

## РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО УМЕНЬШЕНИЮ РАСХОДА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА

Д.Ю. Зубенко, доцент, к.т.н., Ю.В. Минеева, доцент, к.т.н., ХНУГХ

*Аннотация.* В статье рассмотрены вопросы методов экономии электроэнергии на электротранспортных предприятиях. Определены основные факторы от которых зависит перерасход электрической энергии как основного потребляемого ресурса.

*Ключевые слова:* экономия электроэнергии, методы экономии электроэнергии, перерасход электроэнергии на транспорте, предприятия электрического транспорта.

## РОЗРОБКА ЗАХОДІВ ЩОДО ЗМЕНШЕННЯ ВИТРАТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА ПІДПРИЄМСТВАХ ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ

Д.Ю. Зубенко, доцент, к.т.н., Ю.В. Мінеєва, доцент, к.т.н., ХНУМГ

*Анотація.* У статті розглянуті питання методів економії електроенергії на електротранспортних підприємствах. Визначено основні фактори від яких залежить перевитрата електричної енергії як основного споживаного ресурсу.

*Ключові слова:* економія електроенергії, методи економії електроенергії, перевитрата електроенергії на транспорті, підприємства електричного транспорту.

## DEVELOP ACTIVITIES TO REDUCE ELECTRICITY CONSUMPTION BY ENTERPRISES OF ELECTRIC TRANSPORT

D. Zubenko, associate professor, cand. eng. sc.,  
Y. Mineeva, associate professor, cand. eng. sc., KhNUUE

*Abstract.* The questions of power-saving methods for electric transport enterprises. The main factors that determine the overrun of electrical energy consumption as the main resource.

*Keywords:* energy saving, power-saving methods, cost overruns on the electricity transport, electric transport enterprise.

### Введение

Во многих городах Украины городской электрический транспорт играет большую роль в обслуживании населения. На его долю приходится от 42 % до 56 % всех городских перевозок пассажиров. В городе Харькове перевозка пассажиров городским электрическим транспортом составляет около 55-60 %.

Города и поселки должны представлять

собой рациональную комплексную организацию производственных зон, жилых районов, сети общественных и культурных учреждений, бытовых предприятий, транспорта, инженерного оборудования и энергетики, отдыха людей.

Именно эту задачу призвана решать система городского транспорта, и это определяет его отраслевую специфику. Прежде всего, это своеобразие "продукции" городского транспорта. Эта "продукция" - услуги, то

есть пассажирские перевозки, измеряемые количеством перевезенных пассажиров (иногда количеством выполненных пассажира-километров).

"Продукция" городского электротранспорта в отличие от продукции промышленности или сельского хозяйства - овеществляемый материальной продукцией - не может быть во времени и пространстве оторвана от производственного процесса, не может существовать вне этого процесса.

Поэтому, с одной стороны нельзя за счет перевыполнения плана создать какой-то запас продукции, а с другой - невыполнение плана за некоторый период нельзя компенсировать в последующие периоды без ущерба для интересов пассажиров.

Это своеобразие "продукции" ставит транспортные предприятия в непосредственную зависимость от колебаний спроса на перевозки, ведет к плановой неравномерности производства.

К тому же сама потребность населения города в услугах транспорта не одинакова по времени (сезонные, месячные, внутрисуточные почасовые и другие колебания) и зависит от целого ряда разнообразных факторов.

Все отклонения, просчеты, неэффективность работы городского электротранспорта ведут не только к плохому предоставлению услуг, а и к целому ряду непродуктивного перерасхода трудовых, финансовых, энергетических и других ресурсов.

Перерасход основных ресурсов в результате производства в значительной степени сказывается на себестоимости готовой "продукции", которая непосредственно попадает к потребителю.

Так на предприятиях городского электротранспорта из-за нерационального использования ресурсов происходит увеличение себестоимости перевозок, ухудшения качества обслуживания и ряд других негативных последствий, которые отрицательно сказываются на работе предприятия в целом.

На фоне жестких условий рыночных отношений, когда происходит повышение цен на электроэнергию, запчасти, сырье, наиболее разумным с технической и экономической точки зрения для предприятий является применение ресурсосберегающих технологий и режимов, наряду с созданием стимулов для их внедрения.

### Анализ исследования

Ежегодно городским электротранспортом (трамвай, троллейбус) перевозится около 380 млн. пассажиров. Расход электроэнергии составляет 134,3 млн. кВт ч за год. Удельный вес расхода электрической энергии в общем объеме затрат составляет 23,3%.

При ежегодном расходе электроэнергии 134,3 млн. кВт ч на пассажирские перевозки расходуется 123,4 млн. кВт ч, в том числе:

- на трамвайное движение 70,9 млн. кВт часов;
- на троллейбусное движение 52,5 млн. кВт часов;
- на маневровое движение 0,8 млн. кВт часов;
- прочие потребления 3,2 млн. кВт часов.

Годовой расход на пассажирские перевозки, выполнены 1 единицей подвижного состава, составляет:

- по трамваю 474,4 тыс. кВт часов;
- по троллейбусам 452,9 тыс. кВт часов.

Удельный расход электроэнергии на 1 км транспортной работы составляет:

- по трамваю 3,0 кВт часов/км;
- по троллейбусам 2,76 кВт часов/км.

### Формирование целей и задач

Из показателей работы предприятий электротранспорта видно, что основные затраты составляет электроэнергия -23,3%, заработная плата -21,0 %, и материалы - 19,6%.

Актуальной является задача, разработка комплексной программы энергосбережения, при внедрении которой возможно сокращение затрат на потребление основных ресурсов.

Целью данной статьи является исследование

механизмов перерасхода электроэнергии на предприятиях электротранспорта и выработка мероприятий по уменьшению затрат на электрическую энергию, как основного ресурса.

### Результат исследования

Поставленная задача могла бы решаться проще, если бы на подвижном составе городского электротранспорта (трамвай, троллейбус) были установлены приборы учета расхода электроэнергии (электросчетчики).

Но к сожалению, тот тип подвижного состава, который эксплуатируется на предприятиях электротранспорта Украины не имеет такого учета электроэнергии. Поэтому расход электроэнергии приходится просчитывать косвенными методами. Известно, что большая часть расхода данного ресурса зависит от стиля вождения ПС (подвижного состава) водителем. Так же известно, что потребление электроэнергии зависит от многих факторов: исправности ПС, износа контактного провода, наличия шунтов на стыках трамвайных рельсов, погодных условий, работы тяговых электродвигателей и силового оборудования ПС, работы тяговых подстанций и много другого.

В статье мы постараемся затронуть лишь некоторые вопросы связанные с расходом электроэнергии, потому что полностью охватить данную тему в одной публикации не возможно.

Действующая в настоящее время инструкция по нормированию затрат электроэнергии на электротранспорте предусматривает как основной показатель нормы затрат на движение в Ватт-часах на один машино-километр пробега. Норма затрат для конкретного хозяйства определяется за формулой:

$$a = (a_0 r_i; r_v; r_m + a_{ВП} + a_{ОП} + a_{ОС}) r_e,$$

где  $a_0$  – норма затрат для данного типа подвижного состава на горизонтальном участке при средних условиях движения;

$r_i$  – коэффициент, который учитывает

наличие уклонов;

$r_v$  – коэффициент, который учитывает эксплуатационную скорость;

$r_m$  – коэффициент, который учитывает климатические условия;

$a_{ВП}$  – удельная затрата на собственные потребности;

$a_{ОП}$  – удельная затрата на отопление;

$a_{ОС}$  – удельная затрата на освещение;

$r_e$  – коэффициент потерь в системе электроснабжения.

Плановая потребность в электроэнергии определяется умножением нормы затрат на транспортную работу (плановый пробег) отдельно для трамвая и троллейбуса. Далее, согласно с действующим тарифом, определяют нужные средства.

Следует отметить, что в действующей системе планирования затрат энергии нельзя оценить объемы составных затрат энергии, так как за коэффициентами не видно количественных показателей затрат. Это не дает возможности проанализировать эффективность использования энергии и предусматривать мероприятия по экономии с плановым эффектом. Более того, вызывает доверие принцип, согласно которому в основу закладывается административно определенный норматив, общий для всех предприятий Украины. Поскольку затраты энергии в городах давно стабилизировались, было бы лучше определить удельную затрату по факту как начальную точку с дальнейшим анализом составных. Относительно единицы измерения удельной затраты в Ватт-часах на Машино-километр пробега имеются возражения, так как эта единица измерения не стимулирует к уменьшению веса тары. Наоборот, чем тяжелее подвижный состав, тем меньше удельная норма, которая может давать погрешность в эффективности использования энергии. Общие характеристики расхода электроэнергии [1-6].

Задача анализа составных затрат электрической энергии достаточно сложная, учитывая случайный характер движения подвижного состава, случайность внешних температур, непредвиденных изменений выпуска и тому подобное. Поэтому анализ должен базироваться на интегральных показателях, то есть на тех показателях,

которые отвечают общим, усредненным зависимостям и тенденциям и на что случайные колебания составных не имеют большого влияния. Такими составными, являются: действительный пробег трамваев и троллейбусов по маршрутам; температура окружающей среды; затраты энергии по счетчикам энергоснабжения организации.

Эти показатели определяются общим состоянием дел в предприятии городского электротранспорта, в частности, уровнем технического обслуживания и ремонта подвижного состава, развитостью системы электроснабжения и соответствующими потерями, качественными показателями условий эксплуатации на маршрутах и тому подобное. В сущности, затраты энергии по счетчикам организации поставляющей электроэнергию учитывают весь подвижной состав, так или иначе связаны с движением подвижного состава, включая затраты на маневровые передвижения по депо, затраты на нулевые пробеги, затраты во время обеденных перерывов, затраты на транспортирование неисправного подвижного состава, на обкатку после ремонта и т.д. Сюда же включаются все затраты на прием, трансформацию, выпрямление и передачу электрической энергии по всему кругу от шин тяговых подстанций к потребителю - подвижному составу.

Согласно вышеуказанному, общий объем потребляемой энергии может быть представлен как функция

$$Q_q = F(L_{TMq}, L_{TGq}, \tau, \chi_q),$$

то есть как зависимость от пробегов трамвая  $L_{TMq}$  и троллейбуса  $L_{TGq}$ , от окружающей температуры  $\tau_q$ , и иных факторов  $\chi_q$ , которые могут влиять на затраты энергии  $Q_q$  и могут быть определены.

Ясно, что отдельная реализация за  $q$ -ий месяц не позволяет решить задачу определения функциональных зависимостей, так как при любом представлении функций решения будут неопределенными. На самом деле пробеги  $L_{TMq}$ ,  $L_{TGq}$  достаточно сильно отличаются друг от друга, что отражается на показателе потребляемой энергии. Поэтому для каждого месяца имеет место независимые уравнения, задача имеет одно решение.

Данными для анализа будут статистические данные по результатам деятельности предприятия КП "Горэлектротранссервиса" за 2012 г приведенные в таблицах №1 и №2.

Таблица 1

№ п/п	Пробег трамваев x 10 <sup>-3</sup> маш. км	Пробег троллейбусов x 10 <sup>-3</sup> маш км	Среднемесячная температура, С	Затраты энергии кВт год
1	2058,6	1860,5	-7,3	13055,0
2	1946,7	1779,4	-4,6	12144,3
3	2171,3	1957,4	+0,1	13080,5
4	2256,7	1926,0	+11,4	11897,2
5	2317,0	1950,4	+24,5	10796,1
6	2188,7	1900,3	+23,3	10343,4
7	2081,9	1868,3	+25,7	9773,1
8	1936,5	1718,1	+24,5	9630,0
9	1842,1	1628,3	+16,6	96,27,5
10	2038,0	1758,7	+11,6	11297,8
11	1992,5	1615,2	+7,8	11688,6
12	1997,8	1720,0	-2,7	12359,0

Таблица 2

Q	$L_{TMq} + L_{TBq}$	$\frac{L_{TMq}}{L_{TMq} + L_{TB}}$	$\frac{L_{TMq}}{L_{TMq} + L_{TB}}$	$a_o$	$Q_q$
1	3919,1	0,525	0,475	3,331	11518,1
2	3726,1	0,522	0,478	3,259	10961,7
3	4121,7	0,527	0,473	3,158	12107,1
4	4182,7	0,539	0,461	2,844	12231,4

5	4267,4	0,543	0,457	2,530	12464,0
6	3989,0	0,549	0,451	2,593	11627,3
7	3950,2	0,527	0,473	2,474	11602,3
8	3654,5	0,530	0,470	2,635	10723,4
9	3470,4	0,530	0,470	2,774	10179,6
10	3796,7	0,537	0,463	2,976	11113,4
11	3537,7	0,543	0,457	3,304	10331,1
12	3717,8	0,537	0,463	3,324	10880,2

### Расчет среднегодовых норм расхода энергии

С учетом данных предыдущей таблицы представим общую затрату энергии за  $q$ -ий месяц как достижение усредненной удельной затраты на общий пробег трамвая и троллейбуса, то есть:

$$Q_q = a_q(L_{TMq} + L_{TBq}); \quad a_q = Q_q(L_{TMq} + L_{TBq})^{-1}.$$

С другой стороны, усредненная удельная затрата  $a_q$  может быть представлена суммой взвешенных удельных затрат для трамвая  $a_{TM}$  и троллейбуса  $a_{TB}$ :

$$a_q = \frac{L_{TMq}}{L_{TMq} + L_{TBq}} a_{TM} + \frac{L_{TBq}}{L_{TMq} + L_{TBq}} a_{TB}.$$

Лучше оценки  $a_{TM}$  и  $a_{TB}$  можно обнаружить за методом самых малых квадратов. Для этого пометим погрешность между соответствующей действительности величиной  $a_q$  и прогнозируемой, подсчитанной через  $a_{TM}$ ,  $a_{TB}$ , как  $\varepsilon_q$ , и возведем в квадрат:

$$\varepsilon_q^2 = \left( a_q - \frac{L_{TMq}}{L_{TMq} + L_{TBq}} a_{TM} - \frac{L_{TBq}}{L_{TMq} + L_{TBq}} a_{TB} \right)^2.$$

Берем частные производные по  $a_{TM}$ ,  $a_{TB}$  и приравниваем их к нулю, имеем:

$$\begin{aligned} a_{TM} \sum_{q=1}^{12} \left( \frac{L_{TMq}}{L_{TMq} + L_{TBq}} \right)^2 + a_{TB} \left( \frac{L_{TMq} L_{TBq}}{(L_{TMq} + L_{TBq})^2} \right)^2 = \\ = \sum_{q=1}^{12} a_q \left( \frac{L_{TMq}}{L_{TMq} + L_{TBq}} \right)^2; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a_{TM} \sum_{q=1}^{12} \left( \frac{L_{TMq} L_{TBq}}{(L_{TMq} + L_{TBq})} \right)^2 + a_{TB} \sum_{q=1}^{12} \left( \frac{L_{TBq}}{L_{TMq} + L_{TBq}} \right)^2 = \\ = \sum_{q=1}^{12} a_q \left( \frac{L_{TBq}}{L_{TMq} + L_{TBq}} \right). \end{aligned}$$

Соответственно этой системе подсчитаем коэффициенты:

$$\sum_{q=1}^{12} \left( \frac{L_{TMq}}{L_{TMq} + L_{TBq}} \right)^2 = 3,4258;$$

$$\sum_{q=1}^{12} \left( \frac{L_{TBq}}{L_{TMq} + L_{TBq}} \right)^2 = 2,6039$$

$$\sum_{q=1}^{12} \left( \frac{L_{TMq} L_{TBq}}{(L_{TMq} + L_{TBq})^2} \right) = 2,9797$$

$$\sum_{q=1}^{12} a_q \left( \frac{L_{TMq}}{L_{TMq} + L_{TBq}} \right) = 18,7985$$

$$\sum_{q=1}^{12} a_q \left( \frac{L_{TBq}}{L_{TMq} + L_{TBq}} \right) = 17,4034$$

Таким образом, имеем систему алгебраических уравнений:

$$3,4258 a_{TM} + 2,9797 a_{TB} = 18,7985;$$

$$2,9797 a_{TM} + 2,6039 a_{TB} = 17,4034.$$

Откуда:

$$a_{TM} = 2,45 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{ваг} \cdot \text{км}};$$

$$a_{TB} = 3,48 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{маш} \cdot \text{км}}.$$

Перемножая найденные средние значения удельных затрат энергии для трамвая и

троллейбуса на соответствующие пробеги  $L_{TMq}$ ,  $L_{TBq}$ , имеем приведенные к среднегодовым условиям эксплуатации затраты энергии  $Q_q$  по месяцам.

### Влияние сезонных условий на расход электроэнергии

Сопоставляя соответствующей действительности затраты электроэнергии в натуральных единицах с расчетными, приведенными к среднегодовым условиям эксплуатации, можно сделать вывод, что влияние сезонных изменений условий эксплуатации это перерасход энергии в зимний период до 12% при тех же объемах пассажироперевозок. Это объясняется увеличением основного сопротивления движению, увеличение времени работы освещения, отопление, и тому подобное [3,7,8].

Подсчитаем разности затрат энергии между расчетной и соответствующей действительности значениями по местам, данные которых представлены в таблицах № 3, 4 и 5.

Считая связь между перерасходами энергии и температурой линейной, можно записать:

$$Q_q = a_{TM} L_{TMq} \left[ 1 - R_{TM} (\tau_q - T) \right] + a_{TB} L_{TBq} \left[ 1 - R_{TB} (\tau_q - T) \right],$$

где  $R_{TM}, R_{TB}$  – коэффициенты, которыми определяется влияние среднемесячных температур  $\tau_q$  на затраты энергии;

$T$  – среднегодовая температура.

Пометим через  $Q_q$  расчетной затраты энергии при неизменных (среднегодовых) условиях эксплуатации [2, 9,10,11]. Согласно с методу самых малых квадратов получим уравнения квадрата погрешности между расчетной и соответствующей действительности затратами энергии:

$$\begin{aligned} & (\Delta Q_q)^2 + 2\Delta Q_q a_{TM} R_{TM} L_{TMq} (\tau_q - T) + \\ & + 2\Delta Q_q a_{TB} R_{TB} L_{TBq} (\tau_q - T) + \\ & + a_{TM}^2 R_{TM}^2 L_{TM}^2 (\tau_q - T)^2 + \\ & + 2a_{TM} a_{TB} R_{TM} R_{TB} L_{TMq} L_{TBq} (\tau_q - T)^2 + \\ & + a_{TB}^2 R_{TB}^2 L_{TB}^2 (\tau_q - T)^2 = \varepsilon_q^2; \end{aligned}$$

Таблица 3

Q	$a_{TM} L_{TMq}$	$a_{TB} L_{TBq}$	$Q_q$ (трамв.)	$Q_q$ (тролл.)	$\Delta Q_q$	$\tau_q$
1	5043,6	6474,5	11518,1	13055	+1536,9	-7,3
2	4769,4	6192,3	10961,7	12144,3	+1182,6	-4,3
3	5319,7	6787,4	12107,1	13080,5	+973,4	+0,1
4	5528,9	6702,5	12231,4	11897,2	-334,2	+11,4
5	5676,6	6787,4	12464,0	10796,1	-1667,9	+24,5
6	5362,3	6265,0	11627,3	10343,4	-1283,6	+23,3
7	5100,6	6501,7	11602,3	9773,1	-1829,2	+25,7
8	4744,4	5979,0	10723,4	9630	-1093,4	+24,5
9	4513,1	5666,5	10179,6	9627,5	-552,1	+16,6
10	4993,1	6120,3	11113,4	11297,8	+184,4	+11,6
11	4710,1	5621,0	10331,1	11688,6	+1357,5	+7,8
12	4894,6	5985,6	10889,2	12359	+1478,8	-2,7

Таблица 4

q	$\tau_q$	$\tau_q - T$	$(\tau_q - T)$	$L_{TMq}$	$L_{TMq}^2$	$L_{TBq}$	$L_{TBq}^2$	$\left( \frac{\tau_q - T}{T} \right)^2$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	-7,3	-18,2	331,24	0,998	0,996	1,035	1,071	2,788
2	-4,6	-15,5	240,25	0,944	0,891	0,989	0,078	2,022
3	-0,1	-10,8	116,64	1,052	1,107	1,085	1,177	0,982

4	+11,4	+0,5	0,25	1,094	1,197	1,171	1,147	0,002
5	+24,5	+13,6	184,96	1,123	1,261	1,085	1,177	1,556
6	+23,3	+12,4	153,76	1,061	1,125	1,001	1,002	1,294
7	+25,7	+14,8	219,04	1,009	1,018	1,039	1,079	1,844
8	+24,5	+13,6	184,96	0,939	0,882	0,955	0,912	1,557
9	+16,6	+5,7	32,49	0,893	0,797	0,906	0,821	0,273
10	+11,6	+0,7	0,49	0,988	0,976	0,978	0,956	0,004
11	+7,8	-3,1	9,61	0,932	0,869	0,898	0,806	0,081
12	-2,7	-13,6	184,96	0,968	0,937	0,957	0,916	1,557

Соответственно, по всем месяцам:

$$\begin{aligned} & \sum_{q=1}^{12} (\Delta Q_q)^2 + 2a_{TM} R_{TM} \sum_{q=1}^{12} \Delta Q_q L_{TMq} (\tau_q - T) + \\ & + 2a_{TB} R_{TB} \sum_{q=1}^{12} \Delta Q_q L_{TBq} (\tau_q - T) + \\ & + a_{TM}^2 R_{TM}^2 \sum_{q=1}^{12} L_{TMq}^2 (\tau_q - T)^2 + \\ & + 2a_{TM} a_{TB} R_{TM} R_{TB} \sum_{q=1}^{12} L_{TMq} L_{TBq} (\tau_q - T)^2 + \\ & + a_{TB}^2 R_{TB}^2 \sum_{q=1}^{12} L_{TBq}^2 (\tau_q - T)^2 = \sum_{q=1}^{12} \varepsilon_q^2 \end{aligned}$$

Взяв частичные производные по  $R_{TM}$ ,  $R_{TB}$ , и производные приравненные к нулю, имеем уравнения:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial \sum_{q=1}^{12} (\varepsilon_q)^2}{\partial R_{TM}} = 2a_{TM} \sum_{q=1}^{12} \Delta Q_q L_{TMq} (\tau_q - T) + \\ & + 2a_{TM}^2 R_{TM} \sum_{q=1}^{12} L_{TMq}^2 (\tau_q - T)^2 + \\ & + 2a_{TM} a_{TB} R_{TB} \sum_{q=1}^{12} L_{TMq} L_{TBq} (\tau_q - T)^2 = 0, \\ & \frac{\partial \sum_{q=1}^{12} (\varepsilon_q)^2}{\partial R_{TB}} = 2a_{TB} \sum_{q=1}^{12} \Delta Q_q L_{TBq} (\tau_q - T) + \\ & + 2a_{TB}^2 a_{TB} R_{TM} \sum_{q=1}^{12} L_{TMq} L_{TBq} (\tau_q - T)^2 + \\ & + 2a_{TB} R_{TB} \sum_{q=1}^{12} L_{TBq}^2 (\tau_q - T)^2 = 0. \end{aligned} \quad (17)$$

Расчеты сведены в таблице.

Таблица 5

$\frac{\Delta Q_q}{Q}$	$L_{TMq} L_{TBq}$	$\frac{\tau_q - T}{T}$	$L_{TMq} \left( \frac{\tau_q - T}{T} \right)$	$L_{TBq} \left( \frac{\tau_q - T}{T} \right)$
0,1359	1,033	-1,669	-1,666	-1,727
0,1046	0,934	-1,422	-1,342	-1,277
0,0861	1,141	-0,991	-1,042	-1,075
-0,0296	1,172	+0,459	+0,050	+0,049
-0,1475	1,218	+1,248	+1,401	+1,354
-0,1135	1,065	1,138	+1,207	+1,139
-0,1618	1,048	1,358	+1,370	+1,423
-0,0967	0,0896	1,248	+1,172	+1,119
-0,0488	0,0809	0,523	+0,467	+0,423
0,0163	0,966	0,064	+0,063	+0,062
0,1200	0,837	-0,284	-0,265	-0,238
0,13078	0,926	-1,248	-1,208	-1,156
-0,266	-0,237	2,777	2,986	2,880
-0,140	-0,133	1,802	1,977	1,888
-0,090	-0,092	1,087	1,156	1,120
-0,0015	-0,0014	0,002	0,0023	0,002
-0,207	-0,1997	1,262	1,831	1,895
-0,137	-0,129	1,455	1,296	1,378
-0,222	-0,230	1,877	1,989	1,932
-0,113	-0,108	1,373	1,420	1,395
-0,028	-0,0206	0,217	0,224	0,221

+0,001	+0,001	0,004	0,004	0,004
-0,032	-0,028	0,070	0,065	0,068
-0,158	-0,151	1,146	1,142	1,442

Для избежания погрешностей, вызванным округлением чисел, в уравнениях целесообразно преобразовать к уравнениям с относительными членами:

$$QL_{TM}T \sum_{q=1}^{12} \frac{\Delta Q_q}{Q} L_{TMq} \left( \frac{\tau_q - T}{T} \right) +$$

$$+ a_{TM} R_{TM} L_{TM}^2 T^2 \sum_{q=1}^{12} L_{TMq} \left( \frac{\tau_q - T}{T} \right)^2 +$$

$$+ a_{TB} R_{TB} L_{TM} L_{TB} T \sum_{q=1}^{12} L_{TMq} L_{TBq} \left( \frac{\tau_q - T}{T} \right)^2 = 0;$$

$$QL_{TB}T \sum_{q=1}^{12} \frac{\Delta Q_q}{Q} L_{TBq} \left( \frac{\tau_q - T}{T} \right) +$$

$$+ a_{TM} R_{TM} L_{TM} L_{TB} T^2 \sum_{q=1}^{12} L_{TMq} L_{TBq} \left( \frac{\tau_q - T}{T} \right)^2 +$$

$$+ a_{TB} R_{TB} L_{TB}^2 T^2 \sum_{q=1}^{12} L_{TBq} \left( \frac{\tau_q - T}{T} \right)^2 = 0.$$

$$L_{TMq} = \frac{L_{TMq}}{L_{TM}}; \quad L_{TBq} = \frac{L_{TBq}}{L_{TB}};$$

$$L_{TM} = \frac{1}{12} \sum_{q=1}^{12} L_{TMq}; \quad L_{TB} = \frac{1}{12} \sum_{q=1}^{12} L_{TBq}.$$

В результате подсчетов имеем:

$$\sum_{q=1}^{12} L_{TMq}^2 \left( \frac{\tau_q - T}{T} \right)^2 = 13,072;$$

$$\sum_{q=1}^{12} L_{TMq} L_{TBq} \left( \frac{\tau_q - T}{T} \right)^2 = 14,092;$$

$$\sum_{q=1}^{12} L_{TMq} L_{TBq} \left( \frac{\tau_q - T}{T} \right)^2 = 14,225;$$

$$Q = 11307,7;$$

$$L_{TM} = 2063; \quad L_{TB} = 1798;$$

$$\sum_{q=1}^{12} \frac{\Delta Q_q}{Q} L_{TMq} \left( \frac{\tau_q - T}{T} \right)^2 = -1,3545;$$

$$\sum_{q=1}^{12} \frac{\Delta Q_q}{Q} L_{TBq} \left( \frac{\tau_q - T}{T} \right) = -1,3291.$$

Таким образом, получим систему алгебраических уравнений:

$$R_{TM} \cdot 2,45 \cdot 2063 \cdot 10,9 \cdot 13,073 +$$

$$+ R_{TB} \cdot 3,48 \cdot 1798 \cdot 10,9 \cdot 14,225 = 11307,7 \cdot 1,3545$$

$$R_{TM} \cdot 2,45 \cdot 2063 \cdot 10,9 \cdot 14,225 +$$

$$+ R_{TB} \cdot 3,48 \cdot 1798 \cdot 10,9 \cdot 14,092 = 11307,7 \cdot 1,32491$$

Упростим эти выражения и решим уравнения относительно  $R_{TM}$  и  $R_{TB}$ .

В результате получим:

$$R_{TM} = 0,0095; \quad R_{TB} = 0,01.$$

Сравним соответствующие действительности затраты с затратами энергии, подсчитанными за моделью, что учитывает влияние изменения условий эксплуатации.

Погрешность между соответствующей действительности затратами и моделью:

$$\Delta Q_q - \delta Q_q = -R_{TM} a_{TM} (\tau_q - T) \cdot L_{TMq} -$$

$$- R_{TB} a_{TB} (\tau_q - T) L_{TBq} =$$

$$= -(\tau_q - T) \cdot (R_{TM} a_{TM} L_{TMq} + R_{TB} a_{TB} L_{TBq})$$

К разрабатываемым мероприятиям по энергосбережению можно отнести следующие предложения:

- реконструкция тяговых подстанций с установкой нового оборудования, преобразовательных агрегатов с естественным охлаждением, сухих трансформаторов преобразовательных агрегатов, вакуумных автоматических выключателей;
- замена изношенного оборудования комплексов телеуправления тяговыми подстанциями;
- замена изношенного контактного провода;

- замена изношенных трамваев на вагоны Т-3 ВПА с асинхронными тяговыми двигателями, замена на современные троллейбусы с асинхронными двигателями;
- замена изношенных трамвайных путей;
- восстановление рельсовых электросоединений;
- оптимальное размещение остановочных пунктов и работы светофоров с оборудованием новых посадочных площадок.

### Выводы

Рассмотренные в статье мероприятия лишь частично отображают истинное положение комплексной программы энергосбережения для предприятий электротранспорта. Данная тема требует более детального изучения вопроса и выработки стратегических решений. Актуальность данного направления позволяет искать новые нестандартные решения для экономии основных ресурсов предприятия в условиях постоянного роста цен на энергоносители.

### Литература

1. Венецкий Е. В., Венецкая В. И. Основные математико-статистические понятия и формулы в статистическом анализе. М.: Статистика. 1979 г.
2. Смирнов Н. В. и др. Короткий курс математической статистики. 1959.
3. Рабинович П. М. Статические методы достижения производственных резервов. 1983 г.
4. Вопросы энергетики и электромеханики: тр. регион. науч.-практ. конф. "Электроэнерг. упр., качество и эффективность использования энергоресурсов" (8-10 дек. 2004 г.) / под ред. В. И. Сечина Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2004 - 141 с.ил., табл.; 20 см - В надзаг.: Рос. Федерация, М-во путей сообщ., ГОУ ВПО "Дальневост. гос. ун-т путей сообщ. МПС России". - Библиогр. в конце ст. - ISBN 5-262-00213-7 (в обл.).
5. Межсистемная связь с управляемыми режимными характеристиками: Учеб. пособие по курсу "Эксплуатация электроэнерг. систем" для студентов, обучающихся по направлению "Электроэнергетика" / Н. И. Зеленохат, Т. А. Власова; М-во образования Рос. Федерации, Моск. энерг. ин-т (техн. ун-т) М.: Изд-во МЭИ, 2003 - 47 с.ил.; 20 см - Библиогр.: с. 46 (6 назв.). - ISBN 5-7046-0973-2: 150.
6. Автоматическое управление режимом работы электрических станций и энергетических систем по частоте и активной мощности: Лекция для слушателей спец. 0301 "Электр. станции", 0302 "Электр. сети и системы", 0637 "Автоматизация тепло- и электроэнерг. пр. Ч. 2. Современные системы автоматического управления гидравлическими электростанциями по частоте и активной мощности.
7. Методы решения задач электроэнергетики с использованием ЭВМ: Учеб. пособие для студентов вузов региона, обучающихся по специальностям: 100100 "Электрич. станции", 100200 "Электроэнерг. системы и сети", 100400 "Электроснабжение", 210400 "Релейн. защита и автоматизация электроэнерг. систем" / Н. Ш. Чемборисова, А. В. Пешков ; М-во образования Рос. Федерации. Амур. гос. ун-т Благовещенск: Амур. гос. ун-т, 2002 - 142, [2] с.ил., табл.; 20 см. - Библиогр.: с. 142. - ISBN 5-93493-027-03 (в обл.).
8. Качество электроэнергии в системах электроснабжения. Способы его контроля и обеспечения: Учеб. пособие по курсу "Упр. качеством электроэнергии" для студентов, обучающихся по специальности "Электроэнерг. системы и сети" / И.И. Карташев; М-во образования Рос. Федерации. Моск. энерг. ин-т (техн. ун-т) М.: Изд-во МЭИ, 2001 - 119, [1] с.ил., табл.; 21 см - Библиогр.: с. 118. - ISBN 5-7046-0625-3.
9. Автоматизация электроэнергетических систем: [Учеб. пособие по спец. "Автомат. управление электроэнерг. системами", "Электр. станции", "Электроэнерг. системы и сети" / О. П. Алексеев и др.] М. : Энергоатомиздат, 1994 - 447, [1] с.ил.; 21 см. - (Для студентов вузов). - Библиогр.: с. 444-445 (29 назв.). - ISBN 5-283-01105-4: Б. ц.
10. Методы выбора оптимальных решений в задачах электроснабжения: [Учеб. пособие для вузов по направлению "Электроэнергетика", спец. "Электроэнерг. системы и сети"] / В. И.

Бейлин, А. Ф. Шатров М.: Изд-во МГОУ  
, 1993 - 70 с.ил.;21 см - Библиогр.: с. 69  
(14 назв.). - ISBN :Б. ц.

11. Электрические аппараты: Общ. курс:  
[Учеб. для электротехн. и электроэнерг.  
спец. вузов] / А. А. Чунихин. - 3-е изд.,  
перераб. и доп. М. : Энергоатомиздат,  
1988 - 718,[1] с.ил.;22 см - Предм.  
указ.: с. 707-713. - Библиогр.: с. 701-706.  
- ISBN 5-283-00499-6 (В пер.):1 р. 80 к.

Рецензент Н.В. Хворост, профессор, д.т.н.,  
ХНУМГ.

Статья поступила в редколлегию 28.04.2015