

ЭКОНОМИЯ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ

УДК 629.4.082.25

Р. К. ГИЗАТУЛЛИН, доктор технических наук, Б. С. ФРЕНКЕЛЬ, магистр технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ИССЛЕДОВАНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ В СИСТЕМАХ УЧЁТА ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА

Приведён сравнительный анализ систем учёта дизельного топлива, использующих различные средства и методы измерений. По результатам модельных экспериментов даны рекомендации по применению систем учёта дизельного топлива с различной степенью автоматизации. Показана неэффективность измерительных систем с гидростатическим принципом для выполнения измерений в резервуарах баз топлива.

Не имея достоверной информации о «движении» дизельного топлива в локомотивном депо, расходе топлива тепловозами и прочими потребителями трудно организовать качественную работу топливного хозяйства, а также оценивать эффективность модернизации подвижного состава, внедрения тех или иных топливосберегающих решений.

В настоящее время нет чёткого определения понятия «достоверность измерительной информации», однако на практике оно используется достаточно широко. В то же время ряд авторов предлагает понимать под достоверностью измерительной информации качество информации о значениях измеряемых физических величин, отражающее близость результатов измерений к истинным значениям измеряемых величин [1, с. 8]. Придерживаясь этого подхода, здесь и далее оценку достоверности измерительной информации о массе дизельного топлива будем проводить качественно по внешнему виду гистограммы распределения и количественно по значениям математического ожидания и среднеквадратичного отклонения погрешности измерения.

В локомотивных депо используют системы измерения и учёта дизельного топлива с различной степенью автоматизации: от систем со стопроцентно ручными измерениями до полностью автоматизированных систем с элементами искусственного интеллекта. Оценить достоверность измерительной информации, предоставляемой такими системами на практике весьма затруднительно. Эксплуатационные испытания в данном случае требуют серьёзных финансовых и временных затрат и дают крайне мало необходимой информации. Поэтому целесообразно проводить исследования с использованием аппарата математического моделирования.

Для исследования достоверности измерительной информации в системах учёта дизельного топлива использованы математические модели движения дизельного топлива, работы магистральных тепловозов и измерительно-учётной системы, предложенные автором [2, 3]. Базой для проведения исследований служит информация о движении дизельного топлива от момента поступления его на базу топлива до выдачи потребителям, а также информации из маршрутных листов машиниста с истинными значениями массы и плотности ди-

зельного топлива, полученные путём моделирования. Сделаны допущения о том, что поездки совершаются одним тепловозом в грузовом движении и о том, что истинная плотность дизельного топлива на всех измерительных позициях одинакова и неизменна на протяжении всего эксперимента.

Сгенерирован массив данных, содержащий 500000 точек, в которых фиксировались значения массы и плотности дизельного топлива в резервуаре базы топлива и в топливном баке тепловоза через заданные промежутки модельного времени. В этих же точках фиксировалось количество дизельного топлива, отпускаемого на пункте экипировки и расходуемого тепловозом на тягу поездов. Шаг модельного времени принят равным 1 мин. В результате моделирования получено 2432 маршрутных листа (завершённых поездки). В реальном масштабе времени для условий ТЧ Витебск, выбранного в качестве базового, это соответствует примерно 22,5 месяцам работы.

Достоверность измерительной информации о количестве дизельного топлива в стационарных резервуарах. Оценку достоверности измерительной информации при определении массы дизельного топлива в резервуарах базы топлива проводили на основании выходных данных модели движения дизельного топлива (масса и плотность дизельного топлива в резервуаре базы топлива, фиксируемые ежеминутно).

Измерения массы дизельного топлива в резервуарах базы топлива выполняют косвенным методом, основываясь на прямых измерениях уровня заполнения и плотности топлива (объёмно-массовый метод) или гидростатического давления топлива на дно резервуара. При объёмно-массовом методе для определения объёма дизельного топлива в резервуаре используют градуировочные таблицы. Уровень заполнения резервуара топливом измеряют рулеткой с грузом или метрштоком, которые должны соответствовать требованиям ГОСТ 7502-98. Также могут применяться стационарные или переносные уровнемеры. Погрешность рулетки (метрштока), как правило, не превышает ± 2 мм для отрезка до 12 м. Такую же погрешность имеют и наиболее распространённые уровнемеры типа «Струна», которые в отличие от рулетки или метрштока можно применять в системах

с дополнительной обработкой измерительной информации (фильтрация, многократные измерения и т. п.). Такая обработка позволяет существенно повысить точность измерений.

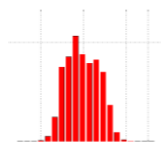
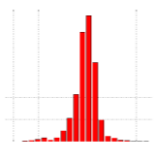
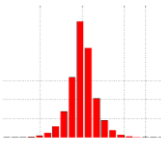
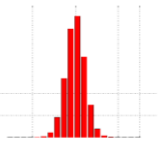
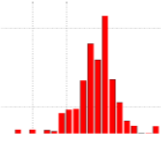
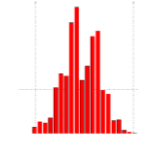
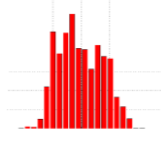
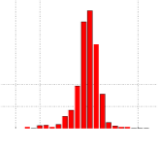
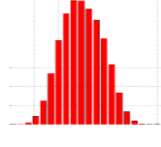
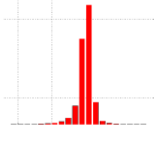
Плотность дизельного топлива определяют лабораторными ареометрами типа АН или АНТ-1 с максимальной погрешностью не более $\pm 0,5$ кг/м³. Согласно действующим на Белорусской железной дороге правилам, плотность дизельного топлива определяют в лаборатории локомотивного депо два (реже три) раза в сутки. Изменения плотности дизельного топлива в резервуаре между измерениями не учитываются. При ручных измерениях значение уровня заполнения резервуара округляют до 1 мм – величины, соответствующей шагу составления градуировочной таблицы. При использова-

нии уровнемеров типа «Струна» возможно применение линейной интерполяции градуировочных таблиц, что в некоторых случаях может повысить точность измерений.

Измерительные системы, основанные на гидростатическом принципе, в качестве первичного преобразователя используют датчик гидростатического давления, например, «Корунд», «Вега», LMP 308i и др.

Результаты оценки достоверности измерительной информации для массы дизельного топлива в резервуарах базы топлива приведены в таблице 1. Как видно из таблицы 1, наименьший разброс значений, а следовательно, и наибольшую достоверность информации, предоставляет система, включающая автоматический уровнемер типа «Струна» с погружным плотномером.

Таблица 1 – Результаты оценки достоверности измерений в резервуарах базы топлива

Средства и методы измерения	Математическое ожидание, кг (%)	Стандартное отклонение, кг (%)	Форма гистограммы распределения абсолютной погрешности	Форма гистограммы распределения относительной погрешности
1 Рулетка с грузом по ГОСТ 7502-98, ареометры типа АНТ-1 (два измерения в сутки), резервуар типа РВС3000	-38,6 (-0,01)	744,3 (0,09)		
2 Уровнемер типа «Струна» с плотномером, резервуар тот же. Система с многократными измерениями и линейной интерполяцией градуировочной таблицы резервуара	0,06 (~0)	62,5 (0,005)		
3 То же, что и по п. 2, но плотность по ареометру типа АНТ-1 (два измерения в сутки)	-141,3 (-0,01)	571,2 (0,04)		
4 То же, что и по п. 3, но с ручным пересчётом по градуировочным таблицам	-26,4 (-0,01)	757,9 (0,1)		
5 Резервуар типа РВС-3000, уровнемер типа «Струна», датчик гидростатического давления до 100 кПа ($\pm 0,5$ %). Система с многократными измерениями и линейной интерполяцией градуировочной таблицы резервуара	-53,4 (-0,02)	824,9 (0,1)		

Дополнительное снижение погрешности достигается за счёт использования многократных измерений и линейной интерполяции градуировочной таблицы (вариант 2, см. таблицу 1). Установлено, что наибольшую погрешность вносит система измерения плотности. При сравнении результатов экспериментов 1, 2 и 3 (см. таблицу 1) установлено, что в случае полной автоматизации измерения объёма и ручных измерениях плотности топлива разброс данных снижается незначительно, однако имеет место существенное смещение математического ожидания относительно нуля.

Измерительная система, основанная на гидростатическом принципе, показала наихудшие результаты. Так, даже при использовании многократных измерений и линейной интерполяции градуировочной таблицы достоверность данных о массе дизельного топлива оказывается ниже, чем в системе с полностью ручными измерениями (варианты 4 и 5, см. таблицу 1). При повторных проведениях экспериментов, результаты которых приведены в таблице 1, наблюдалась достаточная сходимость результатов. Это позволяет рекомендовать для использования на базах топлива измерительные систе-

мы с автоматическими уровнемерами и погружными плотномерами. С целью снижения единовременных капитальных вложений на первом этапе резервуары баз топлива могут быть оборудованы только стационарными погружными плотномерами, что уже существенно повысит достоверность предоставляемой системой измерительной информации.

Достоверность измерительной информации о количестве дизельного топлива, выдаваемого на пунктах экипировки. При измерении массы дизельного топлива, выдаваемого через раздаточные колонки, может быть использован прямой (массовые расходомеры) или косвенный (объёмные счётчики жидкости) метод измерений. Во втором случае необходимо измерять плотность выданного топлива. Значение плотности принимают по результатам измерений в резервуарах базы топлива, либо оборудуют колонки поточными плотномерами типа ПЛОТ-3. В качестве объёмных счётчиков жид-

кости, наиболее распространённых в локомотивных депо, используют датчики типа ППО-40, представляющие собой модифицированные счётчики ШЖУ-40С. Такие устройства выпускаются с классом точности 0,5 или 0,25 при номинальном расходе 18 м³/ч.

Поточные преобразователи плотности типа ПЛОТ-3 имеют класс точности 0,1 и диапазон измерений 420–1600 кг/м³. Различными производителями выпускается широкий спектр массовых расходомеров. Наиболее хорошо себя зарекомендовали расходомеры, работающие на принципе измерения сил Кориолиса и имеющие максимальную относительную погрешность 0,1 %. В качестве примера такого устройства можно привести датчик типа CMF100, эксплуатируемый на железных дорогах Германии уже более 10 лет [4].

Результаты исследований достоверности измерительной информации о массе дизельного топлива, выданного на пункте экипировки, приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты оценки достоверности измерений на пунктах экипировки

Средства и методы измерения	Математическое ожидание, кг (%)	Стандартное отклонение, кг (%)	Форма гистограммы распределения абсолютной погрешности	Форма гистограммы распределения относительной погрешности
1 Счётчики типа ППО-40, ареометры типа АНТ-1 (два измерения в сутки)	-1,3 (~0)	42,8 (0,01)		
2 То же что и по п.1, но с поточными преобразователями плотности типа ПЛОТ-3	3,9 (~0)	28,6 (~0)		
3 Массовые расходомеры типа CMF100	-0,2 (~0)	9,1 (~0)		

Анализ результатов экспериментов показывает, что наиболее предпочтительным является использование прямых методов измерений (вариант 3). Максимально возможная точность системы, оборудованной массовым расходомером, примерно в три раза выше по сравнению с системой, оборудованной объёмным счётчиком жидкости и поточным плотномером. Эксплуатация поточных плотномеров в локомотивных депо Брест и Минск показала, что при нарушении правил монтажа они могут вносить существенные искажения в результаты измерений.

Сравнение данных из таблиц 1 и 2 показывает, что даже применяемая на сегодня система измерений на пунктах экипировки (вариант 1, см. таблицу 2) обладает существенно большей достоверностью, нежели система измерений в резервуарах базы топлива. Следовательно, при поэтапной автоматизации системы измерения и учёта дизельного топлива раздаточные колонки могут быть автоматизированы на заключительном этапе.

Достоверность измерительной информации о количестве дизельного топлива в баке тепловоза. Основными потребителями дизельного топлива на железной дороге являются магистральные тепловозы. В частности, для локомотивного депо Гомель их доля в общем расходе дизельного топлива составляет около 58 %. При этом на долю грузовых тепловозов серий 2ТЭ10У(М) приходится примерно половина от этого количества. В частности, этим обусловлен выбор тепловоза для проведения исследований.

Измерения количества топлива в баке тепловоза выполняют косвенным методом. При помощи мерной рейки с ценой деления 50 л измеряют объём дизельного топлива, значение плотности принимают в соответствии с приказом начальника Дороги отдельно на весь зимний и весь летний периоды. Для повышения точности топливный бак тепловоза может быть оборудован датчиком температуры. В этом случае погрешность измерения плотности складывается из инструментальной погрешности самого термометра и погрешности метода расчёта плотности. Применимость такого метода ограничена

температурами 0–50 °С, а погрешность измерения плотности – по разным оценкам составляет 5–8 % [5, с. 76]. Другим способом измерения плотности в топливном баке тепловоза является использование погружного плотномера. Такие устройства имеют максимальную погрешность не более $\pm 1,5$ кг/м³ и широкий температурный диапазон.

Так же как и при выполнении измерений в стационарных резервуарах баз топлива, измерять уровень заполнения топливного бака можно при помощи автоматического уровнемера. Промышленностью выпускается широкий спектр подобных устройств, имеющих в основе различные принципы действия и погрешности измерения уровня до ± 1 мм. При использовании таких устройств, как и на базах топлива, целесообразно применять систему с многократными измерениями и линейной интерполяцией градуировочной таблицы топливного бака.

Широко применяют для измерения массы дизельно-

го топлива в баках тепловозов косвенный метод, основанный на гидростатическом принципе.

В этом случае некоторые авторы предлагают обходиться лишь датчиком гидростатического давления, принимая площадь поперечного сечения бака постоянной на некотором участке. Однако анализ информации о калибровке бака одного из тепловозов 2ТЭ10У в локомотивном депо Гомель показал, что по всей высоте практически не существует сколько-нибудь значительного участка, где бы площадь поперечного сечения топливного бака не менялась. Следовательно, систему с датчиком гидростатического давления целесообразно дополнить устройством измерения уровня, дополнительно отградуированным в единицах площади поперечного сечения.

Результаты оценки достоверности измерительной информации о массе дизельного топлива в топливном баке тепловоза, получаемой различными способами, приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты оценки достоверности измерений в топливных баках тепловозов

Средства и методы измерения	Математическое ожидание, кг (%)	Стандартное отклонение, кг (%)	Форма гистограммы распределения абсолютной погрешности	Форма гистограммы распределения относительной погрешности
1 Тепловоз 2ТЭ10У, мерная рейка, плотность по приказу Начальника дороги (дважды в год)	9,3 (0,15)	58,4 (1,01)		
2 То же, что и по п. 1, но с датчиком температуры дизельного топлива в баке	0,02 (~0)	30,7 (0,64)		
3 То же, что и по п. 1, но с погружным плотномером типа ДП.5	0,02 (~0)	29,2 (0,62)		
4 Тепловоз 2ТЭ10У, уровнемер типа ДУ-М.5, калибровочная таблица топливного бака с линейной интерполяцией, погружной плотномер типа ДП.5	~0 (~0)	4,4 (0,08)		
5 Датчик гидростатического давления до 10 кПа ($\pm 0,1$ %), форма бака не учитывается	-27,7 (0,18)	97,3 (1,93)		
6 То же, что и по п. 5, но с уровнемером, отградуированным в единицах площади поперечного сечения топливного бака, система с многократными измерениями	~0 (~0)	1,3 (0,03)		

При анализе результатов моделирования измерений установлено, что наиболее достоверную измерительную информацию предоставляют системы, оборудованные стационарным уровнемером и погружным датчиком плотности (вариант 3, см. таблицу 3), и системы, основанные на измерении гидростатического давления, учитывающие геометрию топливного бака тепловоза (вариант 6, см. таблицу 3). В то же время достоверность измерений, обеспечиваемых системой с датчиком гидростатического давления, не учитывающей изменение площади поперечного сечения бака по высоте, в два раза ниже, чем у системы с полностью ручными измерениями объёма измерения плотности (варианты 1, 5 и 6, см. таблицу 3). При оборудовании топливного бака тепловоза устройством измерения плотности дизельного топлива можно повысить достоверность измерительной информации о массе топлива примерно в два раза. В то же время при полной автоматизации измерений максимальная погрешность снижается более чем в 10, а в случае с датчиком гидростатического давления более чем в 40 раз. Кроме того установлено, что использование фиксированного значения плотности топлива смещает нулевую точку (вариант 1, см. таблицу 3), то есть вносит систематическую погрешность измерения, чего не происходит при использовании измерителя плотности топлива или в системе с датчиком гидростатического давления (исключая вариант, не учитывающий геометрию бака).

Исходя из вышесказанного, авторами рекомендованы к использованию системы измерения массы дизельного топлива в баках тепловозов, имеющие в своей основе косвенный метод измерений, основанный на гидростатическом принципе. Такие системы обязательно должны использовать градуировочную таблицу топливного бака с линейной интерполяцией.

Закключение. По результатам исследования достоверности измерительной информации в системах учёта дизельного топлива с различной степенью автоматизации сделаны следующие выводы:

1 При измерении массы дизельного топлива в резервуарах баз топлива целесообразно использовать метод косвенных измерений, основанный на прямых измерениях уровня заполнения резервуара и плотности дизельного топлива. При этом необходимо использовать многократные измерения уровня и плотности, а также

линейную интерполяцию градуировочной таблицы. В качестве измерителя уровня и плотности может быть использована система, например, типа «Струна». Применение на базах топлива измерительных систем, основанных на гидростатическом принципе нецелесообразно.

2 При измерении массы дизельного топлива, отпускаемого на пунктах экипировки, целесообразно использовать раздаточные колонки с массовыми расходомерами класса точности 0,1–0,2. Применение на пунктах экипировки систем с косвенными измерениями влечёт за собой большие расходы и дополнительные трудности, связанные с монтажом поточных преобразователей плотности.

3 Использование в расчётах оценочных значений плотности, не учитывающих реальные погодные условия, вносит дополнительную систематическую погрешность в измерения массы топлива.

4 Измерения массы дизельного топлива в баках тепловозов целесообразно выполнять при помощи систем, основанных на гидростатическом принципе, учитывающих геометрию топливного бака тепловоза.

5 С целью снижения капитальных вложений целесообразна последовательность автоматизации средств измерения: базы топлива, тепловозы, пункты экипировки.

Список литературы

- 1 **Чельцов, А. В.** Измерительные устройства для контроля качества нефтепродуктов : [монография] / А. В. Чельцов. – Л. : Химия, 1981. – 262 с.
- 2 **Френкель, Б. С.** Математическая модель движения дизельного топлива / Б. С. Френкель // Энергоэффективность. – 2010. – № 5 (151). – С. 21–23.
- 3 **Френкель, Б. С.** Моделирование измерительно-учётных операций в топливном хозяйстве локомотивного депо / Б. С. Френкель // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2007. – № 1–2 (14–15). – С. 133–136.
- 4 **Saúl, H.** Elektronische Zapfsäulen / H. Saúl // Eisenbahningenieur. – 1998. – Nr. 7. – S. 50–55.
- 5 **Белянин, Б. В.** Технический анализ нефтепродуктов и газа / Б. В. Белянин, В. Н. Эрих. – 3-е пер. и доп. изд. – Л. : Химия, 1975. – 336 с.

Получено 23.11.2011

R. K. Gizatullin, B. S. Frenkel. Researching of measuring information validity in the systems of diesel fuel accounting.

There are comparative analysis of diesel fuel accounting systems with varying devices and methods of measurement. According to the results of model experiments are given recommendations on the use of diesel fuel measuring systems with varying degrees of automation. Shows the inefficiency of measuring systems with hydrostatic principle for measurement in tanks of fuel stocks.