

УДК 629.4.077

Утюленов Улан Каирханович – ст. преподаватель (Алматы, КазАТК)

ВЛИЯНИЕ ТОРМОЗНЫХ СИЛ ПРИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ТОРМОЖЕНИИ

Тормозная сила электрического торможения, создаваемая двигателями электровозов, зависит от электрических параметров, характеризующих это торможение – силы тока и напряжения на электродвигателях, и от скорости движения поезда при этом. Эти характеристики обычно контролируются при изучении режимов вождения поездов.

Для оперативного определения тормозных сил электровозов, следующих в режиме электрического торможения, удобно пользоваться номограммой зависимости тормозной силы от напряжения и силы тока двигателей, а также скорости движения поездов. $B = f(I, U, v)$. Возможно ее использование машинистами электровозов для контроля тормозной силы.

Построим номограммы тормозных сил для электровозов переменного тока ВЛ-60 и ВЛ-80, взяв за основу зависимости, предложенные автором [1].

Согласно [2] тормозная сила (в кН) при электрическом торможении определяется по формуле:

$$B = 0,367n_{\partial}[C\Phi I + \Delta P_{\text{м}} / v], \quad (1)$$

где n_{∂} – число электродвигателей электровоза; C – конструкционная постоянная двигателя электровоза; Φ – магнитный поток, МКС; I – сила тока электрического торможения, А; $\Delta P_{\text{м}}$ – магнитные и механические потери на машине, Вт; v – скорость движения электровоза, км/ч.

Кроме того, согласно [3] скорость движения рекуперирующего электровоза находят исходя из зависимости:

$$v = (U + Ir'\partial) / C\Phi, \quad (2)$$

где U – напряжение на двигателе; $r'\partial$ – сопротивление обмоток двигателя в цепи рекуперации.

Из формулы 2 следует, что

$$C\Phi = (U + Ir'\partial) / v \quad (3)$$

Подставим это выражение в зависимость 1

$$B = 0,367n_{\partial} \left[\frac{U + Ir'\partial}{v} I + \frac{\Delta P_{\text{м}}}{v} \right] \quad (4)$$

После преобразования получим:

$$B = 0,367n_{\partial} [UI + r'\partial I^2 + \Delta P_{\text{м}}] / v \quad (5)$$

Рассмотрим детально магнитные и механические потери в машине, которые состоят из потерь в двигателе (ΔP_{∂}) и потерь в зубчатой передаче (ΔP_3)

$$\Delta P_{\text{м}} = \Delta P_{\partial} + \Delta P_3 \quad (6)$$

В соответствии с ГОСТ 2582-72 по пунктам 3 и 5 [4] сумма потерь в двигателе состоит из следующих слагаемых:

$$\Delta P_{\partial} = \Delta P_{m\partial} + \Delta P_{CT} + \Delta P_{П\partial} + \Delta P_{\kappa} + \Delta P_{щ} + \Delta P_{\partial\partial\partial} \quad (7)$$

здесь: $\Delta P_{m\partial}$ и ΔP_{CT} - соответственно магнитные потери в меди и стали обмоток якоря, добавочных полюсов, компенсационных обмоток и обмоток возбуждения; $\Delta P_{П\partial}$ - механические потери на трение в подшипниках, на трение якоря машины о воздух, потери на вращение встроенного в машину вентилятора; ΔP_{κ} - переходные потери в месте контактных щеток; $\Delta P_{щ}$ - потери на трение щеток о коллектор; $\Delta P_{\partial\partial\partial}$ - добавочные потери при нагрузке; ΔP_3 - потери в зубчатой передаче.

Известно, что потери в меди прямо пропорциональны квадрату силы тока, то есть:

$$\Delta P_{m\partial} = \Delta P_{m\partial}^r (I / I^r)^2, \quad (8)$$

где $\Delta P_{m\partial}^r$ - потери в меди при часовом токе (здесь и далее индекс «r» означает величины при часовом токе).

Потери на трение в подшипниках и щетках коллектора согласно [3] зависят от скорости вращения якоря. Тогда при любой скорости вращения якоря (число оборотов – n) потери равны:

$$\Delta P_{TP} = \Delta P_{n\partial} + \Delta P_{щ} = \Delta P_{TP}^r (n / n^r)^{2/3} \quad (9)$$

Известно, что число оборотов двигателя постоянного тока (на электровозах переменного тока применяются электродвигатели постоянного тока) обратно пропорционально силе тока. Кривая $n=f(I)$ имеет вид гиперболы, что хорошо отражает действительность. В этой связи можно принять, что $I_n = \text{const}$, тогда

$$n / n^r = I / I^r \quad (10)$$

Подставим последнее выражение в зависимость (9)

$$\Delta P_{TP} = \Delta P_{TP}^r (I^r / I)^{2/3} \quad (11)$$

Добавочные потери учитывают следующим образом:

$$\Delta P_{\partial\partial\partial} = K_{\partial} \Delta P_{CT}, \quad (12)$$

где K_{∂} - коэффициент, зависящий от силы тока двигателя, его величины в соответствии с ГОСТ 2582-72 приведены в таблице 1.

Потери в зубчатой передаче и моторно-осевых подшипниках тягового электродвигателя принимаются согласно [4] и приведены в таблице 2 в зависимости от отношения мощности двигателя к часовой, то есть также зависят от величины силы тока двигателя.

$$\Delta P_3 = N_{\partial\partial} \eta_3 = UI \eta_3, \quad (13)$$

где $N_{\partial\partial}$ – мощность электродвигателей, реализуемая электровозом при электрическом торможении.

Переходные потери в месте контактных щеток также прямо пропорциональны силе тока

$$\Delta P_{\kappa} = \Delta P_{\kappa}^r I / I^r \quad (14)$$

Подставим выражения всех потерь в формулу 1

$$B = \frac{0,367n_{\delta}}{\nu} \left[I^2 r'_{\delta} + \Delta P_{\text{мд}}^r \left(\frac{I}{I^r} \right)^2 + \Delta P_{\text{TP}}^r \left(\frac{I^r}{I} \right)^{2/3} + \Delta P_{\text{СТ}}^r (1 + K_{\delta}) + \Delta P_{\kappa}^r \frac{I}{I^r} + UI(1 + \eta_3) \right] \quad (15)$$

Из формулы 15 следует, что величина всех потерь находится в зависимости от силы тока двигателя, а это значит, что и тормозная сила электровоза зависит от его характеристик и конечно от скорости его движения и напряжения в контактной сети. Характеристики двигателей рассматриваемых электровозов (ВЛ-60 и ВЛ-80) приведены в таблице 3. Формула 15 использовалась для оценки тормозных сил электровозов в функции I, U, v. Данные таблиц 1 и 2 представим соответственно формулами:

$$K_{\delta} = 0,25 \left(\frac{I}{I^r} - 0,4 \right)^2 + 0,22 \quad (16)$$

$$\eta_3 = 44,5 \left(0,75 - \frac{UI}{N_{\text{об}}^r} \right)^2 + 2,5 \quad (17)$$

На основании указанных выше формул составлен алгоритм и программа расчета, по которым и произведены необходимые вычисления. Расчеты производились на ПЭВМ.

На основе расчетов построены номограммы для определения тормозных сил электровозов переменного тока ВЛ-60 и ВЛ-80 (рисунки 1 и 2). На номограммах нанесены ограничения по классу коммутации (11/2) балла и по сцеплению с учетом наличия кривых малого радиуса. Ограничение по классу коммутации нанесено в соответствии с [5]. Ограничение по сцеплению определялось по формуле:

$$B_{\text{сц}} = P_{\text{сц}} \varphi_{\kappa} \alpha \quad (18)$$

где $P_{\text{сц}}$ – сцепной вес электровоза; φ_{κ} – коэффициент трения колеса о рельс, принимаемый в соответствии с [5] для электровозов переменного тока; α – коэффициент, учитывающий наличие на линиях кривых с радиусами менее 500 м.

На рисунке 1 показан принцип пользования номограммой. При $U=1800$ В, $I=200$ А, $v=55$ км/ч, $B=200$ кН. Пригодность этих номограмм для определения тормозных сил была установлена в результате изучения паспортных данных электровозов – графиков их тормозных и тяговых характеристик [5].

Таблица 1

Зависимость коэффициента $K_{\text{д}}$ от силы тока двигателя

Отношение силы тока двигателя к часовому току I/I^r	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
Коэффициент $K_{\text{д}}$	0,22	0,22	0,235	0,26	0,3

Таблица 2

Потери в зубчатой передаче и моторно-осевых подшипниках тягового электродвигателя от мощности электродвигателя

Мощность от номинальной мощности тяговых электродвигателей, %	Потери в зубчатой передаче и моторно-осевых подшипниках от мощности электродвигателей, %
200	3,5
150	3,0
125	2,7
100	2,5
75	2,5
60	2,7
50	3,2
40	4,4
30	6,7
20	8,5

Таблица 3

Характеристики двигателей электровозов ВЛ-60 и ВЛ-80

Характеристики двигателей электровозов	Тип электровоза	
	ВЛ-60	ВЛ-80
<u>Основные характеристики часового режима</u>		
Тип электродвигателя	НБ-412н	НБ-418н
Сила тока, А	515	880
Напряжение, В	1 600	950
Мощность, кВт	775	790
Число оборотов, об/мин	875	890
Сопротивление якоря, компенсационной обмотки и на коллекторах, Ом	0,0878	0,0312
<u>Потери в двигателях при часовом режиме, Вт</u>		
Потери в стали	10 850	8250
Потери в меди	29 550	31338
Потери на коллекторе	1 030	1780
Потери на трение (в подшипниках и на щетках коллектора)		
Добавочные потери	4280	3400
	3250	2470
<u>Итого потерь, Вт</u>	48960	47218

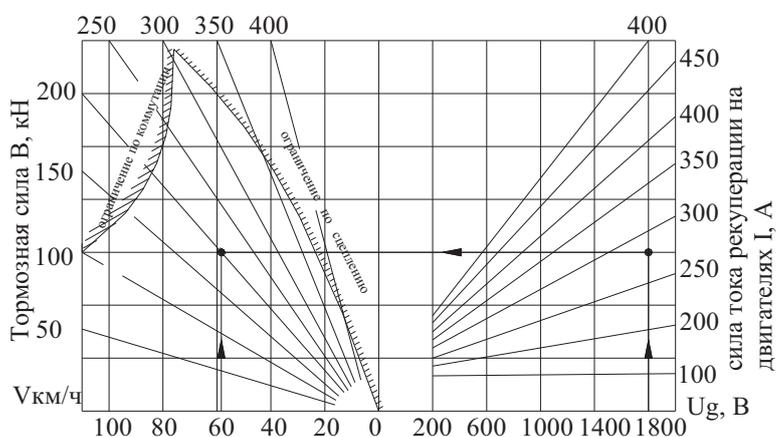


Рисунок 1. Номограмма для определения тормозной силы электровоза ВЛ-60

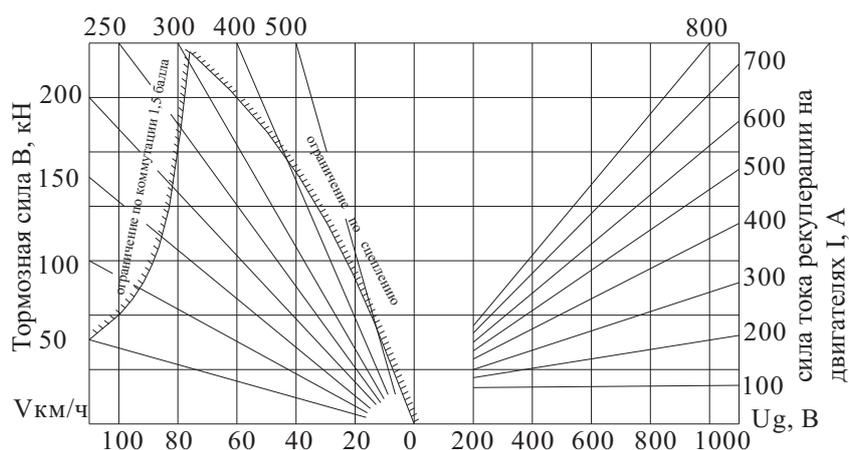


Рисунок. 2. Номограмма для определения тормозной силы электровоза ВЛ-80

Выводы

На основании расчетов построены номограммы для определения тормозных сил электровозов переменного тока ВЛ-60 и ВЛ-80 и составлен алгоритм программы расчетов, по которым произведены необходимые вычисления на ПЭВМ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андреев В.В., Иванов А.Г. Режимы вождения поездов при рекуперативном торможении электродвигателями переменного тока и силы воздействующие на путь / Тр. ДИИТ, вып. 204/21, 1980, -с. 63-70.
2. Трахтман Л.М. Электрическое торможение электроподвижного состава / Транспорт, 1985, 204 с.
3. Захарченко Д.Д. и др. Подвижной состав электрических дорог (тяговые машины и трансформаторы)/ Транспорт, 1978, 296 с.
4. ГОСТ 2582-82.
5. Правила тяговых расчётов для поездной работы / Транспорт, 1988, 296 с.

УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ ПЕРЕВОЗОК

УДК 656.2

Акчурин Анвар Гафурович – академик, д.т.н., профессор (Алматы, КазАТК)

Бекжанова Сауле Ертаевна – д.т.н., профессор (Алматы, КазАТК)

Тайкешев Даулет Арстанбекович – магистрант (Алматы, КазАТК)

К ОЦЕНКЕ ПРЕИМУЩЕСТВ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ (ТЕХНОЛОГИЙ)

Задача выбора вида транспорта решается во взаимной связи с другими задачами логистики, такими, как создание и поддержание оптимального уровня запасов, выбор вида упаковки и др. Основой выбора вида транспорта, оптимального для конкретной перевозки, служит информация о характерных особенностях различных видов транспорта.