

Rylov Yu.A.<sup>1</sup>, Aukhadeev A.E.<sup>2</sup>, Solovyeva S.I.<sup>3</sup>, Korolkov A.Yu.<sup>4</sup>©  
<sup>1,2</sup> Associate professor, candidate of technical sciences, <sup>3,4</sup> graduate student;  
<sup>1,2,3,4</sup> Kazan State Power Engineering University

## EXPERIMENTAL RESEARCH OF OPERATING MODES TRACTION ELECTRIC ROLLING STOCK

### Summary

*In the article the results of experimental studies of operating modes of traction electrical equipment of the rolling stock of city electric transport are presented, the principles for the implementation of energy efficient modes of electric traction are justified.*

### Аннотация

*В статье представлены результаты экспериментальных исследований режимов работы тягового электрооборудования подвижного состава городского электрического транспорта, обосновываются принципы реализации энергоэффективных режимов электрической тяги.*

**Keywords:** electric traction, urban electric transport, energy efficiency, traction electrical equipment.

**Ключевые слова:** электрическая тяга, городской электрический транспорт, энергоэффективность, тяговое электрооборудование.

Постоянный рост цен на электроэнергию определяет необходимость внедрения мероприятий, направленных на повышения эффективности ее использования в таких энергоемких отраслях как электрический транспорт.

Основным резервом снижения расхода электроэнергии в системе городского электрического транспорта (ГЭТ) является разработка и внедрение рациональных режимов тяги электроподвижного состава (ЭПС), за счет энергоэффективных режимов работы тягового электрооборудования (ТЭО), что может обеспечить до 15% экономии электроэнергии, затрачиваемой на тягу ЭПС за счет реализации режимов работы ТЭО с максимальным КПД и эффективного использования кинетической энергии выбега ЭПС [1, 16].

Для проверки результатов теоретических исследований были проведены эксплуатационные испытания, для определения эффективности рациональных режимов тяги ЭПС. Эксперимент производился в ночное время в туннельной части скоростного маршрута МУП «Метроэлектротранс» г. Волгоград, что позволило сделать допущения о минимизации влияния внешних эксплуатационных факторов, приводящих к нарушению заданных параметров режимов работы ТЭО ЭПС. Результаты эксперимента сведены в таблицу 1.

Таблица 1.

Результаты оценки энергоэффективности различных режимов ведения ЭПС

№ опыта	Максимальная скорость $V_{\max}$ , км/ч	Длина разгона $L_{\text{раз}}$ , м	Позиция контроллера	$P$ расч, Вт*ч	Экономия, %
1	20	20	max	270,04	9,89
2	20	35	min	299,68	
3	30	50	max	381,71	10,23
4	30	75	min	425,22	

5	40	75	max	545,47	11,38
6	40	100	min	615,54	
7	50	155	max	715,25	12,29
8	50	210	min	813,89	

Согласно полученным результатам наблюдается реальное снижение уровня электропотребления трамвая при реализации максимального ускорения разгона  $a$ ,  $м/с^2$ , а, следовательно, режимов работы ТЭО в максимально нагруженном режиме, на 9-12%.

Подобная экономия электроэнергии наблюдается во всем эксплуатируемом диапазоне скоростей движения. Таким образом, реализация максимального разгона  $a$ ,  $м/с^2$  в условиях опыта показало позволяет добиться экономии электроэнергии на тягу ЭПС.

Анализ реальных режимов работы ТЭО ЭПС предприятия МУП «Метроэлектронтранс» г. Волгоград показал, что эксплуатационные значения  $a$ ,  $м/с^2$  лежат в пределах от  $0,6 м/с^2$  до  $1,3 м/с^2$  и распределены по нормальному закону. Результаты анализа сведены в таблицу 2.

Таблица 2

Результаты статистического анализа значений ускорения разгона  $a$ ,  $м/с^2$

Маршруты \ Параметр	$n$	$m_a$	$\sigma_a$	$\chi^2$	$p$
Обычные маршруты	95	0,78	0,09	1,83	0,7
Скоростной маршрут	102	0,92	0,14	1,91	0,67
Общее	197	0,86	0,11	1,78	0,77

Результаты эксперимента показали, что диапазон эксплуатационных значений пускового ускорения  $a$ ,  $м/с^2$  достаточно велик, но при этом режимы работы ТЭО в реальных условиях эксплуатации недостаточно эффективны.

Коэффициент корреляции величин удельного расхода электроэнергии  $A$ ,  $Вт \cdot ч/т \cdot км$  и ускорения разгона  $a$ ,  $м/с^2$ :

$$r_{Aa} = -0,25$$

Таким образом, можно утверждать, что имеется слабая отрицательная корреляционная связь, что подтверждает результаты предыдущих опытов.

Аналогичным образом были проведены эксплуатационные исследования величины тормозного замедления  $b$ ,  $м/с^2$  ЭПС в условиях движения по маршрутам г. Волгограда. Анализ режимов движения ЭПС показал, что эксплуатационные значения  $b$ ,  $м/с^2$  распределены по нормальному закону. Результаты статистического анализа сведены в таблицу 3.

Коэффициент корреляции величин удельного расхода электроэнергии  $A$ ,  $Вт \cdot ч/т \cdot км$  и тормозного замедления  $b$ ,  $м/с^2$ :

$$r_{Ab} = -0,21$$

Корреляция слабая и отрицательная. Следовательно, что с увеличением тормозного замедления электропотребление уменьшается.

Таблица 3.

Результаты статистического анализа эксплуатационных значений  $b$ ,  $м/с^2$

Город \ Параметр	$n$	$m_b$	$\sigma_b$	$\chi^2$	$p$
Обычные маршруты	95	0,68	0,09	1,83	0,7
Скоростной маршрут	102	0,82	0,14	1,91	0,67
Общее	197	0,75	0,11	1,78	0,77

Режим движения ЭПС по маршруту представляет собой чередование периодов разгона, выбега, торможения и стоянки на остановочных пунктах. При этом протяженность перегона  $L$  и реализуемый режим движения ЭПС, существенно влияет на параметры работы ТЭО ЭПС. За основные эксплуатационные характеристики определяющие режим тяги ЭПС на перегоне  $L$ , примем среднюю скорость движения  $v_x$ , м/с, максимальную скорость разгона  $v_p$ , м/с, скорость начала торможения ЭПС  $v_T$ , м/с.

Увеличение  $v_x$  приводит к увеличению продолжительности разгона, что увеличивает нагрузку ТЭО ЭПС. Коэффициент корреляции величин удельного расхода электроэнергии  $A$ , Вт·ч/т·км и ходовой скорости  $v_x$ , км/ч:

$$r_{Av_x} = 0,37$$

Корреляция средняя и положительная, следовательно, с увеличением времени хода увеличивается, затрачиваемая на тягу ЭПС электроэнергия.

Для ГЭТ характерны малые длины  $L$  и большие скорости движения, что приводит к увеличению тормозных потерь, пропорциональных квадрату скорости  $v_T$ . Коэффициент корреляции  $A$ , Вт·ч/т·км и  $v_T$ , км/ч:

$$r_{Av_T} = 0,32$$

Корреляция умеренная положительная, что говорит о некотором влиянии  $v_T$  на величину  $A$ , Вт·ч/т·км. Это объясняется тем, что скорость  $v_T$  взаимосвязана с максимальной скоростью разгона  $v_p$ , км/ч. Коэффициент корреляции величин  $v_T$ , км/ч и  $v_p$ , км/ч равен:

$$r_{v_p v_T} = 0,66$$

Корреляция положительная и близка к сильной.

Коэффициент корреляции величин удельного расхода электроэнергии  $A$ , Вт·ч/т·км и максимальной скорости разгона  $v_p$ , км/ч:

$$r_{Av_p} = 0,61$$

Корреляция положительная и умеренная. Из этого следует, что величина удельного электропотребления существенно зависит от режима разгона, в частности от максимальной скорости разгона.

На основании экспериментальных исследований определены корреляционные характеристики эксплуатационных факторов и удельного расхода электроэнергии, установлено существенное влияние эксплуатационных факторов на параметры режимов разгона, выбега и торможения, а, следовательно, режимов работы ТЭО ЭПС с учетом реальных условий эксплуатации, что повысит эффективность использования электрической тяги в системе ГЭТ [2, 36; 3, 19].

### Литература

1. Клевцов С.Н. Энергосберегающие технологии городского электрического транспорта / С.Н. Клевцов, Р.Г. Идиятуллин, А.Э. Аухадеев. – Волгоград: Панорама, 2007. – 228 с.
2. Киснеева Л.Н. Разработка системы автоматизированного управления подвижным составом наземного городского электрического транспорта / Киснеева Л.Н., Аухадеев А.Э. // Вестник НЦБЖД. 2016. № 3 (29). С. 36-42.
3. Идиятуллин Р.Г. Методика статистической оценки эксплуатационных параметров энергосбережения тяговых электродвигателей / Идиятуллин Р.Г., Аухадеев А.Э., Колесников С.В., Водолазов В.Н. // Известия вузов. Проблемы энергетики, Казань: КГЭУ, № 3–4, 2005 г. С. 14–20.