

В ИНСТИТУТАХ И ЛАБОРАТОРИЯХ

Затраты на оплату электроэнергии в пригородном сообщении составляют примерно одну треть от общих эксплуатационных расходов. Поэтому при испытаниях электропоезда ЭР29 нового поколения определению расхода электроэнергии было уделено особое внимание.

Опытный шестивагонный электропоезд ЭР29 переменного тока с плавным тиристорным регулированием напряжения на тяговых двигателях, рекуперативным торможением и длиной вагонов 21,5 м при испытаниях на экспериментальном кольце ВНИИЖТа в расчетном режиме движения (длина перегона 3,5 км, техническая скорость —

пригородном узле (табл. 1). При обработке маршрутных листов фиксировались: дата, фамилия машиниста, номер маршрута, номер электропоезда, показания счетчиков электроэнергии в начале и конце маршрута, выполнение или невыполнение машинистом графика движения. Маршруты, в которых были зафиксированы значительные отклонения режима движения от заложенного в расписание, исключались из анализа.

В связи с различной составностью сравниваемых электропоездов определение расхода электроэнергии на тягу производилось не по абсолютным значениям расхода электроэнергии, а по относительным (удельным). Удельный расход электроэнергии на тягу сравниваемых электропоездов (Втч / (ткм)) определялся следующим образом:

$$a = \frac{1,666 \Sigma \Delta wh}{L M_{эб}}$$

где 1,666 — коэффициент пересчета показаний счетчиков электроэнергии; $\Sigma \Delta wh$ - сумма разностей

УДК 629.423.2:629.4.016.15

Канд. техн. наук **Б. И. ХОМЯКОВ**, инженеры **О. Н. НАЗАРОВ**, **С. И. МЕРКУШЕВ**,
А. Ю. БЕЛОКРЫЛИН, **Б. А. ФОМИН**

РАСХОД ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ЭЛЕКТРОПОЕЗДОМ ЭР29

74 км / ч) имел удельный расход электроэнергии 28,8 Вт · ч / (т · км). При этом 46,0 Вт · ч / (т · км) — расход на тягу и собственные нужды, а 17,2 Вт · ч / (т · км) — возврат при рекуперации, что составило примерно 38 % [1,2].

В настоящей статье приведены результаты экспериментального определения расхода электроэнергии на первом этапе эксплуатационных испытаний опытного электропоезда в депо Фастов Юго-Западной дороги.

Определение расхода электроэнергии на тягу опытным электропоездом ЭР29 и сравнение с расходом электроэнергии серийными электропоездами ЭР9М, ЭР9Е проводились путем обработки маршрутных листов машинистов в депо Фастов и замеров при контрольных поездках электропоездов с вагоном-лабораторией в реальном графике движения с пассажирами.

Статистической обработке подлежали маршруты движения по рабочим дням, в которых с июня по сентябрь 1991 г. был задействован опытный электропоезд и обращались серийные электропоезда в десятивагонной составности в Киевском

показаний счетчиков электроэнергии по секциям в начале и конце маршрута движения, Вт · ч; L — протяженность участка или маршрута, км; $M_{эб}$ — масса электропоезда брутто, т.

Исходные данные при расчете массы поездов брутто: масса тары десятивагонного электропоезда ЭРОМ, ЭР9Е — 494,15 т; шестивагонного электропоезда ЭР29 — 320,2 т; пассажиров при эксплуатации электропоездов ЭР29, ЭР9М и ЭР9Е — 34,2 т исходя из коэффициента загрузки $k_3 = 0,5$ в десятивагонном электропоезде ЭР9М, ЭР9Е.

По подсчитанным для каждого маршрута движения значениям строилась гистограмма распределения удельного расхода электроэнергии и определялось среднее значение (математическое ожидание) этой величины (рис. 1 — m_a — для электропоездов ЭР9М, ЭР9Е). В связи с ограниченным объемом информации по электропоезду ЭР29 гистограммы распределения удельного расхода электроэнергии для этого поезда не строились, а определялось лишь среднее значение удельного расхода электроэнергии (на рис. 1 — m_a — для электропоезда ЭР29 в режиме тяги, m_a — для электропоезда ЭР29 при применении рекуперативного торможения).

Электропоезд ЭР29 в реальных условиях эксплуатации без применения рекуперативного торможения имеет больший на 9,3 % удельный расход электроэнергии на тягу по сравнению с серийными электропоездами ЭР9М, ЭР9Е.

Средний возврат электроэнергии при рекуперативном торможении в тех же условиях движения составил 24 %, однако с учетом повышенного расхода электроэнергии опытным электропоездом ЭР29 в режиме тяги этот электропоезд с применением рекуперативного торможения имеет по сравнению с серийными электропоездами ЭР9М, ЭР9Е удельный расход электроэнергии на тягу на 16,9 % ниже.

Анализ данных показал, что увеличенный расход электроэнергии на тягу электропоездом ЭР29, в частности, связан со следующими причинами:

большей массой тары вагонов электропоезда по сравнению с массой тары вагонов электропоездов ЭР9М, ЭР9Е;

Т а б л и ц а 1

Пункты следования*	Маршруты	Характеристика контрольных маршрутов			
		Условное обозначение	Протяжение маршрута, км	Средняя длина перегона, км	Средняя участковая скорость» км / ч
Ф-К-Мо-К-Ф	1А	218,4	3,97	50,5	59,9
Ф-К-Мо-К-Ст-К-Ф	1Б	306,2	4,31	48,2	55,4
Ф-К-Ф	2А	126,6	4,22	46,3	56,3
Ф-М-Ц-М-Ф	2Б	360,6	5,46	53,5	61,9
Ф-М-Ф	3А	206,6	5,91	58,2	66,7
Ф-К-М-К-Ф	3Б	218,4	4,04	50,6	59,6
В соответствии с маршрутами движения	1А, 1Б, 2А, 2Б, 3А, 3Б	1435,8	4,33	51,3	59,9

*Ф - Фастов; К - Киев; Мо - Мотовиловка; Ст - Стугна, М - Мироновка; Ц - Цветково.

повышенным сопротивлением движению опытного электропоезда;

отсутствием достаточного навыка у машинистов при работе на опытном поезде и установленных для него норм расхода электроэнергии;

увеличенной технической скоростью для шестивагонного поезда по сравнению с десятивагонными электропоездами ЭР9М, ЭР9Е в связи с увеличением на 50 % времени для входа и выхода пассажиров на платформах;

повышенным расходом электроэнергии на собственные нужды.

Чтобы оценить влияние на расход электроэнергии указанных факторов, были проведены в реальном графике движения с пассажирами в летний период контрольные поездки на опытном поезде и одним из электропоездов парка депо (ЭР9Е-590) в маршруте движения ЗА, ЗБ с одними машинистами и неизменной составностью электропоездов (2Г-П-ЗМ) (см. табл. 1).

В процессе поездок фиксировались показания штатных и лабораторных счетчиков электроэнергии, продолжительность включения главных компрессоров, коэффициент заполнения электропоездов пассажирами.

Наряду с традиционными способами измерений, использовалась методика по испытаниям электропоездов, разработанная в отделении электрификации ВНИИЖТа с применением измерительно-вычислительного комплекса (ИВК) на базе персональной ЭВМ. Комплекс включает в себя следующие функциональные группы: датчики, преобразователи сигналов датчиков в цифровой код для передачи по каналу общего пользования (КОП), ЭВМ с периферийными устройствами, преобразователи, обеспечивающие устойчивое питание элементов комплекса (рис. 2). МикроЭВМ "Нейрон И9.66-01" через КОП принимает информацию от всех устройств, включенных в систему и по специально разработанной программе производит ее математическую обработку и представление с помощью периферийных устройств в табличном или графическом виде.

При этом ИВК в вагоне-лаборатории фиксировались: время t ; скорость движения V ; пройденный электропоездом путь L ; напряжение в контактной сети U_1 ; первичный ток I_1 ; выпрямленное напряжение U_d ; ток первой и второй групп тяговых двигателей I_{d1} , I_{d2} и рассчитывались: активная мощность P ; коэффициент полезного действия η ; техническая скорость U_t ; расход электроэнергии на тягу и собственные нужды; возврат электроэнергии (только для ЭР29).

Исходные данные при расчете массы поездов брутто при контрольных поездках сравниваемых поездов следующие: масса тары головного, прицепного и моторного вагона электропоезда ЭР9Е-590 — 40,05; 37,7; 60,15 т; головного, прицепного и моторного вагона электропоезда ЭР29 — 50,14; 47,2; 57,6 т; вагона-лаборатории с измерительным оборудованием по результатам взвешивания на весовом стенде ВНИИЖТа — 54,9 т.

Электропоездом ЭР29 при движении по маршрутам ЗА, ЗБ всего было израсходовано в режиме тяги 4083 кВт·ч электроэнергии, а электропоездом ЭР9Е-590 при выполнении той же работы — 3610 кВт·ч, т. е. на 13,1 % меньше. Средний удельный расход электроэнергии поездом ЭР29 составил 23,78 Вт·ч / (?-км), а шестивагонным электропоездом ЭР9Е-590 - 22,24 Вт·ч / (?-км). Таким образом, перерасход электроэнергии электропоездом ЭР29 в режиме тяги по сравнению с электропоездом ЭР9Е-590 составил 6,9 %, а дополнительный расход электроэнергии электропоездом за счет его большей массы тары по сравнению с электропоездом ЭР9Е-590 - 6,2 % (13,1 - 6,9).

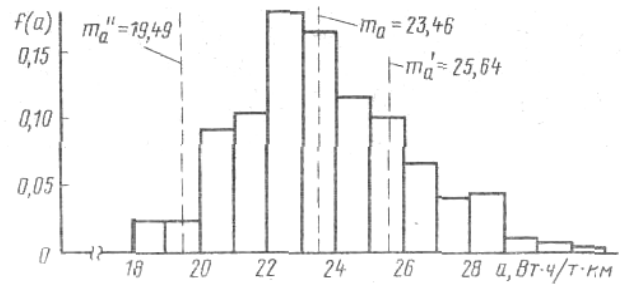


Рис. 1. Гистограмма распределения удельного расхода электроэнергии электропоездами ЭР9М, ЭР9Е в условиях Киевского пригородного узла при работе по замкнутому циклу (маршруты 1А, 3В)

Оценка влияния сопротивления движению опытного электропоезда на расход электроэнергии проводилась путем обработки зафиксированных ИВК режимов движения на отдельных перегонах во время контрольных поездок с пассажирами. Ниже в качестве иллюстрации приведено сопоставление режимов движения сравниваемых электропоездов, на одном из перегонов участка Фастов — Мироновка.

На перегоне Житнегоры — Сухолесы протяженностью 7700 м электропоезд ЭР29 имел скорость конца разгона $V_{кр} = 105,8$ км / ч и скорость начала торможения $V_{нт} = 76,1$ км / ч (табл. 2). На том же перегоне электропоезд ЭР9Е-590 имел скорости $V_{кр} = 97,8$ км / ч и $V_{нт} = 71,5$ км / ч. Перед началом торможения соотношение скоростей движения сравниваемых электропоездов составило 1,064 (76,1 / 71,5). Вначале фазы выбега это соотношение больше и равно 1,082 (105,8 / 97,8), что указывает на то, что электропоезд ЭР29 имеет большее сопротивление движению, чем электропоезд ЭР9Е-590. Если задать для электропоезда ЭР29 тот же темп спадания скорости движения во время выбега, который имеет электропоезд ЭР9Е-590, то опытному поезду потребуется разогнаться до скорости 104,06 км / ч (97,8 · 1,064). В этом случае время разгона уменьшится на 2,75 с (85,88 — 83,13 с, см. табл. 2). За это время при ... — 0,95

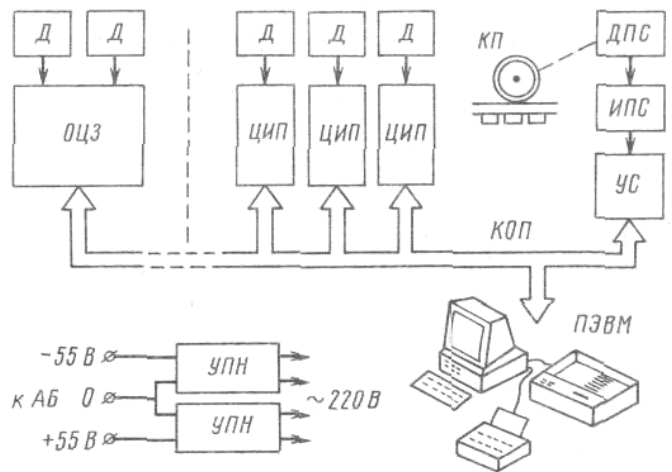


Рис. 2. Структурно-функциональная схема измерительно-вычислительного комплекса
 Д - датчики тока и напряжения; КП - колесная пара; ДПС - датчик пути и скорости; ОЦЗ - осциллограф цифровой запоминающий; ЦИП - Цифровой измерительный прибор; ИПС - индикатор пути и скорости; УС - устройство связи; ПЭВМ - персональная ЭВМ с принтером и графопостроителем; АБ - аккумуляторная батарея; УПН - универсальный преобразователь напряжения

Тип электрорепевода	Показатели движения в фазе выбега						
	T, с	V, км/ч	L, км	U _d , в	I _{d1} , А	I _{d2} , А	P, кВт
ЭР29	<i>Конец района</i>						
	83,13	104,1	1,333	1849,0	273,0	282,0	1086,5
	84,07	104,7	1,362	1851,5	271,4	279,2	1079,7
	84,95	105,2	1,391	2000,5	133,8	140,3	1135,7
	<i>Начало выбега</i>						
	85,88	105,8	1,410	0,0	0,0	0,0	15,2
	<i>Конец выбега</i>						
	332,31	76,1	7,236	0,0	0,0	0,0	6,0
	333,13	76,1	7,257	0,0	0,0	0,0	5,3
	<i>Начало торможения</i>						
	334,01	76,1	7,278	-30,6	14,7	14,0	2,6
	334,89	76,0	7,293	-1287,9	141,7	139,4	-419,1
ЭР9Е-590	<i>Конец района</i>						
	89,95	97,2	1,564	1897,2	170,4	177,3	672,3
	90,82	97,2	1,591	2384,8	8,2	32,2	672,8
	<i>Начало выбега</i>						
	91,76	97,8	1,618	0,0	0,0	0,0	4,6
	<i>Конец выбега</i>						
	354,95	71,5	7,353	0,0	0,0	0,0	13,1
	355,77	71,5	7,367	0,0	0,0	0,0	12,8
	<i>Начало торможения</i>						
	356,65	70,9	7,386	0,0	0,0	0,0	10,4
	357,53	70,5	7,406	0,0	0,0	0,0	12,5

трехсекционный электропоезд ЭР29 истратит $\frac{3(1086,5 + 1079,7 + 1135,7)2,75}{3 \cdot 0,95 \cdot 3600} = 2,67$ кВт·ч.

На перегоне Житнегоры — Сухолесы общий расход электроэнергии составил $3 \times 22,29 = 66,87$ кВт·ч, и, таким образом, искусственное уменьшение расхода электроэнергии в результате уравнивания показателей движения в фазе выбега для шестивагонных электропоездов ЭР29 и ЭР9Е-590 на перегоне Житнегоры — Сухолесы ($L = 7,7$ км) составило бы 4,0 %.

Подробный анализ полученных в контрольных поездках данных показал, что для среднестатистического перегона в условиях работы электропоезда ЭР29 в Киевском пригородном узле, равного 4,33 км (см. табл. 1), дополнительный удельный расход электроэнергии из-за большого сопротивления

движению составит 5,5 % расхода электроэнергии на тягу.

Сделанный вывод о повышенном сопротивлении движению электропоезда ЭР29 подтверждается сопоставлением кривых выбега шестивагонных электропоездов ЭР29 и ЭР9Т-724 (рис. 3), полученных при тягово-энергетических испытаниях на экспериментальном кольце ВНИИЖТа в 1990 [1] и 1991 гг. Выяснение причин большего сопротивления движению опытного электропоезда предполагается провести на втором этапе эксплуатационных испытаний.

Влияние на увеличенный расход электроэнергии электропоездом ЭР29 отсутствия достаточного навыка у машинистов и большего времени для входа и выхода пассажиров на платформах определено путем сопоставления данных по маршрутным листам и контрольных поездок с вагоном-лабораторией ВНИИЖТа. По результатам статистической обработки маршрутных листов в маршрутах движения ЗА, ЗБ перерасход электроэнергии электропоездом ЭР29 на тягу по сравнению с электропоездами ЭР9М, ЭР9Е составил 8,9 % (25,75 Вт·ч/(т·км) для электропоезда ЭР29 и 23,65 Вт·ч/(т·км) для электропоездов ЭР9М, ЭР9Е). Сравнение результатов, полученных в контрольных поездках на электропоездах ЭР29 и ЭР9Е-590 (6,9 % — см. выше), с данными статистического анализа расхода электроэнергии поездами ЭР29 и ЭР9М, ЭР9Е по маршрутным листам позволил сделать заключение, что указанные выше причины привели к увеличению расхода электроэнергии электропоездом ЭР29 на 2,0 %.

В процессе эксплуатационных испытаний опытного электропоезда были зафиксированы повышенные утечки воздуха в его пневмосистемах. Как показали контрольные поездки с пассажирами,

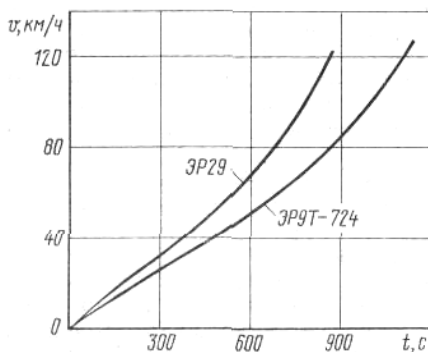


Рис. 3. Кривые выбега шестивагонных электропоездов ЭР29 и ЭР9Т

средняя продолжительность включения (ПВ) главного компрессора составила 0,46 для электропоезда ЭР29 и 0,29 для электропоезда ЭР9Е-590. Замеренная мощность, потребляемая обмоткой собственных нужд при работе главного компрессора на электропоезде ЭР29, составила 5,6 кВт, а общая продолжительность работы главных компрессоров на электропоезде при движении по маршрутам ЗА, ЗБ — 3,4 ч. Если бы ПВ главных компрессоров электропоезда ЭР29 была бы такой же, как и у электропоезда ЭР9Е-590, общая продолжительность работы главных компрессоров в тех же маршрутах движения составила бы 2,15 ч, т. е. на 1,25 ч меньше. При общем расходе электроэнергии трехсекционным электропоездом ЭР29 в маршрутах движения ЗА, ЗБ — 4083 кВт·ч перерасход электроэнергии из-за повышенной ПВ главных компрессоров составил 0,5 %.

Выводы. Эксплуатационные испытания электропоезда ЭР29 с плавным тиристорным регулированием напряжения на тяговых двигателях и рекуперативным торможением в условиях Киевского пригородного узла позволили установить:

шестивагонный опытный электропоезд по сравнению с серийными десятивагонными электропоездами ЭР9М, ЭР9Е имеет на 16,9 % меньший удельный расход электроэнергии;

дополнительный удельный расход электроэнергии опытным поездом в режиме тяги составил

9,3 %, в том числе: за счет повышенного сопротивления движению 5,5 %; за счет отсутствия достаточного навыка у машинистов, установленных норм расхода электроэнергии и увеличенной технической скорости в связи с большим временем для входа и выхода пассажиров на платформах 2,0 %; за счет повышенного расхода электроэнергии на собственные нужды 0,5 %;

средний возврат электроэнергии при рекуперативном торможении составил 24%.

Разработанная и опробованная методика проведения испытаний с использованием измерительно-вычислительного комплекса на базе персональной ЭВМ рекомендуется для проведения аналогичных испытаний на линии с разработкой норм расхода электроэнергии на конкретных участках и мер по его снижению.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Опытный электропоезд ЭР29 / Б. И. Хомяков, С. И. Меркушев, О. Н. Назаров, А. П. Савельев, А. В. Шилакин, А. К. Яголковский // Электрическая и тепловозная тяга. 1991. № 12. С. 12 ... 16.
2. Доценко А. П., Яголковский А. К., Хомяков Б. И. Результаты тягово-энергетических испытаний пригородного электропоезда ЭР29 // Тяжелое машиностроение. 1992. № 1. С. 12 ... 14.