

УДК 629.4

Э.И.КАРПУШИН, профессор

Харьковская национальная академия городского хозяйства

## УМЕНЬШЕНИЕ РАСХОДА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ДВИЖЕНИЕ ЗА СЧЕТ РАЦИОНАЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Обосновывается эффективность уменьшения эксплуатационного энергопотребления на городском электротранспорте средствами рациональной организации эксплуатации.

Обязательным условием устойчивого развития крупных городов, как свидетельствует опыт развитых стран, является наличие развивающегося, особенно в центральных районах, городского электротранспорта. Одной из главных проблем, стоящих перед городским электротранспортом, является снижение энергопотребления, которое предусматривает внедрение новых технических решений и минимизацию расхода электроэнергии за счет рациональной эксплуатации [1, 2]. Однако присущая затратной модели хозяйствования незаинтересованность предприятий городского электротранспорта в ресурсосбережении оставляла без внимания такой путь уменьшения энергопотребления, как совершенствование организации эксплуатации.

Вопреки ожиданиям, внедрение подвижного состава с электронным регулированием не дало существенного уменьшения энергопотребления, что объясняется превосходящим влиянием факторов эксплуатации [3-5]. В то же время технологии эксплуатации остались вне поля зрения, так что внедрение рациональной организации эксплуатации является актуальным.

Мерой совершенства наряда на выпуск подвижного состава является вариация наполнения, то есть величина производной коэффициента использования вместимости. Известно, что в час пик объем пассажироперевозок на  $i$ -м маршруте  $R_i^{<ник>}$  зависит от средней дальности поездки на этом маршруте  $L_{c(i)}$ , пробега подвижных единиц  $S_i^{<ник>}$  и наполнения, которое определяется вместимостью  $B$  и коэффициентом использования вместимости на маршруте  $\eta_i^{<ник>}$ , а пробег зависит от количества единиц в движении  $N_i^{<ник>}$ , длины маршрута  $L_i$  и эксплуатационной скорости  $V_{э(i)}$ :

$$R_i^{<ник>} = \frac{1}{L_{c(i)}} B \eta_i^{<ник>} S_i^{<ник>}, \quad S_i^{<ник>} = N_i^{<ник>} V_{э(i)}.$$

Такие же соотношения имеют место в межпиковые ( $mn$ ) периоды. Положив  $\eta_i^{<ник>} = 1$ , имеем:

$$\frac{N_i^{\langle \text{пик} \rangle}}{N_i^{\langle \text{мп} \rangle}} = \eta_i^{\langle \text{мп} \rangle} \frac{R_i^{\langle \text{пик} \rangle}}{R_i^{\langle \text{мп} \rangle}}.$$

При известных объемах перевозок в часы «пик» и межпиковый период за счет усовершенствования наряда на выпуск можно уменьшить расход энергии увеличением коэффициента использования вместимости в межпиковый период (с соблюдением предельной частоты движения). Проиллюстрируем эту возможность на примере трамвайного депо, в котором плановое количество выпусков в будние дни составляет 50 поездов, причем предполагается 87 выходов на линию. Режим работы вагонов на линии предусматривает 7 разрывных, 4 сокращенных, 15 двенадцатичасовых, 4 однодневных и 4 ночных выпуска. Всего за сутки планируется 77 человеко-смен для обслуживания 5 маршрутов, на которые занаряжено: на 1-й маршрут – 4, на 12-й – 12, на 20-й – 25, на 24-й – 8 и на 11-й – 4 выпуска. Выручка за часы «пик» составляет в среднем 1440 гр., в межпиковый период – 240 гр. Работа подвижных единиц на протяжении суток представлена в таблице, где УП – утренний «пик», МП – межпиковый период, ВП – вечерний «пик».

Показатели выпуска подвижного состава трамвайного депо в течение суток

Маршрут	Продолжительность тура, мин.	Существующий наряд						Предложенный наряд					
		количество поездов по периодам суток			интервалы движения по периодам суток, мин.			количество поездов по периодам суток			интервалы движения по периодам суток, мин.		
		УП	МП	ВП	УП	МП	ВП	УП	МП	ВП	УП	МП	ВП
1	44	4	2	4	11	22	11	5	2	5	9	22	9
12	81	7	5	5	12	18	12	10	5	10	8	16	8
20	90	19	20	18	5	4,5	5	20	15	20	4,5	6	4,5
24	75	7	0	7	10	-	10	10	0	10	7,5	0	7,5
11	85	4	3	4	21	28	21	5	5	5	17	17	17
Σ		41	30	38				50	27	50			

При существующем наряде (левая сторона таблицы) использование подвижного состава в межпиковый период неоправданно малое:

$$\eta^{\langle \text{мп} \rangle} = \frac{240 \cdot (41 + 38)}{1440 \cdot 30} = 0,44.$$

Соответственно, в межпиковый период расход энергии на одного пассажира возрастает из-за избыточного количества вагонов.

Но если изменить соотношение между видами выпусков, то при том же суточном количестве в 50 выпусков можно сократить количество вагонов в движении в межпиковый период и за счет этого увеличить объем транспортной работы в утренний и вечерний «пики», чем достигается большее соответствие спросу на транспортные услуги (правая сторона таблицы) и сокращение интервала движения в часы «пик». При сохранении суточного количества выпусков усовершенствованный наряд предусматривает 20 двухсменных, 25 разрывных и 5 осмотровых выпусков, что дает возможность увеличить количество единиц в движении в периоды массовых перевозок на 26,6% и уменьшить на 11% количество вагонов в межпиковый период. При этом коэффициент использования вместимости в межпиковый период станет на 14% выше:

$$\eta_{\langle \text{мп(новый)} \rangle} = \frac{240 \cdot (50 + 50)}{1440 \cdot 27} = 0,62.$$

Известно, что часовой объем пассажироперевозок  $M_m$  на маршруте определяется средней дальностью поездки на этом маршруте  $L_{c.m}$ , наполнением подвижных единиц  $p_{c1}$  и частотой движения  $f_1$ . Объем работы транспорта  $W_m$  за этот же час является произведением количества подвижных единиц на маршруте  $N_1$  на эксплуатационную скорость  $V_{э.м}$ , а умножением объема работы на удельное энергопотребление  $a_m$  на этом маршруте с учетом КПД двигателей  $\eta_{дв.}$  и системы электроснабжения  $\eta_{с.э.с.}$  можно найти расход энергии на движение:

$$Q_{M(p)} = \frac{1}{\eta_{дв.} \eta_{с.э.с.}} a_{m_1} W_m = \frac{1}{\eta_{дв.} \eta_{с.э.с.}} a_{m_1} N_1 V_{э.м};$$

$$M_m = f_1 p_{c1} L_{c.m}.$$

При замене части количества  $N'_1$  подвижных единиц на другой тип в количестве  $N_2$  с той же вместимостью, но с электронным регулированием тока тяговых двигателей, при неизменном общем количестве подвижных единиц на маршруте расход энергии будет определяться формулой

$$Q_{M(p)} = \frac{1}{\eta_{дв.} \eta_{с.э.с.}} (a_{m_1} N'_1 + a_{m_2} N_2) \cdot V_{э.м}.$$

Максимум экономии энергопотребления на маршруте достигается при полной замене подвижных единиц с реостатами на единицы с электронным регулированием. Воспользовавшись коэффициентами  $k_e$  приведения единиц разного типа по энергопотреблению, и принимая

во внимание, что условия движения после замены остаются теми же самыми, оценим выигрыш:

$$\frac{\Delta Q_{M(p)}}{Q_{M(p)}} \cdot 100\% = (1 - k_e) \cdot 100\%.$$

Например, приняв за базовый тип вагона Т-3, имеем коэффициент приведения для вагонов Т-3М  $k_e=0,915$ , что даст уменьшение энергопотребления на маршруте при полной замене вагонов Т-3 на 8,5%. Приблизительно такая же экономия будет, если заменить троллейбусы ЗиУ-9 на троллейбусы 14-TR.

Более сложным является случай частичной замены одного типа на другой с повышенной вместимостью и с одинаковым или другим принципом регулирования. С одной стороны, подвижные единицы увеличенной вместимости имеют большие показатели энергопотребления, а с другой – обеспечивают выполнение заданного объема пассажироперевозок меньшим количеством подвижных единиц.

Если вместо определенного количества подвижных единиц одного типа на маршруте будет работать их уменьшенное количество и некоторое количество другого типа, то при неизменном объеме пассажироперевозок:

$$f_1 p_{c1} L_{c.m} = (f'_1 p_{c1} + f_2 p_{c2}) L_{c.m}.$$

Расход энергии за 1ч при этом изменится и будет составлять:

$$Q'_{M(p)} = \frac{1}{\eta_{дв.} \eta_{с.э.с.}} (a_{M1} N'_1 + a_{M2} N_2) V_{e.m},$$

где «штрих» означает замену определенного количества подвижных единиц одного типа на определенное количество единиц другого типа.

Показателем эффективности замены, очевидно, будет отношение:

$$\frac{Q'_{M(p)}}{Q_{M(p)}} = \frac{a_{M1} N'_1 + a_{M2} N_2}{a_{M1} N_1}.$$

Обозначив «штрихом» частоту движения единиц исходного типа при одновременной работе двух типов, можно записать условие постоянства объема пассажироперевозок в течение 1 ч при двух типах подвижных единиц:

$$M_{.m} = f_1 p_{c1} L_c = \left[ f'_1 p_{c1} \frac{f_1}{f'_1 + f_2} + f_2 \left( p_{c1} + (p_{c2} - p_{c1}) \frac{f_2}{f'_1 + f_2} \right) \right] \cdot L_c =$$

$$= \left( p_{c1} \frac{f_1'(f_1 + f_2)}{f_1' + f_2} + p_{c2} f_2 \right) \cdot L_c.$$

Таким образом:

$$\frac{Q'_{M(p)}}{Q_{M(p)}} = \frac{f_1 N_1' + k_e \left( \frac{p_{c1} f_1' + p_{c2} f_2}{p_{c2}} \right) N_2}{(f_1' + f_2) N_1}.$$

Из условия неизменности объема пассажироперевозок вытекает, что

$$p_{c1} f_1 = p_{c1} \frac{f_1'(f_1 + f_2)}{f_1' + f_2} + p_{c2} f_2.$$

Обозначив отношение количеств подвижных единиц разных типов через  $v$  и отношения вместимостей через  $k_{\text{вм}}$ , после преобразований имеем:

$$\frac{Q'_{M(p)}}{Q_{M(p)}} = 1 + v \left( k_e \frac{1 - v(k_{\text{вм}} - 1)}{k_{\text{вм}}(1 - v + k_{\text{вм}})} - 1 \right); \quad v = \frac{f_2}{f_1' + f_2}; \quad k_{\text{вм}} = \frac{p_{c2}}{p_{c1}}.$$

Замена части единиц нормальной на единицы повышенной вместимости приводит к уменьшению расхода энергии при неизменном объеме пассажироперевозок. Например, замена половины ( $v=0,5$ ) троллейбусов ЗиУ-9 на трехосные троллейбусы Т-1 с повышенной на 42,7% против ЗиУ-9 вместимостью и увеличенным на 24,4% удельным энергопотреблением дает:

$$\frac{Q'_{M(p)}}{Q_{M(p)}} = 1 + 0,5 \left( \frac{1,244 - v(1,427 - 1)}{1,427(1 + 1,427 - 0,5)} - 1 \right) = 0,828,$$

т.е. возможная экономия энергии составит 17,2% по сравнению с эксплуатацией только троллейбусов ЗиУ-9.

Таким образом, существуют объективные возможности значительного уменьшения энергопотребления без дополнительных капиталовложений исключительно средствами рациональной эксплуатации.

1. Энергосбережение – приоритетное направление государственной политики Украины (Ковалко М.П. и др.) – К.: УЕЗ, 1998. – 506 с.

2. Комплексная государственная программа энергосбережения Украины. – К.: Держжоренергозбереження України, 1996. – 234 с.

3. Исследование фактического энергопотребления городского электротранспорта и разработка метода нормирования удельных расходов энергии. – Л.: ЛИИЖТ, 1979. – 97 с.

4.Рекомендации по экономии электроэнергии трамвайным и троллейбусным транспортом. – М.: АКХ им. К.Д. Памфилова, 1977. – 25 с.

5.Рекомендации по составлению карт вождения трамвайных вагонов и троллейбусов. – М.: АКХ им. К.Д. Памфилова, 1980. – 65 с.

*Получено 08.06.2004*

УДК 697.434

В.А.МАЛЯРЕНКО, д-р техн. наук

*Харьковская национальная академия городского хозяйства*

В.Н.ГОЛОЩАПОВ, канд. техн. наук, Н.А.ОРЛОВА

*Институт проблем машиностроения им. А.Н.Подгорного НАН Украины, г.Харьков*

Л.В.ЛЫСАК, канд. техн. наук

*ЗАО «Теплоэлектроцентральный - 3», г.Харьков*

### **ЦЕНТРАЛИЗОВАННОЕ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В СТРАТЕГИИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ КРУПНЫХ ГОРОДОВ**

Рассматривается стратегическая линия развития централизованного теплоснабжения крупных городов, с учетом опыта стран Европы.

Согласно «Энергетической стратегии Украины до 2030 г. и дальнейшую перспективу» развитию централизованного теплоснабжения городов отводится большая роль и, прежде всего, в вопросах энергосбережения. Благодаря технологии комбинированного производства тепловой и электрической энергии при использовании систем централизованного теплоснабжения на базе ТЭЦ, коэффициент использования энергии топлива достигает 87-89% [1].

Для Украины основным направлением развития энергетики и теплоснабжения будет дальнейшее использование источников энергии на органическом топливе с внедрением новейших топливосберегающих технологий – ПГУ малой и средней мощности, увеличении доли тепла, вырабатываемого ТЭЦ и энергоузлами различного типа с применением когенерационных газотурбинных установок. Данная тенденция характерна в целом для мировой стационарной энергетики [2].

В настоящее время в Украине действует около 250 ТЭЦ, из которых более 200 – мелкие ведомственные промышленные электростанции, которые обеспечивают почти 27 % общей потребности в отопительном тепле. Котельные различной тепловой мощности обеспечивают около 62% от общей потребности тепла. Из них на природном газе работают до 58% котелен, на жидком топливе – до 15%, на угле – около 27% [1, 2].

Лимит газа, изношенность тепловых сетей, их большая протяженность привели к тому, что на этапе становления государства Ук-