

УДК 629.424.1:621.311

С. Я. ФРЕНКЕЛЬ, кандидат технических наук, Б. С. ФРЕНКЕЛЬ, магистр технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ОЦЕНКА ТОПЛИВОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ТЕПЛОВЗОВ

Приведены результаты исследования достоверности применяемых методов оценки эффективности топливосберегающих технических решений для тепловозов. Показана ограниченность условий применения этих методов и необходимость в больших финансовых и временных затратах для организации эксперимента. Дано описание методики оценки по результатам стендовых и реостатных испытаний. Предложен способ оценки по информации из маршрутных листов машиниста, который позволяет существенно снизить количество опытных тепловозов для проведения эксперимента, а также значительно сократить минимально необходимый срок проведения эксперимента.

В настоящее время предлагают множество топливосберегающих технических решений для тепловозов. Среди них можно выделить предложения, связанные с совершенствованием конструкции тепловозов или их узлов, а также применение различных топливосберегающих присадок к топливу и маслу. Внедрению в эксплуатацию таких технических решений должно предшествовать исследование их эффективности с целью достоверной оценки экономии дизельного топлива. Ошибка в оценке может послужить причиной использования неэффективных технических решений, что для такого крупного потребителя дизельного топлива, как Белорусская железная дорога, приведёт к неоправданым затратам миллиардов белорусских рублей.

В результате сложившейся многолетней практики оценку эффективности предлагаемых топливосберегающих технических решений выполняют по изменению расхода топлива, приходящегося на измеритель перевозочной работы (удельный расход топлива). Для этого исследуемое техническое решение применяют на одном или нескольких тепловозах и, если при этом удельный расход топлива снижается, делают вывод об эффективности исследуемого технического решения. Для грузового движения нами выполнен анализ маршрутных листов машиниста некоторых локомотивных депо Белорусской железной дороги за три года. Установлено, что для любой группы тепловозов можно выделить три-четыре месяца, а иногда и больше, в течение которых наблюдается устойчивое снижение удельного расхода топлива. При этом такие тепловозы могут работать в штатном режиме, без применения на них каких-либо топливосберегающих технических решений. Следовательно, вполне возможны ошибочные оценки.

Иногда в качестве критерия оценки применяют отклонение удельного расхода топлива группой опытных, т. е. оборудованных исследуемым техническим решением, тепловозов от удельного расхода топлива группой контрольных, т. е. эксплуатируемых в обычном порядке. Считается, что такая оценка более объективна. Однако анализ динамики изменения разности удельных расходов двух групп тепловозов за достаточно продолжи-

тельный период времени показал, что она может изменяться в широких пределах. При этом установлено, что описанным способом получить достоверные результаты можно, если в испытаниях задействовано значительное число опытных тепловозов (15 и более), а период эксперимента составляет не менее 12 месяцев. Очевидно, что проведение таких испытаний требует больших затрат финансов, труда и времени. Поэтому актуальна потребность в способах объективной оценки топливосберегающих технических решений, позволяющих сократить сроки проведения исследований и количество опытных тепловозов.

Оценка эффективности топливосберегающих технических решений по результатам стендовых и реостатных испытаний. Определённый опыт по оценке эффективности применения топливосберегающих технологий накоплен сотрудниками кафедры «Тепловозы и тепловые двигатели» БелГУТа совместно с сотрудниками службы локомотивного хозяйства Белорусской железной дороги при исследовании присадок к дизельному топливу. Исследования проводят в лабораторных условиях на дизель-генераторе ДГ75М1-3. В процессе проведения экспериментальных исследований измеряют массовый расход дизельного топлива. Измеряя ток и напряжение нагрузочного генератора, определяют его мощность. Затем вычисляют удельный, т. е. отнесенный к единице мощности нагрузочного генератора, расход дизельного топлива. Испытания проводят по нагрузочной характеристике при номинальной частоте вращения коленчатого вала дизеля. По результатам эксперимента строят графическую зависимость удельного расхода топлива от величины нагрузки, приведенную на рисунке 1. Линиями соединены минимальные и максимальные значения удельного расхода дизельного топлива для каждого из нагрузочных режимов при работе без присадки. Ширина этой области определяется неравномерностью работы дизеля и погрешностью измерений. Точками на рисунке 1 обозначены значения удельного расхода дизельного топлива с присадкой. На рисунке 1 видно, что практически все точки, полученные при работе двигателя на дизельном топливе с присадкой, легли

в пределах области изменения удельного расхода дизельного топлива без присадки. Такой результат позволяет сделать вывод о том, что в проведенных экспериментах исследуемая присадка не влияет на топливную экономичность дизеля.

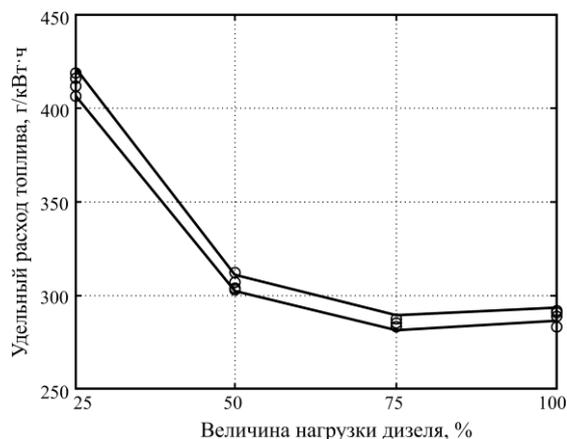


Рисунок 1 – Зависимость удельного расхода топлива от величины нагрузки дизеля

Аналогичные испытания проводят и в локомотивном депо при реостатных испытаниях тепловозов. В этом случае требуется значительно больше дизельного топлива и присадки, а погрешность полученных результатов выше. Кроме того, при проведении реостатных испытаний необходимо следить за тем, чтобы нагрузка во второй серии экспериментов была такой же, как и в первой [1].

Оценка эффективности топливосберегающих технических решений по информации из маршрутных листов машиниста. Авторами предложен и исследован способ оценки эффективности топливосберегающих технических решений по информации из маршрутных листов машиниста. В качестве критерия оценки принято отклонение расхода топлива за поездку от нормы расхода топлива.

Отклонение расхода топлива от нормы для каждой из групп (опытных и контрольных) тепловозов определяют по формуле:

$$\delta B = \frac{\sum B_{\text{н}} - \sum B_{\text{ф}}}{\sum B_{\text{ф}}} \cdot 100 \%, \quad (1)$$

где $B_{\text{н}}$ – норма расхода топлива на поездку, кг; $B_{\text{ф}}$ – фактический расход топлива за поездку, кг.

Значения критерия эффективности рассчитывают нарастающим итогом с шагом, например, один месяц за весь период, охватывающий выборку из маршрутных листов по формуле:

$$\Delta B = \delta B_{\text{о}} - \delta B_{\text{к}}, \quad (2)$$

где $\delta B_{\text{о}}$ – относительное отклонение от нормы для группы опытных тепловозов, %; $\delta B_{\text{к}}$ – относительное отклонение от нормы для группы контрольных тепловозов, %.

Чтобы сократить время, необходимое для проведения исследований, начиная с первого месяца эксперимента, вводят дополнительный повышающий коэф-

фициент. Для всего периода проведения эксперимента значения факторов, входящих в (1), для тепловозов опытной группы рассчитывают в соответствии с выражениями:

$$B_{\text{ф}} = \sum_{i < N_3} B_{\text{ф}i} + k_{\text{д}} \sum_{i \geq N_3} B_{\text{ф}i}, \quad (3)$$

$$B_{\text{н}} = \sum_{i < N_3} B_{\text{н}i} + k_{\text{д}} \sum_{i \geq N_3} B_{\text{н}i}, \quad (4)$$

где N_3 – порядковый номер месяца начала эксперимента в рассматриваемом массиве маршрутных листов машиниста; $B_{\text{ф}i}$ – расход топлива тепловозами опытной группы в i -м месяце; $k_{\text{д}}$ – повышающий коэффициент; $B_{\text{н}i}$ – норма расхода топлива тепловозами опытной группы в i -м месяце.

Экспериментально установлен порядок выбора значения $k_{\text{д}}$.

Для оценки исследуемого технического решения строят график изменения критерия по месяцам. Численную оценку эффективности определяет разность между значением, рассчитанным в соответствии с (2) в последний месяц эксперимента и аналогичным значением в месяц, предшествующий началу эксперимента.

Оценка достоверности предлагаемой методики выполнена при помощи математического моделирования, а также путём корректировки информации в реальных маршрутных листах машиниста.

С помощью имитационной модели работы магистральных тепловозов [2] создан массив маршрутных листов машиниста, содержащий информацию о 38736 поездках, совершенных 62 тепловозами, что примерно соответствует информации из маршрутных листов грузового движения одного из локомотивных депо за три года работы.

Для каждого эксперимента назначалось некоторое количество опытных тепловозов, для которых моделировалась заданная экономия топлива. С этой целью значение расхода топлива тепловозами, выбранными в качестве опытных, в каждой поездке за время эксперимента, уменьшалось на заданную величину. Для остальных тепловозов (контрольных) расход топлива на поездку, зафиксированный в маршрутном листе, не изменялся.

Выполнено исследование достоверности оценки эффективности топливосберегающих технических решений, получаемой по каждому из двух критериев:

- относительное отклонение суммарного удельного расхода топлива контрольными тепловозами от суммарного удельного расхода топлива опытными;
- разность отклонений суммарного фактического расхода топлива от нормы расхода между группами опытных и контрольных тепловозов.

В качестве нормы расхода топлива на поездку принималось значение, рассчитанное с помощью предварительно составленной многофакторной регрессионной модели. Регрессионная модель определяется формулой [3]:

$$B_{\text{нм}} = k_0 + k_1 A + k_2 Q_{\text{ср}} + k_3 q_0 + k_4 v_y, \quad (5)$$

где k_0, \dots, k_4 – коэффициенты регрессии; A – переводочная работа, тыс. ткм; $Q_{\text{ср}}$ – средняя масса состава, т; q_0 – средняя осевая нагрузка, т/ось; v_y – участковая скорость, км/ч.

Если выбранные критерии и способ оценки являются достоверными, то на графиках зависимости критерия от времени значение критерия должно стабилизироваться на уровне, соответствующем заданной экономии. Время до стабилизации критерия соответствует времени, необходимому для оценки эффективности топливосберегающего технического решения. В качестве контрольных приняты все тепловозы, не попавшие в группу опытных, и маршрутные листы, которые имеются в выборке.

Продолжительность эксперимента равна 9 месяцам, начиная с 25-го от начала выборки маршрутных листов, что для принятых условий соответствует 9684 поездкам. На рисунке 2 приведены результаты оценки эффективности при уровне экономии 3 % для пяти опытных тепловозов.

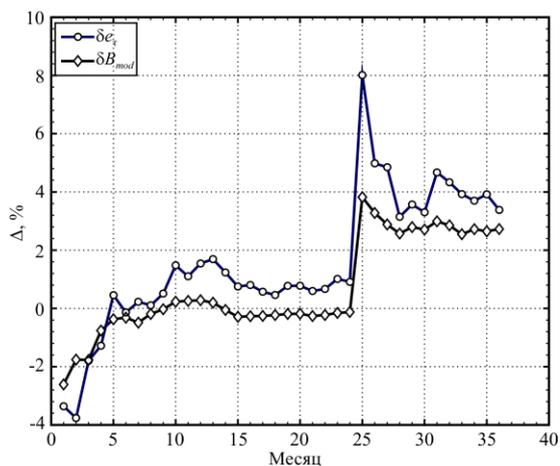


Рисунок 2 – Изменение значений критериев эффективности по месяцам (математическое моделирование)

Как видно из рисунка 2, наблюдается достаточно устойчивая стабилизация второго критерия (отклонение от нормы (δB_{mod}) до начала эксперимента на уровне нулевой отметки и стабилизация на уровне 3 %, что соответствует заданной величине экономии, начиная с 3–4-го месяца эксперимента. Очевидно, что критерий, учитывающий изменение удельного расхода топлива (δe_{τ}), гораздо хуже стабилизируется и, следовательно, дает большую погрешность оценки.

Такие же результаты получены при аналогичных исследованиях, основанных на информации из реальных маршрутных листов машиниста.

Оценка эффективности некоторых топливосберегающих присадок к дизельному топливу. На Белорусской железной дороге проведены эксплуатационные испытания нескольких предлагавшихся для внедрения присадок к дизельному топливу. Среди них была присадка «Анамегатор топлива "Адизоль-Т6"» производства НПП «Адиоз» (Украина). Испытания

проводились на базе локомотивных депо Гомель, Волковыск, Лунинец. Для проведения эксперимента выбраны грузовые тепловозы 2М62.

Тепловозы, входящие в опытные группы, снабжались топливом с присадкой, а контрольные тепловозы заправлялись штатным дизельным топливом без присадки.

Оценка эффективности присадок с использованием реальных маршрутных листов машиниста выполнена по описанным выше критериям.

По результатам испытаний установлено, что ни одна из предложенных присадок не оказала существенного влияния на топливную экономичность тепловозов. Все изменения величины критериев находятся в рамках погрешности метода (± 1 %).

Проведённые исследования дали основание не рекомендовать исследованные присадки для внедрения на Белорусской железной дороге.

Для сравнения можно привести историю двенадцатилетнего применения присадки «Адизоль-Т6» на украинских железных дорогах, описанную в [4]. Результаты исследований в нескольких локомотивных депо «Укрзалізниці» дали основание для использования присадки сначала на Южной железной дороге (с 1999 г.), а позднее и на всех магистралях «Укрзалізниці». Представители НПП «Адиоз» сообщали о подтверждённых исследованиями 7–10 % экономии топлива [5]. И только в 2010 г. применение присадки «Адизоль-Т6» на украинских железных дорогах прекратили по причине ее неэффективности. Этот факт подтвердил результаты испытаний присадки на Белорусской железной дороге и вывод о нецелесообразности её внедрения, сделанный ещё в 2004 г.

Таким образом, исследования, проведённые сотрудниками БелГУТа и службы локомотивного хозяйства, позволили Белорусской железной дороге, отказавшись от применения неэффективных присадок к дизельному топливу, сэкономить более 1,2 млрд белорусских рублей в год.

По итогам проведённых исследований сделаны следующие выводы:

1 Применяемые до настоящего времени способы оценки эффективности топливосберегающих технических решений для тепловозов имеют существенные недостатки. Для достоверной оценки группа опытных тепловозов должна включать 20 и более локомотивов, а срок эксперимента должен быть не менее 8 месяцев.

2 Авторами предложен порядок оценки эффективности топливосберегающих технических решений по результатам стендовых и реостатных испытаний, изложенный в «Инструкции по исследованию и оценке эффективности применения топливосберегающих присадок к дизельному топливу на тяговом подвижном составе Белорусской железной дороги», утверждённой приказом Начальника Белорусской железной дороги.

3 Предложена методика оценки эффективности топливосберегающих технических решений по информации из маршрутных листов машиниста. Методом мате-

математического моделирования доказана достоверность оценки, получаемой по предлагаемой методике при значительном снижении длительности эксперимента (до 3–4 месяцев) и количества опытных тепловозов.

4 Исследования, по результатам которых неэффективные присадки не были рекомендованы к внедрению, позволили сэкономить Белорусской железной дороге более 1,2 млрд рублей ежегодно.

Список литературы

1 Инструкция по исследованию и оценке эффективности применения топливосберегающих присадок к дизельному топливу на тяговом подвижном составе Белорусской железной дороги : утв. приказом Начальника Белорусской железной

дороги № 314П от 29 дек. 2004 г.; разработ. С. Я. Френкель [и др.]. – Минск : Фонд службы локомотивного хозяйства, 2004. – 14 с.

2 **Френкель, Б. С.** Математическая модель движения дизельного топлива / Б. С. Френкель // Энергоэффективность. – 2010. – № 5 (151). – С. 21–23.

3 **Френкель, С. Я.** Об исследовании эксплуатационных факторов, определяющих расход дизельного топлива магистральными тепловозами / С. Я. Френкель // Совершенствование конструкции и системы обслуживания локомотивов : межвуз. сб. науч. тр. / С.-Петерб. гос. ун-т путей сообщения ; под ред. А. В. Грищенко. – СПб. : ПГУПС, 2004. – С. 72–76.

4 **Кондратюк, Н.** Присадки впрыску / Н. Кондратюк // Украинская техническая газета. – 2010. – № 46 (150). – С. 10–11.

5 Использование анамнегаторов на железнодорожном транспорте Украины [Электронный ресурс] // НПП «Адиоз». – 2007. – Режим доступа: <http://www.adioz.com.ua/?m=310>.

Получено 16.03.2012

S. J. Frenkel, B. S. Frenkel. Evaluation of fuel-saving technical solution for diesel-locomotive.

Shown a results of reliability studies used methods to assess the effectiveness of fuel-saving technical solutions for locomotives. It is shown that the conditions of the limited application of these methods and the need for large financial and time costs for the organization of the experiment. The description of the methodology for assessing the results of bench tests, and rheostat. A method for evaluation of information from the engineman's running schedule. This method can significantly reduce the number of experienced diesel locomotives required for the experiment, as well as significantly reduce the minimum required duration of the experiment.