

На підставі виконаних досліджень розглянуто вплив умов експлуатації на режими руху рухомого складу. Отримані функціональні залежності лягли в основу нового підходу вибору режимів навантаження силового обладнання трамвайів

Ключові слова: силове електрообладнання, трамвай, режими роботи, електрична тяга, енергозберігаючі режими

На основании выполненных исследований рассмотрено влияние условий эксплуатации на режимы движения подвижного состава. Полученные функциональные зависимости легли в основу нового подхода выбора режимов нагружения силового оборудования трамваев

Ключевые слова: силовое электрооборудование, трамвай, режимы работы, электрическая тяга, энергосберегающие режимы

Based on the conducted investigations of operating conditions, the influence on the modes of motion of the rolling stock is viewed. The obtained functional relationships create the basis to the new approach of the choice of modes of loading power tram equipment

Keywords: power equipment, tram, modes, electric traction, power-saving modes

ВЫБОР РЕЖИМОВ НАГРУЖЕНИЯ СИЛОВОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ТРАМВАЯ

Д. Ю. Зубенко

Кандидат технических наук, доцент
Кафедра электротранспорта*
Контактный тел.: (057) 735-23-85
E-mail: Denis04@ukr.net

М. Г. Габелия

Магістр*

*Харьковская национальная академия городского хозяйства
ул. Революции, 12, г. Харьков, Украина

Введение

Известно, что на электрическую тягу подвижного состава (ПС) расходуется более 90% всей электроэнергии, потребляемой предприятиями городского электрического транспорта. В масштабах Украины электропотребление достигает очень больших величин, при этом для парка подвижного состава в объеме 300-500 единиц затраты на электропотребление могут доходить до 20 млн. грн. в год.

В этих условиях особое значение приобретает решение проблемы выбора рационального нагружения силового электротехнического оборудования трамвая, направленного на улучшение его электромеханических характеристик в процессе эксплуатации [1].

Постоянный рост цен на электроэнергию вызывает необходимость тщательного исследования влияния эксплуатационных факторов на величину удельного электропотребления силовым электрическим приводом трамвая.

В настоящее время разработан целый ряд методов расчета электромеханических параметров силового электромеханического оборудования тяговых единиц городского электрического транспорта, отвечающих задачам энергосбережения. Вместе с тем, многими авторами отмечается их недостаточная полнота, несо-

ответствие реальным техническим условиям эксплуатации подвижного состава.

Последние достижения

В связи с этим, возникла необходимость в разработке более уточненных методов расчета, которые давали бы возможность определять рациональные режимы работы силового оборудования, как в реальных условиях эксплуатации, так и на стадии проектирования. Одним из перспективных направлений совершенствования методов расчета является исследование функциональных параметров режима движения на перегоне при (разгон, выбег, торможение) их взаимодействие. [1].

Целью статьи является разработка энергосберегающих режимов нагружения силового электрооборудования трамваев путем совершенствования метода расчета, базирующегося на точном интегрировании уравнений движения подвижного состава.

Материал исследования

Основные результаты статьи получены на базе математического аппарата дифференциального и ин-

тегрального исчисления, основных теорем и методов теории вероятностей и математической статистики, теории и методов регрессионного анализа.

Для достижения поставленной цели были выполнены экспериментальные исследования эксплуатационных параметров ПС в реальных условиях работы трамваев с применением инструментальных методов оценки.

При исследовании движения ПС и дальнейшем выводе уравнений движения принимаем следующие допущения:

- подвижной состав принимается за материальную точку, которая расположена условно в центре тяжести его;

- эта материальная точка движется под действием равнодействующей от всех сил F_D , действующих на подвижной состав, которая направлена по движению подвижного состава и может быть как положительной, так и отрицательной;

- рассматривается только полезное движение ПС по прямолинейному участку пути при условии однократного включения тягового электродвигателя.

- система управления тяговыми электродвигателями автоматическая.

Движение подвижного состава по рельсовым путям имеет сложный характер. Поступательное движение ПС вдоль оси пути неразрывно связано с вращением колесных пар, элементов трансмиссии якорей тяговых двигателей и с их электромеханическими характеристиками. На это полезное поступательное перемещение ПС накладываются колебательные, которые возникают как из-за внешних воздействий на ПС со стороны пути и окружающей среды, так и в результате взаимодействия между отдельными вагонами и их частями, имеющими между собой упругие и жесткие связи.

Характер движения поезда определяют силы приложенные к нему. Эти силы могут быть либо управляемыми (сила тяги и торможения), либо неуправляемыми (сопротивление движению). Основными режимами движения ПС являются: тяга (разгон), выбег и торможение. В режиме тяги кроме осуществления работы по перемещению ПС затрачивается механическая энергия на повышение скорости движения (запаса кинетической энергии), а при движении по подъему - на повышение запаса потенциальной энергии. При выбеге двигатели отключены, движение происходит за счет преобразования кинетической или потенциальной энергии. В тормозном режиме искусственно создают силу, направленную против движения. Во всех вышеперечисленных режимах на подвижной состав действует сила тяжести и сила сопротивления движению. Движение поезда, можно описать уравнением которое выводится из выражения его кинетической энергии A_k [4]. Применяя теорему Кёнига [2] кинетическую энергию поезда можно представить в виде:

$$A_k = \frac{mv^2}{2} + \sum \frac{J_d \omega_d^2}{2} + \sum \frac{J_{\Pi} \omega_{\Pi}^2}{2} + \sum \frac{J_{\text{я}} \omega_{\text{я}}^2}{2} \quad (1)$$

Где v - скорость ПС, J_d и ω_d - момент инерции и угловая скорость движущей моторной колесной пары (вместе с большим зубчатым колесом тягового редуктора); J_{Π} и ω_{Π} - момент инерции и угловая скорость поддерживающей немоторной колесной пары; $J_{\text{я}}$ и $\omega_{\text{я}}$,

- момент инерции и угловая скорость якоря тягового двигателя вместе с шестерней тягового редуктора.

Если известны передаточное отношение $\mu = \frac{\omega_{\text{я}}}{\omega_d}$, радиусы движущих и поддерживающих колес R_d, R_{Π} , то имеем:

$$\omega_d = \frac{v}{R_d}; \omega_{\Pi} = \frac{v}{R_{\Pi}}; \omega_{\text{я}} = \mu \omega_d = \mu \frac{v}{R_d},$$

что позволяет представить (1) в виде:

$$A_k = \frac{mv^2}{2} \left[1 + \frac{\sum J_d \omega_d^2 + \sum J_{\Pi} \omega_{\Pi}^2 + \sum J_{\text{я}} \omega_{\text{я}}^2}{m} \right] = \frac{mv^2}{2} \left(1 + \frac{m_{\text{э}}}{m} \right) = \frac{mv^2}{2} (1 + \gamma) \quad (2)$$

где $m_{\text{э}}$ - эквивалентная масса вращающихся частей, $(1 + \gamma)$ - коэффициент инерции вращающихся масс.

Обозначим через F_D равнодействующую сил, действующую на поезд.

Тогда для бесконечно малого перемещения подвижного состава получим приращение кинетической энергии:

$$dA_k = F_D ds.$$

Используя выражение (2), получим:

$$d \left[\frac{(1 + \gamma)mv^2}{2} \right] = F_D ds \quad (3)$$

Продифференцировав выражение (3) и разделив обе части уравнения на ds , получим в дифференциальной форме зависимость между скоростью движения v и пройденным путем s :

$$m(1 + \gamma)v \frac{dv}{ds} = F_D \quad \text{или} \quad m_{\text{э}}v \frac{dv}{ds} = F_D \quad (4)$$

Для получения зависимости между скоростью v и временем t подставим в уравнение (4) значение $V = ds/dt$ после преобразования получим:

$$(1 + \gamma)m \frac{dv}{dt} = F_D \quad (5)$$

Особенностью найденного дифференциального уравнения (5) является наличие разрыва правой части на рассматриваемом интервале $0 \leq t \leq T$ (рис. 1), который можно представить в следующем виде:

$$(0; T] = (0; t_p) \cup (t_p; t_T] \cup [t_T; T],$$

где t_p - время окончания разгона; t_T - время начала торможения.

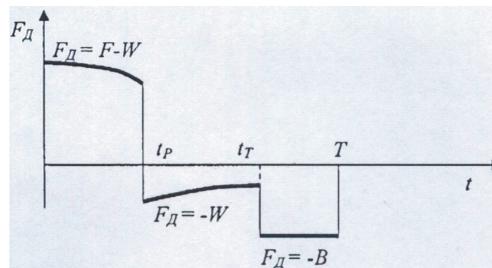


Рис 1. Изменение силы F_D в процессе движения ПС на перегоне

Этот разрыв связан со ступенчатым характером изменения F_d во время движения на перегоне (отключение F_d при переходе на выбег при $t = t_p$) и появление дополнительной тормозной силы B при торможении ПС (при $t = t_T$).

В уравнениях (4) и (5) необходимо ввести поправочные коэффициенты ξ и ξ' , т.к. произвольно могут быть выбраны единицы измерений только для трех из четырех входящих в них величин.

$$(1 + \gamma)m \frac{dv}{dt} = \xi F_d \tag{6}$$

$$(1 + \gamma)m \frac{dv}{dt} = \xi' F_d \tag{7}$$

При расчетах достаточную точность дают значения коэффициента $(1 + \gamma)$ для подвижного состава различных типов (табл. 1).

Таблица 1

Значение коэффициента инерции для различных типов ПС

№ пп	Тип подвижного состава	Коэффициент
1	Трамвай:	
	моторные вагоны	1,09-1,15
	прицепные вагоны	1,05-1,08
2	Троллейбусы	1,15-1,20

Существует множество способов решения уравнения движения ПС, среди которых можно выделить графические, графоаналитические, численные и аналитические.

Рассмотрим аналитический метод решения, который является наиболее точным:

$$\left\{ \begin{aligned} \left(\frac{dv}{dt} \right)' &= \frac{1}{(1 + \gamma)m} \xi F_d' \\ v_i(t_0^i) &= v_{i-(i-1)} \end{aligned} \right. , \tag{8}$$

$$(t_0^i \leq t \leq t_k^i),$$

$$i \in \{1, 2, \dots, N\},$$

где T - полное время движения на перегоне S ; i - порядковый номер режима движения, в случае однократного включения СЭО $i \in \{1, 2, 3\}$ ($i=1$ - режим тяги, $i=2$ - режим выбега, $i=3$ - режим торможения); N - общее количество режимов тяги, выбега и торможения, при движении по перегону, в общем случае; t_0^i - момент времени, соответствующий началу i - го режима движения; t_k^i - момент времени, соответствующий концу i - го режима движения.

Выводы

В результате выполненных исследований получены функциональные зависимости изменения жимов движения подвижного состава с учетом условий эксплуатации, которые легли в основу разработки усовершенствованного метода выбора режимов нагружения силового электрического оборудования трамваев. Реализация предложенного подхода способствует снижению потребления энергии на тягу и решению актуальной проблемы по энергосбережению.

Литература

- 1.Ефремов И. С., Кобозев В. М., Юдин В. А. Теория городских пассажирских перевозок: Учеб. пособие для вузов. — М.: Высш. школа, 1980. — 535 с.
- 3.ГОСТ 25941-83. Машины электрические вращающиеся. Методы определения потерь и коэффициента полезного действия.
2. Байрыева Л.С., Шевченко В.В. Электрическая тяга. Городской наземный транспорт. — М.: Транспорт, 1986. -206 с.
4. Розенфельд В. Е., Исаев И. П., Сидоров Н. Н., Озеров М. И. Под ред. Исаева И. П. Теория электрической тяги. - М.: Транспорт, 1995. -294 с.
5. Яковлев Д. В., Косарев В. В., Мурзин Л. Г. Экономичный режим ведения поезда // Электрическая и тепловозная тяга, -1976. -№ 6-7. -С.8-12.