



Определение энергозатрат на неплановые остановки



Наталья СИДОРОВА

Natalia N. SIDOROVA

Представлена методика, позволяющая значительно повысить точность оценки расхода электроэнергии на неплановые остановки и корректировать технологические нормы на поездку. Используется метод анализа для определения экстремума целевой функции по заданному фактору. Такой целевой функцией может служить коэффициент корреляции между удельным расходом электроэнергии, затраченной на движение, и количеством неплановых остановок. Его минимальное значение соответствует искомому усредненному значению скорости разгона.

Ключевые слова: электрическая тяга, железная дорога, грузовое движение, неплановые остановки, удельный расход электроэнергии; корреляционный анализ, технологические нормы.

Сидорова Наталья Николаевна — доктор технических наук, профессор кафедры «Электрическая тяга» Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), Москва, Россия.

При движении грузового поезда по участку почти невозможно избежать неплановых остановок. Особенно большое их количество наблюдается в тёплое время года, когда начинается пора производства путевых ремонтных работ. Это может приводить к тому, что при уменьшении технической скорости движения удельный расход электроэнергии будет увеличиваться. При неблагоприятных условиях пропуска поездов потери электроэнергии на неплановые остановки достигают 25% от общего её расхода за поездку.

Для вычисления удельного расхода электроэнергии на одну остановку в теории электрической тяги применяется аналитическое выражение:

$$A_n = \frac{2,78 \cdot m \kappa_n V_n^2}{2 \cdot 3,6^2 \cdot 10^7} \left[1000(1 + \gamma) + \frac{g(\omega_n + \omega_{kp} + \omega_i)}{a_n} \right], \quad (1)$$

кВт·ч,

где m — масса поезда, т; κ_n — коэффициент пусковых потерь; V_n — конечная скорость разгона поезда после неплановой остановки, км/ч; $1 + \gamma$ — коэффициент инерции вращающихся частей поезда; g — ускорение свободного падения, м/с²;

ω_n — среднее значение основного сопротивления движению поезда при разгоне, Н/кН;

$\omega_{кр}$ — среднее значение дополнительного удельного сопротивления движению поезда от кривой, Н/кН;

ω_i — среднее значение дополнительного удельного сопротивления движению поезда от уклона, Н/кН;

a_n — среднее значение ускорения поезда при пуске, м/с².

Трудность применения этого аналитического выражения заключается в том, что необходимо знать конечную скорость разгона поезда после остановки, поскольку именно она определяет расход электроэнергии при всех остальных известных значениях входящих в формулу величин.

Зависимость, оценивающая влияние на расход электроэнергии, затрачиваемой на разгон после остановки грузового поезда с двухсекционным электровозом серии ВЛ 80С, от его массы и конечной скорости разгона, приведена на рис. 1.

Как видно из рисунка, масса поезда оказывает существенное влияние на расход электроэнергии на разгон после остановки. Например, при разгоне поезда массой 2500 т до скорости 70 км/ч расходуется 180 кВт·ч электроэнергии, а на разгон до такой же скорости поезда массой 6200 т — 550 кВт·ч, т. е. в 3 раза больше. Подобная же ситуация получается и с конечной скоростью разгона — чем она больше, тем выше расход электроэнергии. Так, если при разгоне поезда массой 4500 т до скорости 20 км/ч расходуется 105 кВт·ч электроэнергии, то при разгоне до 70 км/ч — уже 425 кВт·ч.

В локомотивных депо в настоящее время составляется усреднённая норма энергозатрат на разгон поезда после остановок, что, как подтверждено выше, приводит к значительным погрешностям при нормировании. Становится очевидным, что при определении нормы расхода электроэнергии на разгон после остановки следует учитывать оба рассмотренных фактора — массу поезда и конечную скорость разгона.

Если масса поезда известна заранее, то конечную скорость разгона необходимо определить. Для этого предлагается использовать метод факторного анализа, который заключается в следующем. Име-

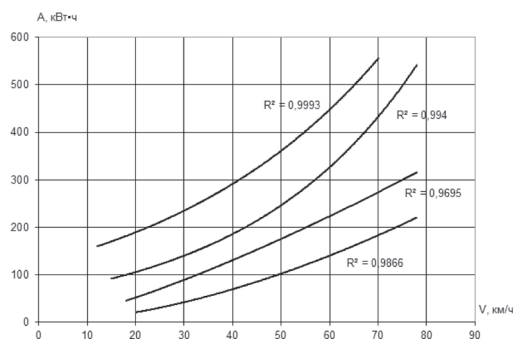


Рис. 1. Зависимость расхода электроэнергии на разгон от конечной скорости разгона при различных массах поездов.

ется совокупность факторов, определяющих значение целевой функции. Такими факторами являются масса поезда, нагрузка на ось вагона в составе поезда, количество остановок, удельный расход электроэнергии с учётом остановок. Варьируя какой-либо из факторов, находят экстремум его целевой функции. Таковой может служить величина коэффициента корреляции между удельным расходом электроэнергии, затраченной на движение, и количеством неплановых остановок.

При постепенном увеличении значения конечной скорости разгона после неплановых остановок и подстановке его в (1) с дальнейшим вычитанием полученной энергии из общего расхода коэффициент корреляции становится незначимым, ибо оставшаяся электроэнергия затрачивается только на движение и не зависит от количества остановок.

В качестве примера было рассмотрено движение поездов на однопутном участке Нижний Новгород — Арзамас. На основе выборки маршрутных листов машинистов определён коэффициент корреляции между удельным расходом электроэнергии на тягу и количеством неплановых остановок. Переменным фактором является конечная скорость разгона.

При уровне значимости 0,05 осуществлена проверка гипотезы о равенстве нулю коэффициента корреляции. Гипотеза отвергается, если коэффициент корреляции значимо отличается от нуля и рассматриваемые величины связаны статистической зависимостью. С этой целью был применён Т-критерий:





Таблица 1

Определение значимости коэффициента корреляции «число неплановых остановок – удельный расход электроэнергии» $r_{ан}$ при различных конечных скоростях разгона на тяговом плече Нижний Новгород – Арзамас

$V_{разг}, км/ч$	$r_{ан}$	$ T_{набл} $	$T_{крит}$	Коррелированы?	$z_{\alpha} S_r$	Коррелированы?
10	0,1522	2,89	1,96	да	0,1018	да
20	0,115	2,17		да	0,1028	да
30	0,0521	0,98		нет	0,1039	нет
37	0,0075	0,14		нет	0,1042	нет
40	0,0368	0,69		нет	0,1040	нет
50	0,1496	2,84		да	0,1018	да
60	0,2797	5,47		да	0,096	да
70	0,4154	8,57		да	0,0862	да
80	0,5435	12,15		да	0,0734	да

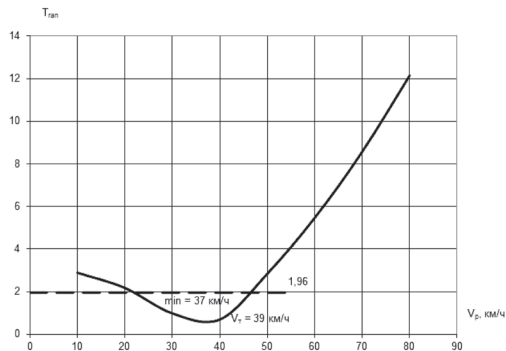


Рис. 2. Зависимость Т-критерия от конечной скорости разгона поезда на тяговом плече Нижний Новгород – Арзамас.

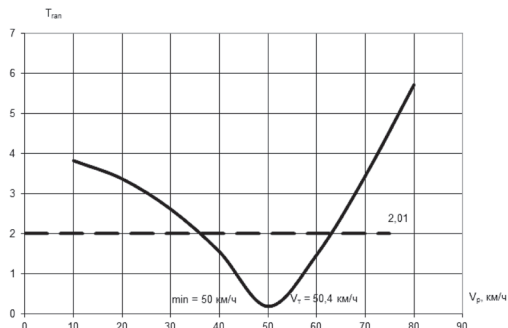


Рис. 3. Зависимость Т-критерия от конечной скорости разгона поезда на тяговом плече Нижний Новгород – Владимир.

$$T = r_{xy} \frac{\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r_{xy}^2}}, \quad (2)$$

где r_{xy} – коэффициент корреляции между величинами X и Y ; n – объём выборки.

Полученное значение Т-критерия сравнивается с критическим, определяемым по таблице критических точек распределения Стьюдента. Если наблюдаемое значение больше критического, то гипотеза о равенстве нулю коэффициента корреляции отвергается, а в противном случае – принимается.

При корреляционном анализе выбора больших объёмов целесообразно учесть и другую гипотезу о равенстве нулю коэффициента корреляции – критерий $z_{\alpha} S_r$, с применением функции Лапласа, где z_{α} – величина, определяемая уравнением $2\Phi(z_{\alpha}) = 1 - \alpha$ (Φ – функция Лапласа) при уровне значимости α ; S_r – несмещённая оценка среднеквадратического отклонения, определяемая как

$$S_r = \frac{1-r^2}{\sqrt{n}}. \quad (3)$$

Если значение коэффициента корреляции по модулю больше величины $z_{\alpha} S_r$, то гипотеза о его равенстве нулю отвергается, а в противном случае – принимается. Как видно из данных, приведенных в таблице 1, результаты показали полное совпадение при анализе коэффициентов корреляции между удельным расходом энергии и количеством неплановых остановок по обоим критериям.

На рис. 2 представлен график зависимости значений Т-критерия в функции конечной скорости разгона. Полученная зависимость имеет минимум при скорости 37 км/ч, после которого функция снова увеличивается. Это свидетельствует о том, что скорость разгона после остановок становится слишком высокой и вследствие этого увеличивается доля расхода электроэнергии на остановки, а на движение оста-

ется неправомерно малая часть энергозатрат. Наблюдаемое значение Т-критерия снижается ниже критического при скорости 22 км/ч, а при скорости 46,5 км/ч снова становится выше. Вычисление рациональной доли энергозатрат на неплановые остановки показывает определенный диапазон значений конечных скоростей разгона, но целесообразно принимать то из них, которое соответствует минимуму функции коэффициента корреляции, равной в данном случае 37 км/ч. При этом среднетехническая скорость на участке, характеризующимся большим количеством неплановых остановок, составила 39 км/ч. Полученные величины аналогичным образом были проверены на примере двухпутного участка Нижний Новгород – Владимир. По результатам расчётов на рис. 3 представлена зависимость Т-критерия от конечной скорости разгона. Минимум в подобном случае наблюдается при скорости 50 км/ч, что и можно рекомендовать в качестве конечной скорости разгона для определения расхода энергозатрат на неплановые остановки. Среднетехническая скорость в данной выборке составила 50,4 км/ч.

Как следует из использованных примеров, рационально принимать конечную скорость разгона после неплановых остановок меньше среднетехнической на 1–5%, причем индивидуально для каждого тягового плеча. Если нет необходимости в высокой точности расчётов, то допустимо принимать за конечную скорость разгона среднетехническую, поскольку согласно рис. 2 и 3 она находится в диапазоне, когда требуемое значение Т-критерия меньше критического.

Представленная методика позволяет значительно повысить точность оценки расхода электроэнергии на неплановые остановки и корректировать технологические нормы на поездку после их осуществления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Розенфельд В. Е., Исаев И. П., Сидоров Н. Н., Озеров М. И. Теория электрической тяги/ Под ред. И. П. Исаева. – М.: Транспорт, 1995. – 294 с.
2. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика. – М.: Высшая школа, 1977. – 479 с.
3. Сидорова Н. Н., Маринин С. А., Альжанов Б. Б. Влияние на эксплуатационные расходы потребления электроэнергии электровозами, работающими по системе многих единиц // Транспорт Урала. – 2009. – № 1. – С. 70–72. ●

EVALUATION OF POWER INPUTS CAUSED BY UNSCHEDULED STOPS

Sidorova, Natalia N. – D.Sc. (Tech), professor at the department of electrical traction of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.

The article introduces the techniques that allow to considerably increase the exactitude of evaluation of electric power inputs caused by unscheduled stoppage and to adjust technological standards and engineering rate of train-running. The author uses method of analysis to determine extremum

of target function by specified factor, coefficient of correlation between specific consumption of electric power for motion and the number of unscheduled stops serving as such target function. Its minimum value corresponds to desired averaged value of acceleration speed.

Key words: electric traction, railway, freight traffic, unscheduled stop, specific consumption of electrical power, correlation analysis, engineering rate.

REFERENCES

1. Rozenfel'd V.E., Isaev I.P., Sidorov N.N., Ozerov M.I. Theory of electric traction [*Teoriya elektricheskoy tyagi*], ed. by I.P. Isaev. Moscow, Transport publ., 1995, 294 p.
2. Gmurman V.E. Probability theory and mathematical statistics [*Teoriya veroyatnostey i matematicheskaya statistika*]. Moscow, Vysshaya shkola publ., 1977, 479 p.
3. Sidorova N.N., Marinin S.A., Al'zhanov B.B. Impact on operation costs of electric power consumption by electric locomotives operated within the system of numerous units [*Vliyaniye na ekspluatatsionnye rashody potrebleniya elektroenergii elektrovozami, rabotayuschimi po sisteme mnogih edinit*]. *Transport Urala*, 2009, № 1, pp. 70–72.

Координаты автора (contact information): Сидорова Н.Н. (Sidorova N.N.) – sidco50@mail.ru.

Статья поступила в редакцию / article received 26.09.2013
Принята к публикации / article accepted 16.10.2013

