

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УРОВНЯ МОЩНОСТИ ПО ТЕПЛОВОЗНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКЕ НА ПАРАМЕТРЫ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ДИЗЕЛЕЙ 10Д100М

*С. И. СУХОПАРОВ, Р. К. ГИЗАТУЛЛИН, Г. Е. БРИЛЬКОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта*

*А. В. СНЫТКО*

*Белорусская железная дорога*

Проведенный анализ настройки мощности по тепловозной характеристике показал, что в эксплуатации наблюдаются значительные отклонения их от паспортных данных, которые могут в отдельных случаях достигать 100 %. Известно, что при повышенной тепловозной характеристике снижается расход топлива, однако при этом снижается надежность работы двигателя и, как следствие, повышаются затраты на его последующие ремонты. Поэтому было необходимо оценить влияние отклонения уровней мощности на параметры рабочего процесса, которые определяют экономичность и надежность работы тепловозного дизеля 10Д100М. Для проведения исследований была разработана математическая модель расчета рабочих процессов в дизелях, имеющая достаточную детализацию описания процессов, происходящих как в поршневой части, так и в агрегатах наддува. Адекватность модели проверялась сравнением расчетных и экспериментальных значений показателей работы дизеля, расхождение между которыми не превышало 3–6 %.

Расчет параметров рабочего процесса дизеля проводился для трех уровней мощностей по тепловым характеристикам – максимального, минимального, паспортного, которые были получены по данным эксплуатации.

Получено, что при повышении уровня мощности по тепловозной характеристике от минимального до максимального значений наблюдается рост давления наддувочного воздуха во всем скоростном диапазоне на 0,02 МПа и частоты вращения ротора турбокомпрессора на 100 рад/с. Удельный эффективный расход топлива при этом снижается на 3 г/кВт·ч а для низких частот вращения коленчатого вала – на 30–50 г/кВт·ч. Однако наряду со снижением удельного эффективного расхода наблюдается рост температуры газов перед турбиной, что говорит о повышении теплонапряженности дизеля. Коэффициент избытка воздуха для номинального режима при повышенном уровне мощности составляет 2,0, а для минимального уровня – 2,3. Для малых частот вращения коленчатого вала коэффициент избытка воздуха соответственно 3,5 и 4,5. Это приводит к существенному снижению индикаторного КПД, который составляет при минимальном уровне мощности для малых частот вращения коленчатого вала 0,4, в то время как для повышенного уровня мощности – 0,44.

В результате проведенных исследований разработаны рекомендации по выбору уровней мощности тепловозной характеристики для тепловозного дизель-генератора 10Д100М.

УДК 629.41

## ВЫБОР МЕТОДА НОРМИРОВАНИЯ РАСХОДА ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА МАГИСТРАЛЬНЫМИ ТЕПЛОВОЗАМИ И ЕГО ОЦЕНКА

*С. Я. ФРЕНКЕЛЬ*

*Белорусский государственный университет транспорта*

*В. И. ОЖИГИН*

*Белорусская железная дорога*

Количество топлива, израсходованного тепловозом на перемещение состава по участку, зависит от многих факторов. Среди них особо следует выделить эксплуатационные факторы, величина и характер которых изменяются в процессе осуществления перевозочного процесса, что определяет их влияние на расход топлива тепловозами. Эксплуатационные факторы, определяющие расход энергоресурсов на тягу поездов, можно разделить на две большие группы: *качественные и количественные*.

К *качественным* следует отнести факторы, которые нельзя или достаточно сложно измерить: например, машинист или локомотив, модифицированное топливо или система управления локомотивом.

К количественным относят такие факторы, как тонно-километровая работа, масса состава и средняя осевая нагрузка, техническая и участковая скорости движения и др.

Подход к исследованию влияния эксплуатационных факторов на расход энергоресурсов должен быть различным для каждой из названных групп.

В практике энергетических расчётов, связанных с движением поездов, находят всё более широкое применение статистические методы прогнозирования расхода топлива на тягу поездов, позволяющие количественно оценить влияние каждого случайного фактора, изменяющегося от поездки к поездке, на расход топлива. Сущность названного подхода состоит в определении корреляционных связей между значением расхода топлива и случайными значениями факторов, его определяющих в виде уравнения регрессии.

Исходными данными для составления уравнения регрессии служат данные о поездках из маршрутных листов.

После предварительного анализа эксплуатационных факторов, влияющих на расход топлива тепловозами, нами были определены уравнения регрессии, позволяющие с определенной вероятностью предсказывать расход дизельного топлива тепловозами.

Обработка данных о расходе топлива и построение регрессионных моделей выполнены с использованием пакета программ для статистической обработки данных STATGRAPHICS Plus for Windows и табличного процессора Microsoft Excel.

Очевидно, что полученные уравнения регрессии можно использовать для нормирования расхода топлива на поездку. При этом за норму принимается некоторая среднестатистическая поездка. Число поездок с перерасходом и с экономией топлива в этом случае оказывается примерно равным. Если, как это принято думать, на расход топлива существенное влияние оказывает машинист и техническое состояние локомотива, то по отклонению от нормы расхода топлива можно выявлять как лучших, так и худших. Объективность нормирования, а следовательно, и оценки качества работы машиниста и локомотива дает возможность реализации адресных эффективных решений, направленных на снижение расхода топлива. Однако значимость таких факторов, как локомотив и машинист требует доказательства. С задачей оценки значимости названных выше факторов тесно связан вопрос оценки способа нормирования расхода топлива на поездку. Как оценить, насколько объективна система нормирования, насколько она позволяет выявлять машинистов (локомотивы) экономящих или перерасходующих дизельное топливо? Для ответа на эти вопросы целесообразно воспользоваться аппаратом дисперсионного анализа. В качестве факторов, влияние которых на расход топлива предстоит определить, будем рассматривать машинистов либо локомотивы. Исследовать влияние каждого из названных факторов будем поочередно.

В соответствии с принятой терминологией в качестве исследуемого фактора можно принять расход топлива за поездку – полный, удельный или отклонение от нормы. Предпочтение следует отдать отклонению от нормы, поскольку в этом случае нейтрализуется влияние тех факторов, которые учитываются при расчёте нормы расхода топлива. Более того, при исследовании оценивается также эффективность нормирования. Номера локомотивов или табельные номера машинистов назовём обработками. Наблюдаемый отклик (численное значение отклонения фактического расхода топлива за поездку от нормы) на каждую из обработок представляет собой случайную величину. Сформулированная задача является задачей однофакторного дисперсионного анализа.

Для исследования приняты данные о 1744 поездках машинистов локомотивного депо Гомель в грузовом движении. Тепловозы серии 2ТЭ10У. Из рассматриваемого массива данных для исследования значимости фактора машинист выбраны данные о 704 поездках 22 машинистов. Не принимались в расчёт данные о поездках тех машинистов, которых в рассматриваемом массиве оказалось менее 32.

Результаты дисперсионного анализа данных по отклонению от нормы расхода топлива, определяемой по действующей до настоящего времени методике, показали, что гипотеза о том, что от конкретного машиниста (локомотива) не зависит отклонение фактического расхода топлива за поездку от нормы, подтверждается. Из этого следует, что либо действительно машинист или локомотив не является значимым фактором, либо используемая в исследовании система определения нормы расхода топлива на поездку не является объективной.

Для дальнейшего исследования в качестве нормы расхода топлива на поездку принят расход топлива, рассчитанный по регрессионной модели. В этом случае гипотеза о том, что от конкретного

машиниста не зависит отклонение фактического расхода топлива за поездку от нормы, не принимается. Такой вывод подтверждает целесообразность нормирования расхода топлива на поездку и стимулирования топливосбережения машинистами.

Исследование значимости влияния локомотива на расход топлива за поездку также позволяет сделать вывод о значимости фактора «локомотив», а также о том, что регрессионная модель значительно лучше учитывает особенности условий эксплуатации магистральных локомотивов. Причем, однажды составленная регрессионная модель расхода топлива остается пригодной для оценки квалификации машиниста и технического состояния локомотива на протяжении достаточно длительного периода (в рассмотренном нами случае более 4 лет).

Одновременно можно утверждать, что применяемая в настоящее время методика нормирования расхода топлива на поездку не позволяет адекватно оценивать ни квалификацию машиниста, ни техническое состояние локомотива, а следовательно, не выполняет свою основную функцию.

Результаты исследования для пассажирского движения практически не отличаются от приведенных выше результатов, полученных для грузового движения.

УДК 629.41

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСХОДА ТОПЛИВА МАГИСТРАЛЬНЫМИ ТЕПЛОВОЗАМИ

С. Я. ФРЕНКЕЛЬ, Б. С. ФРЕНКЕЛЬ

*Белорусский государственный университет транспорта*

Сохранность дизельного топлива, стоимость которого составляет значительную часть в эксплуатационных расходах локомотивного хозяйства, требует совершенной системы учета, исключающей неконтролируемое его использование. Для проведения исследований, направленных на совершенствование системы учета дизельного топлива в локомотивном депо, необходима информация о наличии топлива на складе и в баке каждого тепловоза в любой момент времени. Поскольку получить такую информацию в реальных условиях эксплуатации подвижного состава практически невозможно, возникла потребность в создании математической модели, воспроизводящей приход на склад, экипировку и расход дизельного топлива тепловозами. Наиболее сложной с точки зрения моделирования является формализация процесса расхода топлива магистральными тепловозами. На кафедре «Тепловозы и тепловые двигатели» БелГУТа нами разработана математическая модель расхода топлива магистральными тепловозами. Модель строится для локомотивного депо с произвольным числом и протяженностью тяговых плеч. При моделировании приняты следующие допущения:

- схема тяговых плеч имеет звездообразную форму, в центре которой находится основное депо, а на периферии – оборотные;
- парк магистральных тепловозов составляют тепловозы одной серии, например, 2ТЭ10У, как самые распространенные грузовые локомотивы на Белорусской железной дороге;
- заправка тепловозов дизельным топливом производится только в основном депо;
- любой локомотив, готовый к поездке, может с равной вероятностью уйти в поездку и остаться в депо;
- выбор тягового плеча, на которое отправляется очередной локомотив, совершается в соответствии с равномерным законом распределения, т. е. равновероятен, но может быть задана и различная вероятность выбора для отдельных плеч.

Математическая модель расхода топлива магистральными тепловозами построена как имитационная модель, основанная на событийном методе. Согласно этому методу в каждый момент времени любой тепловоз может находиться в одном из четырех состояний: простой в депо, в поездке, экипировка в основном депо, техническое обслуживание или ремонт (ТО-2, ТО-3, ТР-1, ТР-2, ТР-3 и КР-1).

Переход в каждое из этих состояний происходит при наступлении определенных событий. Из состояния простоя возможен переход в любое из вышеописанных состояний, в остальных случаях – только в состояние простоя.

Модель детерминирована по времени с шагом  $\Delta t$ . Этот шаг выбирается таким образом, чтобы он был гораздо меньше любого из периодов между техническими осмотрами или ремонтами.