

УДК 629.4:621.311

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

## СНИЖЕНИЕ РАСХОДА ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ НА ТЯГУ Поездов – обоснование выбора направления исследований

Одним из путей топливо(энерго)сбережения в тяге поездов является научно обоснованное его стимулирование, которое имеет смысл и может оказаться эффективным только тогда, когда влияние машиниста на величину расхода топливно-энергетических ресурсов значимо. В работе оценка значимости влияния факторов «машинист» и «локомотив» на расход энергоресурсов в грузовом движении выполнена методами дисперсионного анализа. В качестве результирующего показателя принято отклонение фактического расхода топлива тепловозами от нормы. Исходная информация о выполненных в грузовом движении поездках принята для исследования из маршрутных листов четырех локомотивных депо. Результаты дисперсионного анализа показали значимость влияния машиниста и локомотива на расход топлива за поездку. Такой вывод дает основание для проведения работ, направленных на совершенствование системы нормирования расхода энергоресурсов в тяге поездов, на оптимизацию управления локомотивом при ведении поезда и на стимулирование топливо(энерго)сбережения как локомотивными бригадами, так и всеми причастными работниками локомотивного хозяйства.

**Р**асходы на топливо и электроэнергию, потребляемые на тягу поездов, являются наибольшей составляющей расходов локомотивного хозяйства. В связи с этим бесспорна актуальность проблемы снижения расхода топливно-энергетических ресурсов на тягу поездов.

Снижение расхода топливно-энергетических ресурсов на тягу поездов возможно как за счет совершенствования конструкции подвижного состава, так и в результате проведения организационно-технических мероприятий, к которым можно отнести следующие:

- стимулирование топливо(энерго)сбережения локомотивными бригадами и другими причастными работниками железнодорожного транспорта;

- совершенствование организации движения и формирования поездов;

- оптимизация ведения поезда, в том числе за счет внедрения устройств автоведения;

- повышение точности измерения и совершенствование учета количества топлива на объектах локомотивного хозяйства, позволяющее ограничить несанкционированный расход топлива.

Организация стимулирования топливо(энерго)сбережения имеет смысл в том случае, если:

- 1) качество ведения поезда машинистом и техническое состояние локомотива существенно влияют на количество энергоресурсов, расходуемых за поездку локомотивом;

- 2) имеется возможность объективной оценки работы локомотивной бригады по топливо(энерго)сбережению, по результатам которой организуется стимулирование.

Первое положение при кажущейся его очевидности требует, тем не менее, доказательства.

Обоснованное доказательство указывает на целесообразность стимулирования топливо(энерго)сбережения локомотивными бригадами. Поскольку стимулирование опирается на результаты выполнения нормы расхода энергоресурсов, обоснованными оказываются исследования, направленные на совершенствование методов нормирования расхода энергоресурсов на тягу поездов. В терминах математической статистики влияние качественных факторов «машинист» и «локомотив» на величину расхода энергоресурсов за поездку должно быть **значимым**.

На рисунке 1 приведены гистограммы распределения значений полного и удельного расхода дизельного топлива за поездку, а также отклонений расхода топлива за поездку от нормы [1].

Гистограммы распределения, приведенные на рисунке 1, показывают, что значения расхода топлива и отклонение от нормы расхода могут изменяться в широких пределах. Отклонение от нормы расхода может быть вызвано действиями машиниста, теплотехническим состоянием локомотива, а также причинами, не зависящими от машиниста или локомотива. Это могут быть факторы, не учитываемые при нормировании расхода топлива.

Для доказательства значимости факторов «машинист» и «локомотив» воспользуемся аппаратом дисперсионного анализа. Дисперсионный анализ может быть использован для выявления совместного влияния факторов, не поддающихся количественному измерению, на изучаемый показатель. Суть метода состоит в том, что общая вариация результирующего показателя расчленяется

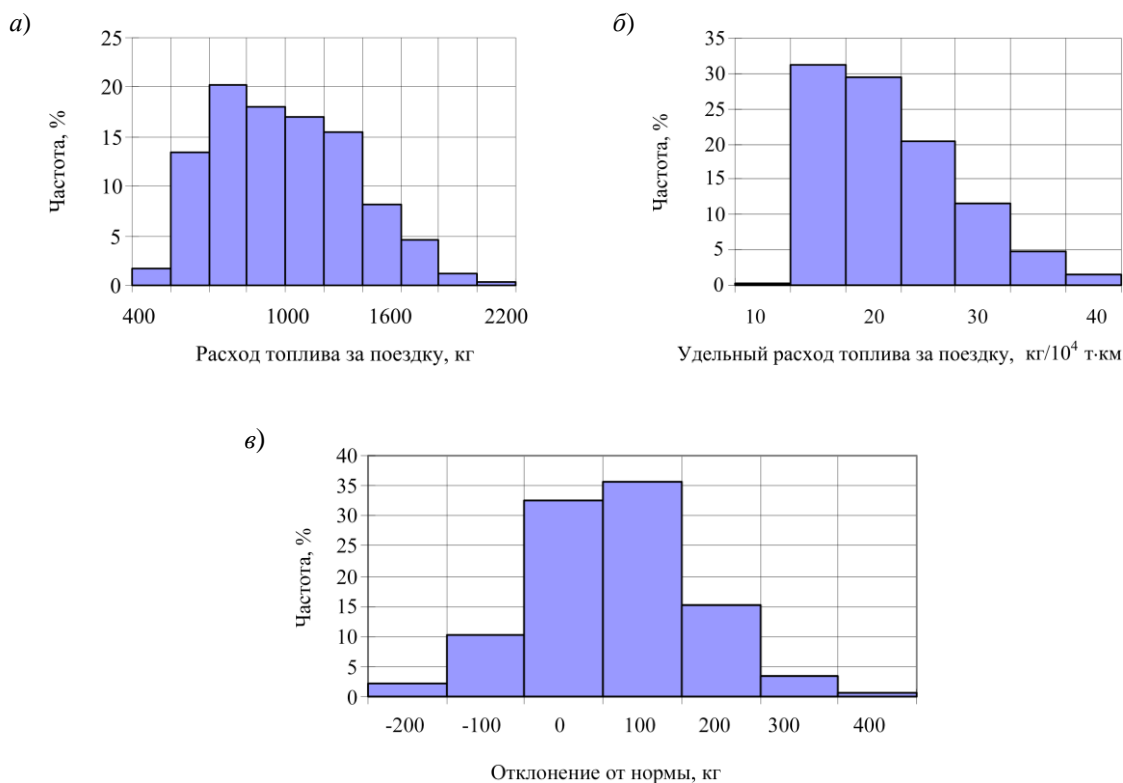


Рисунок 1 – Гистограммы распределения:  
 а – расход топлива за поездку; б – удельный расход топлива за поездку;  
 в – отклонение от нормы расхода топлива за поездку

на части, соответствующие раздельному и совместному влиянию различных качественных факторов, и остаточную вариацию, аккумулирующую влияние всех неучтённых факторов. Статистическое изучение этих частей позволяет делать выводы о том, действительно ли оказывает влияние на результирующий показатель тот или иной качественный фактор [2].

Исследовать влияние каждого из названных выше факторов будем поочередно. Для определенности рассмотрим поставленную задачу на примере тепловозной тяги в грузовом движении.

В соответствии с принятой в [2] терминологией в качестве результирующего показателя можно принять полный или удельный (на измеритель перевозочной работы) расход топлива за поездку, а можно – отклонение фактического расхода топлива за поездку от нормы. Предпочтение, по нашему мнению, следует отдать отклонению от нормы. В этом случае нейтрализуется влияние тех факторов, которые учитываются при расчёте нормы расхода топлива. Более того, при исследовании оценивается также эффективность методики нормирования, поскольку при несовершенной методике норма расхода не соответствует условиям поездки, а следовательно, факторы «машинист» и «локомотив», оцениваемые по их влиянию на выполнение нормы, заведомо окажутся незначимыми.

Поездки, выполненные одним локомотивом (машинистом), 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.

Опишем наблюдения линейной статистической моделью

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (1)$$

где  $y_{ij}$  – ( $ij$ )-е наблюдение;  $\mu$  – параметр, общий для всех обработок, представляющий собой математическое ожидание общего среднего;  $\tau_i$  – параметр, характеризующий  $i$ -ю обработку, называемый эффектом  $i$ -й обработки;  $\varepsilon_{ij}$  – случайная ошибка.

Целью исследования является проверка соответствующей гипотезы относительно эффектов обработок и оценка этих эффектов. При проверке гипотез ошибки модели считаются независимо распределёнными нормальными переменными с нулевым средним и дисперсией  $\sigma^2$ , причём эта дисперсия одна и та же для всех уровней факторов. Такая модель соответствует однофакторному дисперсионному анализу.

Исследуемые обработки в рассматриваемом нами случае являются случайной выборкой из боль-

шой совокупности обработок. Предполагается распространить выводы, основанные на выборке, на все обработки в совокупности, независимо от того, исследовались они или нет. Выполняя исследование, мы должны проверить гипотезу об изменчивости  $\tau_i$  и попытаться оценить эту изменчивость. Такая модель носит название модели случайных эффектов или модели компонентов дисперсии. Иначе говоря, мы должны проверить гипотезу  $H_0$  о том, что исследуемый качественный фактор не влияет на результирующий признак (в рассматриваемом случае проверяем гипотезу о том, что от конкретного машиниста (локомотива) не зависит отклонение фактического расхода топлива за поездку от нормы).

Проверка гипотезы состоит в следующем. Берётся случайная выборка, по которой находится значение некоторой статистики, и принимается решение, отклонить или принять гипотезу  $H_0$ .

При проверке гипотезы задаются уровнем значимости критерия. Для проверки гипотезы в дисперсионном анализе предлагается следующий статистический критерий:

если верно условие

$$F \leq F_\alpha(I-1, n-1), \quad (2)$$

где  $F$  – вычисленное по результатам наблюдений дисперсионное отношение,  $F_\alpha$  – табличное значение, найденное по распределению Фишера для выбранного уровня значимости  $\alpha$  при соответствующих степенях свободы  $I-1$  и  $n-1$ , то гипотеза принимается, в противном случае – отвергается.

Таблица 1 – Результаты дисперсионного анализа

Депо приписки локомотивных бригад	Количество машинистов (количество маршрутных листов)	Количество локомотивов (количество маршрутных листов)	Машинисты		Локомотивы	
			$F$	$F_\alpha$	$F$	$F_\alpha$
Брянск-2	81 (3936)	39 (3888)	3,612	1,277	4,115	1,408
Молодечно	77 (7436)	88 (7436)	4,039	1,283	1,922	1,264
Гомель	73 (9254)	53 (9798)	2,123	1,290	1,588	1,344
Витебск	91 (13383)	61 (11930)	5,472	1,258	2,527	1,319

В соответствии с положениями дисперсионного анализа гипотеза о том, что исследуемый качественный фактор не является значимым (нулевая гипотеза), отклоняется, если  $F > F_\alpha$ . Следовательно, результаты вычислений, приведенные в таблице 1, позволяют отклонить предположение о том, что «машинист» или «локомотив» не оказывает значимое влияние на отклонение фактического расхода топлива за поездку от нормы.

Опыт работы машинистов-инструкторов, многочисленные публикации различных авторов, а

Если гипотеза  $H_0$  отвергнута, то принимается решение, что изучаемый качественный фактор влияет на результирующий признак [2].

В основе дисперсионного анализа лежат допущения: эффекты обработок аддитивны, а ошибки эксперимента представляют собой независимые, нормальные случайные величины с одинаковыми дисперсиями. Однако никогда нельзя быть полностью уверенным в том, что эти допущения справедливы. Более того, часто есть все основания считать, что они не выполняются. Следствия отклонений от допущений, принятых в дисперсионном анализе, проверялись многими авторами, в частности Бартлеттом (Bartlett M.S.), Кокреном (Cochran W.G.), Эйзенхардтом (Eisenhardt C.) и Боксом (Box G. E. P.). У Кокрена и Кокса [2] отмечается, что строгое выполнение допущений, принятых в дисперсионном анализе, не столь существенно, т. е. небольшими отклонениями от этих допущений можно пренебрегать. Эти авторы утверждают, что отклонения от принятых допущений влияют как на уровень значимости, так и на мощность статистических критериев. Например, если экспериментатор полагает, что уровень значимости используемого критерия составляет 5 %, то фактически он может быть равным 7 или 8 %.

Для исследования приняты данные из маршрутных листов машинистов четырех локомотивных депо для грузового движения за различные периоды времени. Результаты вычислений приведены в таблице 1.

также рекомендации, приведенные в литературе [2], позволяют интерпретировать приведенный выше вывод так, что **факторы «машинист» или «локомотив» оказывают значимое влияние на отклонение фактического расхода топлива за поездку от нормы.**

Таким образом, есть основания считать целесообразным проведение исследований, направленных на совершенствование методов нормирования расхода энергоресурсов на поездку, стимулировать топливо(энерго)сбережение локомотивными бригадами и другими причастными работниками

железнодорожного транспорта, оптимизировать ведение поезда, в том числе за счет внедрения устройств автоведения.

#### Список литературы

1 **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. – ISBN 5-7641-0131-X.

2 **Монтгомери, Д. К.** Планирование эксперимента и анализ данных / Д. К. Монтгомери. – Л. : Судостроение, 1980. – 384 с.

Получено 29.11.2009

**S. Y. Frenkel.** Decrease in the expense of fuel and energy resources on draught of trains a substantiation of a choice of a direction of researches.

One of ways fuel (energy) savings in draught of trains is competent, its scientifically proved stimulation. But stimulation fuel (energy) savings in draught of trains makes sense also it can appear effective only if influence of the machinist on expense size power - fuel resources significantly. In work the estimation of the importance of influence of factors "machinist" and "locomotive" on the expense of power resources in cargo movement is executed by methods of the dispersive analysis. In quality result indicator the deviation of the actual expense of fuel diesel locomotives from norm is accepted. The initial information on the trips executed in cargo movement is accepted for research from routing sheets of four locomotive depots. Results of the dispersive analysis have shown the importance of influence of the machinist and the locomotive on the fuel expense for a trip. Such conclusion gives the basis for the work, directed on perfection of system of rationing of the expense of power resources in draught of trains, on optimisation of management by the locomotive at conducting a train and on stimulation fuel (energy) savings both locomotive brigades, and all involved workers of a locomotive economy.