{i=1}^3 \left( \frac{\rho \cdot V}{q_{oi} + \kappa H} \cdot \beta_i \right), \quad \text{---}$$

Вычисляем массу состава по условиям трогания с места на расчетном подъеме:

$$Q_{\text{тр}} = \frac{F_{\text{кр}}}{(w_{\text{тр}} + i_p) \cdot g} - G_{\text{т}}.$$

Полученный результат округляем до **целого!**

Делаем проверку: если  $Q_{\text{тр}} < Q_p \Rightarrow Q = Q_{\text{тр}}$ ,  
иначе  $Q = Q_p$ , т.

#### 4. Проверка массы состава по длине приемо-отправочных путей.

Рассчитываем число вагонов каждого типа:  $N_i = \frac{Q \cdot \beta_i}{Q_i}$

Полученные результаты округляются до **меньшего целого**.

Рассчитываем массу состава через число вагонов:

$$Q_B = \sum_{i=1}^3 (Q_i \cdot N_i).$$

Делаем проверку: если  $Q - Q_B > Q_{i \min}$ , то увеличиваем число вагонов каждого типа на 1 до тех пор, пока условие выполняется. **Не допускается  $Q - Q_B < 0$ !**

$Q_{i \min}$  – наименьшая масса вагона, т.

#### 4. Проверка массы состава по длине приемо-отправочных путей.

Рассчитываем длину поезда: 
$$L_{\text{п}} = L_2 \cdot \frac{N_c}{2} + \sum_{i=1}^3 L_i \cdot N_i, \text{ м.}$$

$L_2$  – длина двухсекционного электровоза, м. Принимается по Приложению 1;

$L_i$  – длина вагона  $i$ -го типа, м. Принимается по таблице 2 методических указаний.

**Делаем проверку:** если  $L_{\text{п}} + 10 > L_{\text{пп}}$ , то последовательно уменьшаем число вагонов каждого типа на 1 до тех пор, пока условие выполняется.

$L_{\text{пп}}$  – длина приемо-отправочных путей, м. Принимается по заданию.

Если производилась корректировка числа вагонов, то пересчитываем массу состава:

$$Q = \sum_{i=1}^3 (Q_i \cdot N_i).$$



## 5. Проверка массы состава по условию равномерного движения на расчетном спуске в режиме рекуперативного торможения.

Рассчитываем магнитный поток тягового электродвигателя в режиме рекуперативного торможения при скорости 80 км/ч:

$$C\Phi_{\text{к}} = \frac{U_{\text{кС}} + I_{\text{я}} \cdot (2 \cdot (R_{\text{я}} + R_{\text{дп}} + R_{\text{ко}}) + R_{\text{иш}} + R_{\text{ст}})}{\text{км}80}, \frac{\text{В} \cdot \text{ч}}{\text{ч}}.$$

$R_{\text{иш}}$  – сопротивление индуктивного шунта, Ом.

Принимается по Приложению 1;

$R_{\text{ст}}$  – сопротивление стабилизирующего резистора, Ом.

Принимается по Приложению 1.

## 5. Проверка массы состава по условию равномерного движения на расчетном спуске в режиме рекуперативного торможения.

Рассчитываем величину тока возбуждения тягового электродвигателя, необходимого для создания рассчитанного магнитного потока:

$$I_{\text{в}} = \frac{I_{\text{вн}}}{\Phi_{\text{б}}} \cdot \text{tg} \left( 1,2 \cdot \frac{C\Phi_{\text{к}}}{C_{\text{н}}} \right),$$

Делаем проверку:  $\frac{I_{\text{в}}}{I_{\text{я}}} \geq \frac{1}{4}$ .

Если условие не выполняется, то последовательно уменьшаем  $I_{\text{я}}$  на 10 А; рассчитываем магнитный поток и ток возбуждения; делаем проверку.  $I_{\text{я}}$  уменьшаем до тех пор, пока условие выполняется. В дальнейшем используем полученное значение  $I_{\text{я}}$ .

## 5. Проверка массы состава по условию равномерного движения на расчетном спуске в режиме рекуперативного торможения.

Рассчитываем величину тормозной силы электровоза:

$$B_{\text{кр}} = \frac{\Phi 367 \cdot \xi \cdot I_{\text{к}} \cdot \eta \cdot N_{\text{с}}}{k_{\text{п}}},$$

Рассчитываем величину коэффициента сцепления колес электровоза с рельсами для скорости 80 км/ч:

$$\Psi_{\text{к}} = 0,28 + \frac{3}{50 + 20 \cdot V} - 0,0007 \cdot V.$$

Рассчитываем величину допустимой тормозной силы по условиям сцепления колес электровоза с рельсами:

$$B_{\text{сц}} = 0,8 \cdot 1000 \cdot G \cdot g \cdot \Psi_{\text{к}}.$$

Делаем проверку: если  $B_{\text{кр}} > B_{\text{сц}} \Rightarrow B_{\text{кр}} = B_{\text{сц}}$ .

## 5. Проверка массы состава по условию равномерного движения на расчетном спуске в режиме рекуперативного торможения.

Рассчитываем величину удельного сопротивления движению электровоза для скорости 80 км/ч:

$$w'_0 = 1,9 + 0,01 \cdot V + 0,0003 \cdot V^2, \frac{\text{Н}}{\text{кН}}.$$

Рассчитываем величину удельного сопротивления движению каждого типа вагонов для скорости 80 км/ч:

$$w''_{oi} = a_i + \frac{b_i + c_i \cdot V + d_i \cdot V^2}{q_{oi}}, \frac{\text{Н}}{\text{кН}}.$$

Вычисляем сопротивление движению состава :

$$w''_0 = \sum_{i=1}^3 w''_{oi} \cdot \beta_i, \frac{\text{Н}}{\text{кН}}.$$

## 5. Проверка массы состава по условию равномерного движения на расчетном спуске в режиме рекуперативного торможения.

Рассчитываем величину массы состава:

$$Q_p = - \frac{B_{кр} + G \cdot g \cdot (w'_o + i_{pp})}{(w''_o + i_{pp}) \cdot g} T.$$

Делаем проверку:  $Q > Q_{рт} \Rightarrow Q = Q_{рт}$ .

Если условие выполнилось и масса состава скорректирована, то рассчитываем число вагонов и вычисляем массу состава через число вагонов, проверяя при этом, чтобы разность массы, рассчитанной через число вагонов и принятой по условиям рекуперативного торможения не была больше  $Q_{i \min}$ .

## 6. Подготовка данных для расчета расхода электроэнергии.

Рассчитываем величину коэффициента инерции вращающихся частей поезда:

$$\psi + = \frac{G \cdot (1 + \gamma)_{\text{э}} + Q \cdot (1 + \gamma)_{\text{в}}}{G + Q}$$

$(1 + \gamma)_{\text{э}}$  – коэффициент инерции вращающихся частей электровоза. Принимается равным 1,225;

$(1 + \gamma)_{\text{в}}$  – коэффициент инерции вращающихся частей вагонов. Принимается равным 1,035.

## 6. Подготовка данных для расчета расхода электроэнергии.

Рассчитываем величину тока возбуждения тягового электродвигателя на высшей ступени ослабления возбуждения:

$$C\Phi_{\text{к}} = \frac{C\Phi_{\text{н}}}{\text{кМ}} \cdot \operatorname{arctg} \left( 2,6 \cdot \frac{I_{\text{я}} \cdot \beta_4}{I_{\text{вн}}} \right), \frac{\text{В} \cdot \text{ч}}{\text{ч}}.$$

$\beta_4$  – коэффициент ослабления возбуждения ТЭД на 4-й ступени. Принимается по Приложению 1.

Рассчитываем скорость выхода на автоматическую характеристику 4-й ступени ослабления возбуждения ТЭД:

$$V_{\text{а}} = \frac{U_{\text{кС}} - 2 \cdot I_{\text{я}} \cdot (R_{\text{я}} + R_{\text{дп}} + R_{\text{ко}} + R_{\text{гп}} \cdot \beta_4)}{\Phi C_{\text{к}}}, \frac{\text{кМ}}{\text{ч}}.$$

## 6. Подготовка данных для расчета расхода электроэнергии.

Делаем проверку: если  $V_a > 81$ , то производим расчет магнитного потока и скорости для  $\beta_3$ . Расчеты делаем до тех пор, пока выполняется условие. В дальнейших расчетах используем последнюю величину  $C\Phi_k$  и степень ослабления возбуждения, которую обозначаем  $\beta_{\min}$ .

Рассчитываем силу тяги электровоза при выходе на автоматическую характеристику минимальной ступени ослабления возбуждения ТЭД:

$$F_{\text{ка}} = 0,367 \cdot g \cdot C\Phi_k \cdot I_{\text{я}} \cdot k_{\text{п}} \cdot 4 \cdot N_c, \text{ Н.}$$

Делаем проверку: если  $79 \leq V_a \leq 81$ , то принимаем  $F_{\text{ка}} = F_{\text{к80}}$ . Следующие 2 слайда пропускаем.



## 6. Подготовка данных для расчета расхода электроэнергии.

Подбираем ток якоря ТЭД, соответствующий скорости 80 км/ч:

1. Уменьшаем ток якоря от заданного значения на 10 А.
2. Рассчитываем магнитный поток

$$C\Phi_k = \frac{C\Phi_H}{\text{кМ}} \cdot \arctg \left( 2,6 \cdot \frac{I_{\text{я}} \cdot \beta_{\min}}{I_{\text{ВН}}} \right), \frac{\text{В} \cdot \text{ч}}{\text{ч}}.$$

3. Рассчитываем скорость

$$V = \frac{U_{\text{КС}} - 2 \cdot I_{\text{я}} \cdot (R_{\text{я}} + R_{\text{ДП}} + R_{\text{КО}} + R_{\text{ГП}} \cdot \beta_{\min})}{\Phi C_k}, \frac{\text{КМ}}{\text{ч}}.$$

4. Проверяем условие:  $79 \leq V \leq 81$ . Если условие не выполняется – возвращаемся к п.1.

## 6. Подготовка данных для расчета расхода электроэнергии.

Рассчитываем силу тяги электровоза при скорости 80 км/ч:

$$F_{к80} = 0,367 \cdot g \cdot C\Phi_{к80} \cdot I_{я80} \cdot k_{п} \cdot 4 \cdot N_{с}, \text{ Н.}$$

$C\Phi_{к80}$  – магнитный поток ТЭД при скорости 80 км/ч.

Используется последнее подобранное значение;

$I_{я80}$  – ток якоря ТЭД при скорости 80 км/ч. Используется последнее подобранное значение.

Рассчитываем максимальный магнитный поток ТЭД в режиме рекуперативного торможения:

$$C\Phi_{кт \max} = \frac{C\Phi_{н}}{\text{кМ}} \cdot \arctg \left( 2,6 \cdot \frac{I_{в \max}}{I_{вн}} \right), \frac{\text{В} \cdot \text{ч}}{\text{кМ}}$$

$I_{в \max}$  – максимальный ток возбуждения ТЭД в режиме рекуперативного торможения. Принимается по Приложению 1.

## 6. Подготовка данных для расчета расхода электроэнергии.

Рассчитываем скорость окончания рекуперативного торможения:

$$V_{p \min} = \frac{U_{кс} + I_{я} \cdot \left( m \cdot (R_{я} + R_{дп} + R_{ко}) + \frac{m}{2} R_{иш} + R_{ст} \right)}{\eta \cdot \Phi_{кт \max}}, \frac{\text{км}}{\text{ч}}.$$

$m$  – число последовательно включенных якорей ТЭД при окончании рекуперативного торможения. При  $N_c = 2$   $m = 8$ ; при  $N_c = 3$   $m = 4$ .

Рассчитываем тормозную силу электровоза в момент окончания рекуперативного торможения:

$$B_{кТm} = \frac{0,367 \cdot \xi \cdot \Phi_{кт \max} \cdot I_{я} \cdot \eta \cdot N_c}{k_{п}},$$

## 6. Подготовка данных для расчета расхода электроэнергии.

Рассчитываем коэффициент сцепления колес электровоза с рельсами при скорости  $V_{p \min}$ :

$$\Psi_k = 0,28 + \frac{3}{50 + 20 \cdot V_{p \min}} - 0,0007 \cdot V_{p \min}.$$

Рассчитываем величину допустимой тормозной силы по условиям сцепления колес электровоза с рельсами:

$$B_{\text{сц}} = 0,8 \cdot 1000 \cdot G \cdot g \cdot \Psi_k.$$

Делаем проверку: если  $B_{\text{ктт}} > B_{\text{сц}} \Rightarrow B_{\text{ктт}} = B_{\text{сц}}$ .

## 6. Подготовка данных для расчета расхода электроэнергии.

Заполняем следующую таблицу (табл.3 МУ):

Режим	$F_k$	$V_{cp}$
Пуск	$F_{кр}$	$V_p / 2$
Разгон до выхода на максимальную ступень ослабления возбуждения	$\frac{F_{кр} + F_{ка}}{2}$	$\frac{V_p + V_a}{2}$
Разгон на автоматической характеристике	$\frac{F_{ка} + F_{к80}}{2}$	$\frac{V_a + 80}{2}$
Рекуперативное торможение	$\frac{B_{кр} + B_{кТМ}}{2}$	$\frac{V_{p \min} + 80}{2}$
Дотормаживание	$B_{кТМ}$	$V_{p \min} / 2$

## 6. Подготовка данных для расчета расхода электроэнергии.

Рассчитываем основное удельное сопротивление движению поезда для всех скоростей  $V_{\text{ср}}$ , рассчитанных для таблицы 3 по следующим формулам:

$$w'_0 = 1,9 + 0,01 \cdot V + 0,0003 \cdot V^2, \frac{\text{Н}}{\text{кН}}.$$

$$w''_{oi} = a_i + \frac{b_i + c_i \cdot V + d_i \cdot V^2}{q_{oi}}, \frac{\text{Н}}{\text{кН}}.$$

$$w''_0 = \sum_{i=1}^3 w''_{oi} \cdot \beta_i, \frac{\text{Н}}{\text{кН}}.$$

$$w_0 = \frac{w'_0 \cdot G + w''_0 \cdot Q}{G + Q}, \frac{\text{Н}}{\text{кН}}.$$

## 6. Подготовка данных для расчета расхода электроэнергии.

Рассчитываем эквивалентный уклон перегона:

$$i_{\text{э}} = \frac{\sum_{i=1}^n i_{\text{эли}} \cdot S_{\text{эли}}}{\sum_{i=1}^n S_{\text{эли}}}, \text{‰}.$$

При расчете используем спрямленный профиль, полученный в п.1.

## 6. Подготовка данных для расчета расхода электроэнергии.

Рассчитываем средние ускорения поезда для всех режимов разгона таблицы 3:

$$a = \frac{F_k - (w_o + i_э) \cdot (G + Q) \cdot g}{(G + Q) \cdot 1000 \cdot (1 + \gamma)}, \frac{\text{м}}{\text{с}^2}.$$

Рассчитываем средние замедления поезда для всех режимов торможения таблицы 3:

$$a = \frac{F_k + (w_o + i_э) \cdot (G + Q) \cdot g}{(G + Q) \cdot 1000 \cdot (1 + \gamma)}, \frac{\text{м}}{\text{с}^2}.$$



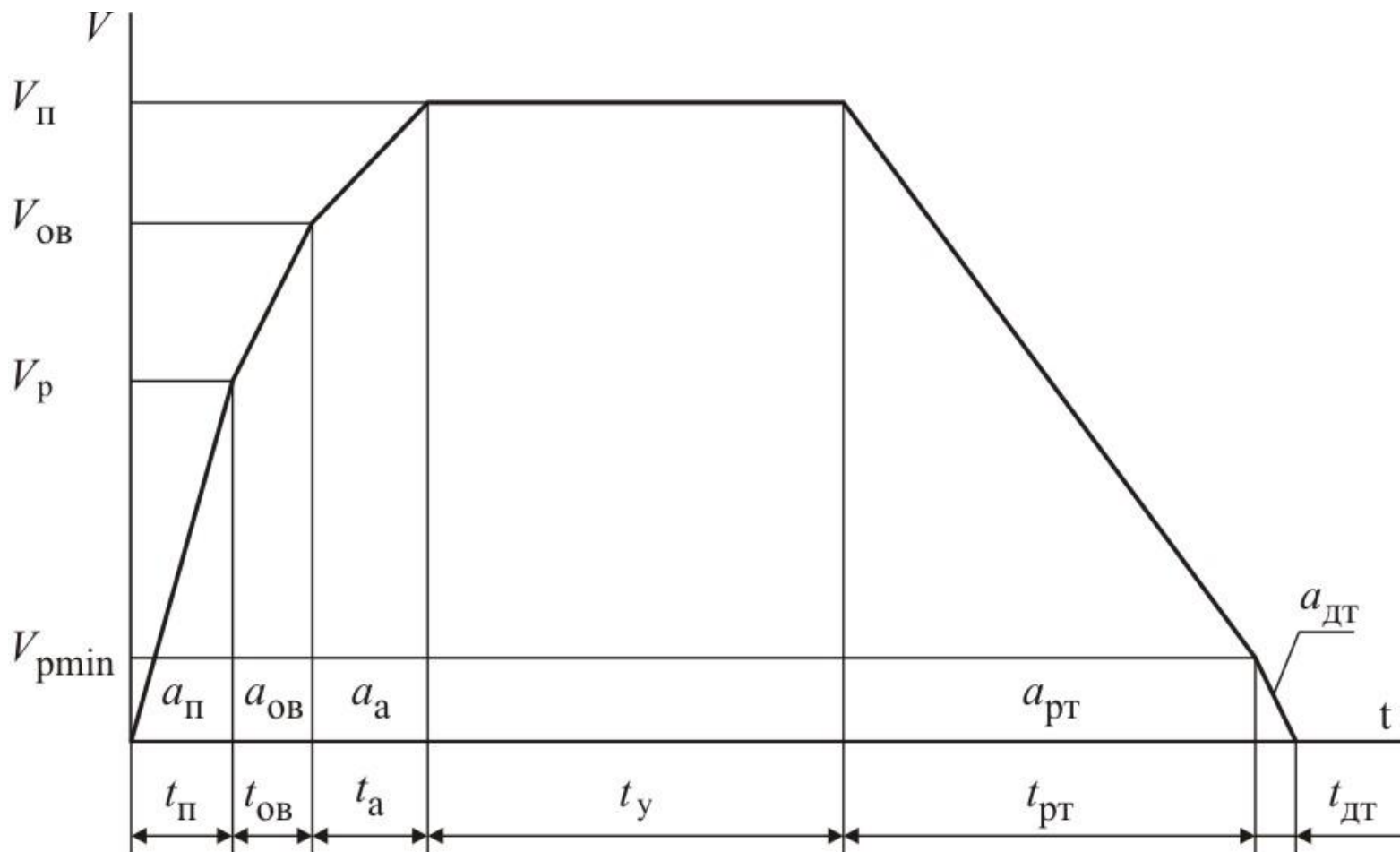
## 6. Подготовка данных для расчета расхода электроэнергии.

Заполняем следующую таблицу (табл. 4 МУ):

Пуск	$V_p$ , км/ч	$F_k$ , Н	$w_o$ , Н/кН	$a_{п}$ , м/с <sup>2</sup>
Разгон до выхода на максимальную ступень ослабления возбуждения	$V_a$ , км/ч	$F_k$ , Н	$w_o$ , Н/кН	$a_{об}$ , м/с <sup>2</sup>
Разгон на автоматической характеристике	—	$F_k$ , Н	$w_o$ , Н/кН	$a_a$ , м/с <sup>2</sup>
Рекуперативное торможение	$V_{p\ min}$ , км/ч	$F_k$ , Н	$w_o$ , Н/кН	$a_{рт}$ , м/с <sup>2</sup>
Дотормаживание	—	$F_k$ , Н	$w_o$ , Н/кН	$a_{дт}$ , м/с <sup>2</sup>

## 7. Расчет расхода электроэнергии на движение поезда по перегону.

Предполагаем, что при движении поезда по перегону скорость движения зависит от времени следующим образом:



## 7. Расчет расхода электроэнергии на движение поезда по перегону.

Заготавливаем таблицу (табл.6 МУ).

Рассчитываем расход электроэнергии на приобретение поездом кинетической энергии при разгоне до скорости  $V_{\text{п}}$ , которая принимает значения 40, 50, 60, 70, 80 км/ч:

$$W_{\text{к}} = \frac{(G + Q) \cdot (1 + \gamma) \cdot V_{\text{п}}^2}{\eta \cdot 3,6^2 \cdot 3600 \cdot \tau_{\text{д}} \cdot \tau_{\text{п}}},$$

Результаты заносим в соответствующую строку заготовленной таблицы.

## 7. Расчет расхода электроэнергии на движение поезда по перегону.

Рассчитываем время пуска для всех значений  $V_{\text{п}}$ :

$$t_{\text{п}} = \frac{V}{a_{\text{п}} \cdot 3,6 \cdot 60} \text{, мин.}$$

Скорость  $V$  выбираем из условия: если  $V_{\text{п}} < V_{\text{р}}$ , то  $V = V_{\text{п}}$ , иначе  $V = V_{\text{р}}$ ;

$a_{\text{п}}$  – среднее ускорение в режиме пуска, м/с<sup>2</sup>. Принимается из табл.4.

Результаты заносим в соответствующую строку заготовленной таблицы.

Рассчитываем путь пуска для всех значений  $V_{\text{п}}$ :

$$S_{\text{рп}} = \frac{a_{\text{п}} \cdot (t_{\text{п}} \cdot 60)^2}{2},$$

Результаты заносим в соответствующую строку заготовленной таблицы.

## 7. Расчет расхода электроэнергии на движение поезда по перегону.

Рассчитываем расход электроэнергии на преодоление сопротивления движению для всех значений  $V_{\Pi}$ :

$$A_{\text{вп}} = \frac{(G + Q) \cdot g \cdot (w_{\text{пр}} + \frac{1}{9} i) \cdot S_{\text{пр}}}{1000 \cdot 3600 \cdot \eta_{\text{тд}} \cdot \eta_{\text{тп}}} \text{ кВт ч.}$$

## 7. Расчет расхода электроэнергии на движение поезда по перегону.

Рассчитываем расход электроэнергии на пусковые потери для всех значений  $V_{\text{п}}$ :

$$A_{\text{пп}} = \left[ \frac{(G + Q) \cdot (1 + \gamma) \cdot V^2}{2 \cdot 3,6^2 \cdot 3600} + \frac{(G + Q) \cdot g \cdot (w_{\text{рп}} + j) \cdot S_{\text{рп}}}{1000 \cdot 3600} \right] \cdot k_{\text{пп}},$$

кВт · ч.

Скорость  $V$  выбираем из условия: если  $V_{\text{п}} < V_{\text{р}}$ , то  $V = V_{\text{п}}$ , иначе  $V = V_{\text{р}}$ ;

$w_{\text{оп}}$  – усредненное основное удельное сопротивление движению в режиме пуска, Н/кН. Принимается из табл.4;

$k_{\text{пп}}$  – коэффициент пусковых потерь. Принимается по условию: если  $N_{\text{с}} = 3$ , то  $k_{\text{пп}} = 0,5$ ; если  $N_{\text{с}} = 2$ , то  $k_{\text{пп}} = 3/8$ .

Результаты заносим в соответствующую строку заготовленной таблицы.

## 7. Расчет расхода электроэнергии на движение поезда по перегону.

Рассчитываем время разгона до выхода на максимальную ступень ослабления возбуждения ТЭД для всех значений

$$V_{\text{п}}: \quad t_{\text{об}} = \frac{\Delta V}{a_{\text{об}} \cdot 3,6 \cdot 60} \text{ мин.}$$

Приращение скорости  $\Delta V$  выбираем из условий:

если  $V_{\text{п}} < V_{\text{р}}$ , то  $\Delta V = 0$ ;

если  $V_{\text{р}} < V_{\text{п}} < V_{\text{а}}$ , то  $\Delta V = V_{\text{п}} - V_{\text{р}}$ ;

если  $V_{\text{п}} \geq V_{\text{а}}$ , то  $\Delta V = V_{\text{а}} - V_{\text{р}}$ ;

$a_{\text{об}}$  – среднее ускорение в режиме разгона до выхода на максимальную ступень ослабления возбуждения ТЭД, м/с<sup>2</sup>. Принимается из табл.4.

Результаты заносим в соответствующую строку заготовленной таблицы.

## 7. Расчет расхода электроэнергии на движение поезда по перегону.

Рассчитываем путь разгона до выхода на максимальную ступень ослабления возбуждения ТЭД для всех значений

$$V_{\text{п}}: \quad S_{\text{рОВ}} = \frac{a_{\text{ОВ}} \cdot (t_{\text{ОВ}} \cdot 60)^2}{2},$$

Результаты заносим в соответствующую строку заготовленной таблицы.



## 7. Расчет расхода электроэнергии на движение поезда по перегону.

Рассчитываем расход электроэнергии на преодоление сопротивления движению на пути разгона до выхода на максимальную ступень ослабления возбуждения ТЭД для всех значений  $V_{\text{п}}$ :

$$A_{\text{wрв}} = \frac{(G + Q) \cdot g \cdot (w_{\text{орв}} + i) \cdot S_{\text{ров}}}{1000 \cdot 3600 \cdot t_{\text{д}} \cdot t_{\text{п}}} \text{ кВт ч.}$$

$w_{\text{орв}}$  – усредненное основное удельное сопротивление движению на пути разгона до выхода на максимальную ступень ослабления возбуждения ТЭД, Н/кН.

Принимается из табл.4.

Результаты заносим в соответствующую строку заготовленной таблицы.

## 7. Расчет расхода электроэнергии на движение поезда по перегону.

Рассчитываем время разгона на автоматической характеристике ТЭД для всех значений  $V_{\Pi}$ :

$$t_a = \frac{\Delta V}{a_a \cdot 3,6 \cdot 60} \text{, мин.}$$

Приращение скорости  $\Delta V$  выбираем из условий:

если  $V_{\Pi} < V_a$ , то  $\Delta V = 0$ ; иначе  $\Delta V = V_{\Pi} - V_a$ ;

$a_a$  – среднее ускорение в режиме разгона на автоматической характеристике ТЭД,  $\text{м/с}^2$ . Принимается из табл.4.

Результаты заносим в соответствующую строку заготовленной таблицы.

## 7. Расчет расхода электроэнергии на движение поезда по перегону.

Рассчитываем путь разгона на автоматической характеристике ТЭД для всех значений  $V_{\Pi}$ :

$$S_{\text{ра}} = \frac{a_a \cdot (t_a \cdot 60)^2}{2},$$

Результаты заносим в соответствующую строку заготовленной таблицы.

## 7. Расчет расхода электроэнергии на движение поезда по перегону.

Рассчитываем расход электроэнергии на преодоление сопротивления движению на пути разгона на автоматической характеристике ТЭД для всех значений  $V_{\text{п}}$ :

$$A_{\text{вп}} = \frac{(G + Q) \cdot g \cdot (w_{\text{ор}} + i) \cdot S_{\text{ра}}}{1000 \cdot 3600 \cdot \tau_{\text{д}} \cdot \tau_{\text{п}}} \text{ кВт} \cdot \text{ч.}$$

$w_{\text{ора}}$  – усредненное основное удельное сопротивление движению на пути разгона на автоматической характеристике ТЭД, Н/кН. Принимается из табл.4.

Результаты заносим в соответствующую строку заготовленной таблицы.

## 7. Расчет расхода электроэнергии на движение поезда по перегону.

Рассчитываем суммарный расход электроэнергии на преодоление сопротивления движению на пути разгона для всех значений  $V_{\text{п}}$ :

$$A_{\text{вр}} = A_{\text{врп}} + A_{\text{врпов}} + A_{\text{вра}}, \text{ кВт} \cdot \text{ч.}$$

Результаты заносим в соответствующую строку заготовленной таблицы.

## 7. Расчет расхода электроэнергии на движение поезда по перегону.

Рассчитываем время режима дотормаживания для всех значений  $V_{\Pi}$ :

$$t_{\text{дт}} = \frac{\Delta V}{a_{\text{дт}} \cdot 3,6 \cdot 60} \text{ мин.}$$

Приращение скорости  $\Delta V$  выбираем из условий:

если  $V_{\Pi} < V_{\text{р min}}$ , то  $\Delta V = V_{\Pi}$ ; иначе  $\Delta V = V_{\text{р min}}$ ;

$a_{\text{дт}}$  – среднее замедление в режиме дотормаживания, м/с<sup>2</sup>.

Принимается из табл.4.

Результаты заносим в соответствующую строку заготовленной таблицы.

## 7. Расчет расхода электроэнергии на движение поезда по перегону.

Рассчитываем путь режима дотормаживания для всех значений  $V_{\text{п}}$ :

$$S_{\text{дт}} = \frac{a_{\text{дт}} \cdot (t_{\text{дт}} \cdot 60)^2}{2},$$

Результаты заносим в соответствующую строку заготовленной таблицы.

## 7. Расчет расхода электроэнергии на движение поезда по перегону.

Рассчитываем время режима рекуперативного торможения для всех значений  $V_{\text{п}}$ :

$$t_{\text{рт}} = \frac{\Delta V}{a_{\text{рт}} \cdot 3,6 \cdot 60} \text{ мин.}$$

Приращение скорости  $\Delta V$  выбираем из условий:

если  $V_{\text{п}} \leq V_{\text{р min}}$ , то  $\Delta V = 0$ ; иначе  $\Delta V = V_{\text{п}} - V_{\text{р min}}$ ;

$a_{\text{рт}}$  – среднее замедление в режиме рекуперативного торможения, м/с<sup>2</sup>. Принимается из табл.4.

Результаты заносим в соответствующую строку заготовленной таблицы.



## 7. Расчет расхода электроэнергии на движение поезда по перегону.

Рассчитываем путь режима рекуперативного торможения для всех значений  $V_{\text{п}}$ :

$$S_{\text{рт}} = \frac{a_{\text{дт}} \cdot (t_{\text{рт}} \cdot 60)^2}{2},$$

Результаты заносим в соответствующую строку заготовленной таблицы.

## 7. Расчет расхода электроэнергии на движение поезда по перегону.

Рассчитываем возврат электроэнергии в режиме рекуперативного торможения для значений  $V_{\text{п}} > V_{\text{р min}}$ :

$$A_{\text{р}} = \frac{(G + Q) \cdot (1 + \gamma) \cdot (V_{\text{п}}^2 - V_{\text{р min}}^2) \cdot \eta_{\text{тд}} \cdot \eta_{\text{тп}}}{2 \cdot 3,6^2 \cdot 3600} -$$
$$\frac{(G + Q) \cdot g \cdot (w_{\text{ор}} + i) \cdot S_{\text{рт}}}{1000 \cdot 3600} \text{ кВт ч.}$$

$w_{\text{орт}}$  – усредненное основное удельное сопротивление движению на пути рекуперативного торможения, Н/кН.

Принимается из табл.4.

Результаты заносим в соответствующую строку заготовленной таблицы.

## 7. Расчет расхода электроэнергии на движение поезда по перегону.

Рассчитываем путь движения со скоростью  $V_{\Pi}$  для всех значений  $V_{\Pi}$ :

$$S_y = \Sigma S_{\text{эл}} - S_{\text{рп}} - S_{\text{ров}} - S_{\text{ра}} - S_{\text{рт}} - S_{\text{дт}}, \text{ м.}$$

$\Sigma S_{\text{эл}}$  – длина перегона, м. Принимается из таблицы 1.

Рассчитываем время движения со скоростью  $V_{\Pi}$  для всех значений  $V_{\Pi}$ :

$$t_y = \frac{S_y \cdot 60}{V_{\Pi} \cdot 1000}, \text{ мин.}$$

Результаты заносим в соответствующую строку заготовленной таблицы.

Рассчитываем основное удельное сопротивление движению поезда для всех значений  $V_{\Pi}$  аналогично расчету массы состава.

## 7. Расчет расхода электроэнергии на движение поезда по перегону.

Рассчитываем расход электроэнергии на преодоление основного сопротивления движению на участке движения со скоростью  $V_{\Pi}$  для всех значений  $V_{\Pi}$ :

$$W_{\Pi} = \frac{(G + Q) \cdot g \cdot (w_{\text{ос}} + i) \cdot S_{\text{у}}}{1000 \cdot 3600 \cdot \eta_{\text{тд}} \cdot \eta_{\text{тп}}},$$

$w_{\text{ос}}$  – основное удельное сопротивление движению на участке движения со скоростью  $V_{\Pi}$ , Н/кН.

Результаты заносим в соответствующую строку заготовленной таблицы.

## 7. Расчет расхода электроэнергии на движение поезда по перегону.

Рассчитываем общее время хода поезда по перегону для всех значений  $V_{\text{п}}$ :

$$T_{\text{х}} = t_{\text{п}} + t_{\text{ов}} + t_{\text{а}} + t_{\text{у}} + t_{\text{рт}} + t_{\text{дт}}, \text{ мин.}$$

Результаты заносим в соответствующую строку заготовленной таблицы.

Рассчитываем расход электроэнергии на собственные нужды:

$$W_{\text{сн}} = I_{\text{сн}} \cdot \frac{U_{\text{кв}}}{1000} \cdot \frac{N_{\text{с}}}{2} \cdot \frac{T_{\text{х}}}{60},$$

$I_{\text{сн}}$  – расчетный ток, потребляемый на собственные нужды двухсекционного электровоза, А. Принимается по приложению 1.

Результаты заносим в соответствующую строку заготовленной таблицы.

## 7. Расчет расхода электроэнергии на движение поезда по перегону.

Рассчитываем расход электроэнергии на движение поезда по перегону без учета рекуперации для всех значений  $V_{\Pi}$ :

$$A_{\text{т}} = A_{\text{к}} + A_{\text{вр}} + A_{\text{вп}} + A_{\text{пп}} + A_{\text{сн}}, \text{ кВт} \cdot \text{ч.}$$

Результаты заносим в соответствующую строку заготовленной таблицы.

Рассчитываем расход электроэнергии на движение поезда по перегону с учетом рекуперации для всех значений  $V_{\Pi}$ :

$$A = A_{\text{т}} - A_{\text{р}}, \text{ кВт} \cdot \text{ч.}$$

Результаты заносим в соответствующую строку заготовленной таблицы.

## 7. Расчет расхода электроэнергии на движение поезда по перегону.

Рассчитываем удельный расход электроэнергии на движение поезда по перегону без учета рекуперации для

всех значений  $V_{\text{п}}$ :

$$a_{\text{бр}} = \frac{1000 \cdot A_{\text{т}}}{(\tau_{\text{ГКМ}} Q) \cdot \sum S_{\text{эл}}}, \quad \frac{\cdot}{\cdot}.$$

Результаты заносим в соответствующую строку заготовленной таблицы.

Рассчитываем удельный расход электроэнергии на движение поезда по перегону с учетом рекуперации для

всех значений  $V_{\text{п}}$ :

$$a = \frac{1000 \cdot A}{(\tau_{\text{ГКМ}} Q) \cdot \sum S_{\text{эл}}}, \quad \frac{\cdot}{\cdot}.$$

Результаты заносим в соответствующую строку заготовленной таблицы.

## 7. Расчет расхода электроэнергии на движение поезда по перегону.

На одном графике строим зависимости  $a = f(T_x)$ ,  $a_{\text{бр}} = f(T_x)$ :

