

зельного топлива точнее чем  $\pm 254,5$  л. Дополнительная погрешность при этом вносится методом определения уровня. По оценкам некоторых авторов, абсолютная погрешность измерения уровня при помощи метрштока или рулетки с грузом может достигать  $\pm 7-8$  мм в зависимости от высоты налива резервуара или цистерны, в то время как действующая нормативная документация устанавливает уровень такой погрешности не более  $\pm 3$  мм.

Аналогичные исследования проведены для мерных реек и мерных стекол, применяемых для определения объема дизельного топлива в баке тепловоза.

Из результатов исследования математических моделей технических средств и методов измерения, применяемых в локомотивных депо и на подвижном составе, следует:

1 Действующая нормативная документация, регламентирующая проведение измерительных и учётных операций на топливных складах, пунктах экипировки и подвижном составе, не вполне учитывает реальную ситуацию и потому нуждается в существенной корректировке.

2 Используемые в настоящее время на Белорусской железной дороге технические средства и методы измерения количества дизельного топлива не обеспечивают требуемое качество измерительной информации.

3 Внедрение различных систем измерения и учета дизельного топлива связано с определенными трудностями, вызванными невозможностью оценки реальной эффективности предлагаемой системы в условиях эксплуатации.

4 Решение о совершенствовании нормативной документации, а также обновлении технических средств и методов измерения количества дизельного топлива следует принимать по результатам комплексного исследования работы топливного хозяйства локомотивного депо с использованием математического моделирования.

5 При разработке автоматизированной системы учёта дизельного топлива в локомотивном депо следует предусматривать возможность оперативного составления полного топливного баланса, включающего как объекты топливного хозяйства локомотивного депо (топливные склады, пункты экипировки), так и потребителей топлива (тепловозы и дизель-поезда).

6 Особое внимание при автоматизации измерения и учёта дизельного топлива следует уделить выбору технических средств для определения массы топлива прямым методом (на пунктах экипировки), а там, где это невозможно (топливные склады, тепловозы), обеспечивать достаточную точность при использовании косвенных методов определения массы. Снижение случайной погрешности в этом случае должно производиться при помощи дополнительных микроэлектронных (микропроцессорных) систем.

УДК 658.26:656.224

## ВЛИЯНИЕ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ НА РАСХОД ТОПЛИВА ПАССАЖИРСКИМИ ТЕПЛОВОЗАМИ

*С. Я. ФРЕНКЕЛЬ, А. П. ДЕДИНКИН*

*Белорусский государственный университет транспорта*

Наряду с основными эксплуатационными факторами, такими как профиль пути, перевозочная работа, скорость движения поезда, на расход дизельного топлива магистральными тепловозами оказывают влияние и погодные условия, характеризующиеся различными метеорологическими факторами, такими, например, как температура наружного воздуха. Снижение температуры, как известно, увеличивает плотность и, соответственно, скоростной напор сопротивления воздуха, вязкость смазки и повышает коэффициент трения в буксовых узлах вагонов, а следовательно, вызывает увеличение расхода топлива. С другой стороны, при снижении температуры увеличивается заряд воздуха, поступающего в цилиндры двигателя, повышается максимальное давление сгорания, и расход топлива снижается. К метеорологическим факторам относят также скорость и направление ветра, атмосферное давление, влажность, осадки и др.

Одним из возможных методов исследования влияния таких факторов на расход энергоресурсов является анализ статистической информации о поездках локомотивов. Для исследования влияния метеофакторов на расход дизельного топлива за поездку нами использованы статистические данные из метеосводок и маршрутных листов машиниста. При этом для каждой из поездок, описанных в маршрутных листах, определялись средние значения температуры наружного воздуха, скорости встречного (попутного) и бокового ветра, атмосферного давления и влажности. Исследования на массиве данных о поездках пассажирских тепловозов Гомельского локомотивного депо за 2004–2006 годы не позволили выявить связь между рассматриваемыми ме-

теофакторами и расходом дизельного топлива. Это можно объяснить влиянием на него других более сильных эксплуатационных факторов.

Влияние некоторых метеорологических факторов на расход энергоресурсов исследовано с помощью многовариантных тяговых расчетов. При этом использовались полученные другими авторами эмпирические зависимости, отражающие влияние данных факторов на сопротивление движению поезда. Установлено, что, например, для пассажирского поезда, состоящего из 18 вагонов и ведомого тепловозом серии ТЭП60, снижение температуры наружного воздуха с  $0^{\circ}\text{C}$  до  $-20^{\circ}\text{C}$  ведет к увеличению расхода топлива тепловозом на 7 %.

Встречный ветер, скорость которого 4 м/с, как показали расчеты, вызывает увеличение расхода топлива на 0,5 %. Попутный ветер той же скорости вызывает снижение расхода топлива на 0,3 %.

Как показали результаты исследований некоторых авторов, существенное влияние на расход энергоресурсов оказывает боковой ветер, увеличивающий трение гребней бандажей о рельсы и осевых шеек в буксах, а также трение от проскальзывания колес из-за разницы диаметров их кругов качения. Постоянный боковой ветер силой 4 м/с ведет к увеличению расхода топлива на 1,2 %. Наиболее заметное влияние на расход энергоресурсов ветер оказывает при относительно невысоких скоростях движения пассажирского поезда (40–60 км/ч).

Таким образом, метеорологические факторы оказывают достаточно существенное влияние на расход дизельного топлива пассажирскими тепловозами. Это следует учитывать при нормировании расхода энергоресурсов пассажирскими локомотивами.

УДК 658.26:656.224

## МНОГОФАКТОРНАЯ РЕГРЕССИОННАЯ МОДЕЛЬ РАСХОДА ЭНЕРГОРЕСУРСОВ ЗА ПОЕЗДКУ В ПАССАЖИРСКОМ ДВИЖЕНИИ

С. Я. ФРЕНКЕЛЬ, А. П. ДЕДИНКИН

Белорусский государственный университет транспорта

Расход дизельного топлива или электрической энергии локомотивом за поездку в магистральном движении определяется различными эксплуатационными факторами и во многом является вероятностной величиной. Поэтому при его прогнозировании наиболее приемлемым является использование методов математической статистики.

Достаточно точно спрогнозировать расход энергоресурсов за поездку можно с помощью многофакторного регрессионного уравнения, коэффициенты которого определяются по статистическим данным за определенный прошедший период работы локомотивов. Качество регрессионного уравнения, используемого для определения расхода энергоресурсов за поездку, оценивается с помощью множественного коэффициента детерминации  $R^2$  и величины остаточной дисперсии  $S_{\text{ост}}^2$ .

Важным при построении регрессионной модели является предварительная обработка исходных данных, заключающаяся в отсеке грубых погрешностей, а также проверке нормальности их распределения.

По данным маршрутных листов машиниста локомотивного депо Гомель Белорусской железной дороги и метеосводок за 2004–2006 годы построены и исследованы различные регрессионные модели расхода дизельного топлива пассажирскими тепловозами за поездку. Установлено, что для принятых исходных данных наиболее приемлемой является многофакторная линейная регрессионная модель с предварительным преобразованием некоторых факторов, входящих в нее. Уравнение регрессии, представляющее эту модель, имеет вид

$$B = a + b_1 A + b_2 S^2 + b_3 \ln(v_T) + b_4 t_{\text{наг}} + b_5 i_{\text{пр}}^2 + b_6 n_{\text{ост}} + b_7 v_{\text{бок}} + b_8 T_{\text{возд}},$$

где  $a, b_1, b_2, b_3, \dots, b_8$  – коэффициенты уравнения регрессии;  $A$  – перевозочная работа, 104 т·км брутто;  $S$  – пробег, км;  $v_T$  – техническая скорость движения поезда, км/ч;  $t_{\text{наг}}$  – нагон, мин;  $i_{\text{пр}}$  – приведенный уклон участка следования, ‰;  $n_{\text{ост}}$  – количество остановок поезда на промежуточных станциях;  $v_{\text{бок}}$  – скорость бокового ветра, м/с;  $T_{\text{возд}}$  – температура наружного воздуха,  $^{\circ}\text{C}$ .

Показатели оценки качества модели составили:  $R^2 = 0,921$ ;  $S_{\text{ост}}^2 = 1850$ .

Установлено, что продолжительность накопительного периода полученной модели (период времени, за который принимают исходные данные для расчета коэффициентов уравнения регрессии), следует принимать в один месяц, а продолжительность прогнозного периода (время, в течение которого построенная регрессионная модель может быть эффективно использована для расчета норм расхода энергоресурсов на поездку), составляет одну декаду.

Исследования показали, что применение регрессионных моделей позволяет достаточно эффективно рассчитывать нормы расхода энергоресурсов пассажирскими локомотивами.