

ОЦЕНКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАСХОДА ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА НА ТЯГУ ПОЕЗДОВ МЕТОДАМИ РЕГРЕССИОННОГО И ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

М. Ю. ПАШКАВЦОВ, П. А. САХАРОВ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Обоснованное прогнозирование расхода топлива может служить стимулом для его выполнения локомотивными бригадами и источником экономии топливно-энергетических ресурсов на тягу поездов. Расход топлива можно сократить путем грамотного экономически обоснованного управления поездами. Совершенствование ведения поездов является наиболее доступным и наименее затратным мероприятием, направленным на снижение расхода топлива и обладающим значительным потенциалом. Доказательством последнего утверждения служит опыт локомотивных депо, показывающий существенное снижение расхода топлива на тягу поездов при обучении менее опытных машинистов более опытными, которые в большинстве случаев работают с экономией. Для определения потенциальной возможности экономии расхода топлива могут использоваться существующие методы нормирования расхода. Однако развитие компьютерных технологий позволяет для этой цели использовать более сложные, и предположительно более достоверные, модели.

Разработано две модели прогнозирования расхода дизельного топлива на тягу поездов в грузовом движении: регрессионная модель, основанная на регрессионном анализе статистических данных из маршрутов машинистов, и имитационная модель, базирующаяся на дифференциальном уравнении движения поезда. Цель работы – оценить целесообразность использования разработанных моделей, определить наиболее подходящую из них для использования при прогнозировании расхода топлива.

Имитационное моделирование основано на решении дифференциального уравнения движения поезда, учитывающем эмпирические выражения, представленные в Правилах тяговых расчетов [1]. Исходными данными в модели служат технико-экономические характеристики локомотива, тип, количество и масса вагонов, характеристики продольного профиля пути. Моделью учтены промежуточные позиции контроллера машиниста тепловоза, его паспортные тяговые и расходные характеристики. Это существенно усложнило математическое описание, но позволило оценивать изменение характеристик движения и расхода топлива на каждой позиции, значительно расширило возможности моделирования.

Для оценки работы модели в качестве исходных данных приняты статистические данные Белорусской железной дороги за период с 01.01.2020 по 31.12.2020. Информация по поездкам взята для участков пути Гомель – Лунинец и Гомель – Осиповичи с помощью базы данных автоматизированной системы интегрированной обработки маршрутов машиниста (АС ИОММ). Для обеспечения возможности моделирования потребовалась обработка отчетов различных форм, необходимые данные из которых сведены в отдельные таблицы и в дальнейшем использованы для расчетов. Результаты моделирования представляются в виде зависимостей скорости и времени движения поезда от пройденного пути. По расходным характеристикам с учетом использованных позиций контроллера машиниста определяется величина суммарного расхода топлива, которая принимается в качестве прогнозного значения расхода топлива на поездку.

Как видим, имитационная модель достаточно трудоемка как при разработке, так и при ее использовании с целью определения расхода дизельного топлива. Более упрощенным является способ, при котором на основании накопленных статистических данных производится регрессионный анализ и строится уравнение регрессии. Полученное уравнение можно использовать для анализа расхода топлива, т. е. рассматривать его в качестве упрощенной модели прогнозирования расхода топлива.

Для построения регрессионной модели прогнозирования расхода топлива произведена обработка статистических данных по поездкам, выполненным локомотивами серий 2ТЭ10МК(УК) в локомотивном депо Гомель за период с 01.01.2020 по 31.12.2020. Всего отобрано 8240 поездок, которые в дальнейшем проанализированы на предмет их корректности. Так, из общего количества маршрутов было отброшено 3506 по причинам отсутствия информации по выполненной работе (локомотив двигался в одиночном следовании) и недопустимых значений осевой нагрузки (более 23,5 т/ось).

В качестве нормообразующих факторов для регрессионной модели приняты следующие характеристики движения поезда: выполненная перевозочная работа, масса состава, средняя осевая нагрузка, техническая скорость движения поезда, участковая скорость движения поезда, время поезда в движении, время стоянок. На основании отобранных статистических данных сформирована таблица, обработка которой средствами анализа данных табличного редактора Microsoft Excel, позволила определить искомые коэффициенты уравнения регрессии. Оценка результатов регрессионного анализа показала высокую достоверность полученной зависимости. Коэффициент детерминации R -квадрат составил более 0,98, а стандартная ошибка не превысила 144. Согласно расчетам, регрессионная модель расхода топлива E , кг, тепловозами серии 2ТЭ10МК(УК) имеет вид

$$E = 0,684 A + 0,024 Q - 5,621 q_0 + 1,971 v_T - 1,701 v_{уч} + 2,786 t_{дв} - 0,12 t_{ст}, \quad (1)$$

где A – работа, 10^3 т·км; Q – масса состава, т; q_0 – масса, приходящаяся на ось колесной пары, т/ось; v_T – техническая скорость, км/ч; $v_{уч}$ – участковая скорость, км/ч; $t_{дв}$ – время движения, мин; $t_{ст}$ – время стоянок, мин.

По разработанной регрессионной модели прогнозирования расхода топлива определен расход топлива для поездов, ранее рассмотренных с помощью имитационной модели движения поезда. Полученные результаты проанализированы и построены гистограммы распределения отклонений прогнозируемого расхода от фактического. Гистограммы отклонения расхода топлива, определенного по регрессионной и имитационной моделям, от фактического расхода для поездов участка Гомель – Лунинец представлены на рисунке 1, а, для участка Гомель – Осиповичи – на рисунке 1, б.

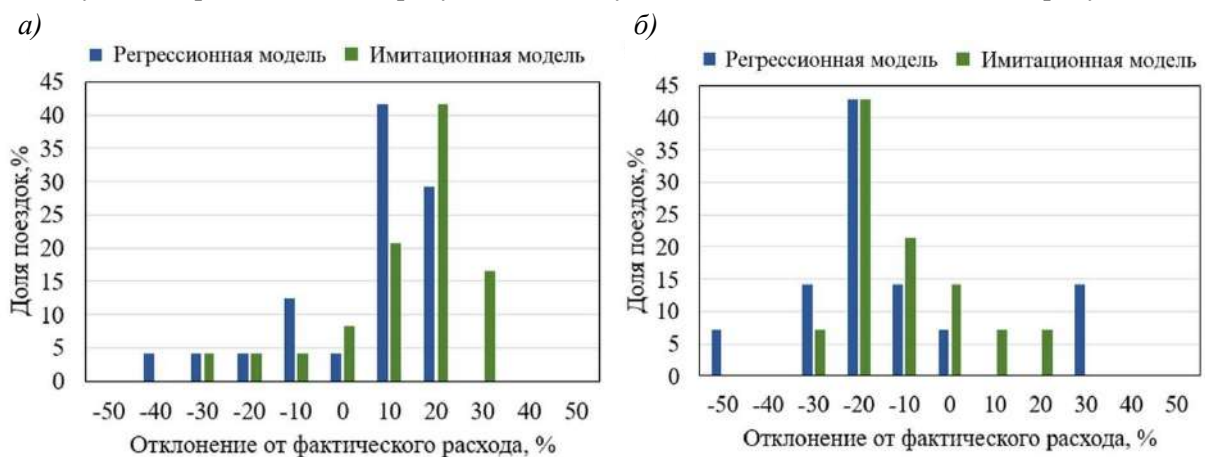


Рисунок 1 – Гистограммы распределения отклонений прогнозируемого расхода топлива от фактического для поездов на различных участках обращения:
а – Гомель – Лунинец; б – Гомель – Осиповичи

Результаты расчетов показали, что для участка Гомель – Лунинец прогнозные значения расхода топлива, полученные с помощью регрессионной модели, в целом имеют меньшие отклонения от факта, чем значения, полученные путем моделирования движения поезда. Для поездов участка Гомель – Осиповичи ситуация обратная. Для регрессионной и расчетной моделей определено среднеквадратическое отклонение прогнозных величин от фактического расхода топлива. Наименьшее значение соответствует регрессионной модели. Исследования других авторов [2] подтверждают достаточно высокую точность определения расхода дизельного топлива с помощью регрессионных моделей, что указывает на перспективность дальнейших исследований в данном направлении.

Таким образом, можно сделать вывод, что использование регрессионной модели при прогнозировании расхода дизельного топлива более целесообразно, поскольку точность прогнозирования не уступает имитационной модели движения поезда, а ее построение и использование значительно проще и менее трудоемко.

Список литературы

- 1 Правила тяговых расчетов для поездной работы : утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 12 мая 2016 г. № 867р. – 2016. – 514 с.
- 2 Френкель, С. Я. Совершенствование нормирования расхода энергоресурсов на тягу поездов / С. Я. Френкель, В. В. Володько // Проблемы безопасности на транспорте : материалы VIII Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. Году науки: в 2 ч. Ч. 1. (23–24 нояб. 2017 г., Гомель). – Гомель, 2017. – С. 172–174.