

## Моделирование процессов расхода топлива в двигателях внутреннего сгорания

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»*

**Постановка проблемы.** Рост цен на нефтепродукты и газ коренным образом меняет отношение потребителей к таким ресурсам, как топливо. Его стоимость составляет значительную часть расходов промышленных, транспортных, сельскохозяйственных предприятий и городских служб. Поэтому моделирование и оптимизация процессов расхода топлива в двигателях внутреннего сгорания (ДВС) является актуальной проблемой.

**Анализ последних достижений и публикаций.** Известные математические модели процессов расхода топлива в ДВС имеют ряд недостатков:

- сложность модели [1], обусловленная наличием многих факторов, в том числе и конструктивных;
- наличие только двух факторов в уравнении регрессии [2] для расчета расхода газа городским автобусом на перегоне от одной технологической остановки до следующей – времени  $t_{\text{инт}}$  прохождения интервала между двумя технологическими остановками и среднего значения сигнала TPS датчика открытия дроссельной заслонки. В уравнении не учтен ряд других важных факторов, кроме того, оно не позволяет определить расход бензина при использовании его в качестве топлива.

**Цель статьи.** Для исследования влияния отдельных факторов на процесс расхода топлива в ДВС, повышения точности измерения указанного параметра, оптимизации режимов работы ДВС необходимо решить следующие задачи:

- получить на основе методов планирования эксперимента полиномиальные математические модели процессов расхода топлива в различных режимах работы ДВС;
- исследовать на основе интерпретации коэффициенты математических моделей влияния отдельных параметров процесса на расход топлива;
- выдать рекомендации, направленные на оптимальное расходование топлива при работе ДВС.

### Основные материалы исследования

Исследования проводили на следующих режимах работы двигателя: “холостой” ход, движение автомобиля ВАЗ–2106 на первой передаче, нормальный режим работы, режим работы двигателя на четвертой передаче.

При этом в качестве критерия оптимизации рассматривали расход топлива  $q$  в миллилитрах. Факторами, которые влияют на этот показатель, были выбраны:  $x_1$  – количество  $n$  оборотов двигателя в минуту, об/мин;  $x_2$  – температура  $T$  двигателя, °С. В качестве топлива поочередно использовали бензин и газ.

В режиме “холостого” хода измеряли расход топлива за промежуток времени, равный одной минуте. Эксперимент проводили по плану, приведенному в табл. 1. При этом четыре строки плана эксперимента соответствуют следующим режимам работы двигателя:

- 1) низкие обороты (1000об/мин) при неразогретом двигателе (50°C);
- 2) высокие обороты (3000об/мин) при неразогретом двигателе (50°C);
- 3) низкие обороты (1000об/мин) при разогретом двигателе (90°C);
- 4) высокие обороты (3000об/мин) при разогретом двигателе (90°C).

Таблица 1 – План и результаты эксперимента в режиме “холостого” хода

№п/п	$x_1$	$x_2$	q(бензин)	q(газ)
1	-1	-1	20	23
2	+1	-1	45	50
3	-1	+1	15	18
4	+1	+1	40	45

Движение автомобиля проходило на одном и том же участке дороги длиной в один километр, скорость движения  $V$  контролировали по спидометру, а пройденное расстояние – контрольными метками. Эксперимент на первой передаче движения автомобиля был проведен по плану, представленному в табл. 2. При этом четыре строки плана эксперимента соответствуют следующим режимам работы двигателя:

- 1) низкие обороты (1000об/мин) при неразогретом двигателе (50°C),  $V=15\text{км/ч}$ ;
- 2) высокие обороты (3000об/мин) при неразогретом двигателе (50°C),  $V=30\text{км/ч}$ ;
- 3) низкие обороты (1000об/мин) при разогретом двигателе (90°C),  $V=15\text{км/ч}$ ;
- 4) высокие обороты (3000об/мин) при разогретом двигателе (90°C),  $V=30\text{км/ч}$ .

Таблица 2 – План и результаты эксперимента при движении автомобиля на первой передаче

№п/п	$x_1$	$x_2$	q(бензин)	q(газ)
1	-1	-1	200	230
2	+1	-1	210	240
3	-1	+1	130	150
4	+1	+1	180	205

При нормальных режимах работы двигателя(3-я, 4-я передачи) эксперимент проводили по следующему плану (табл.3):

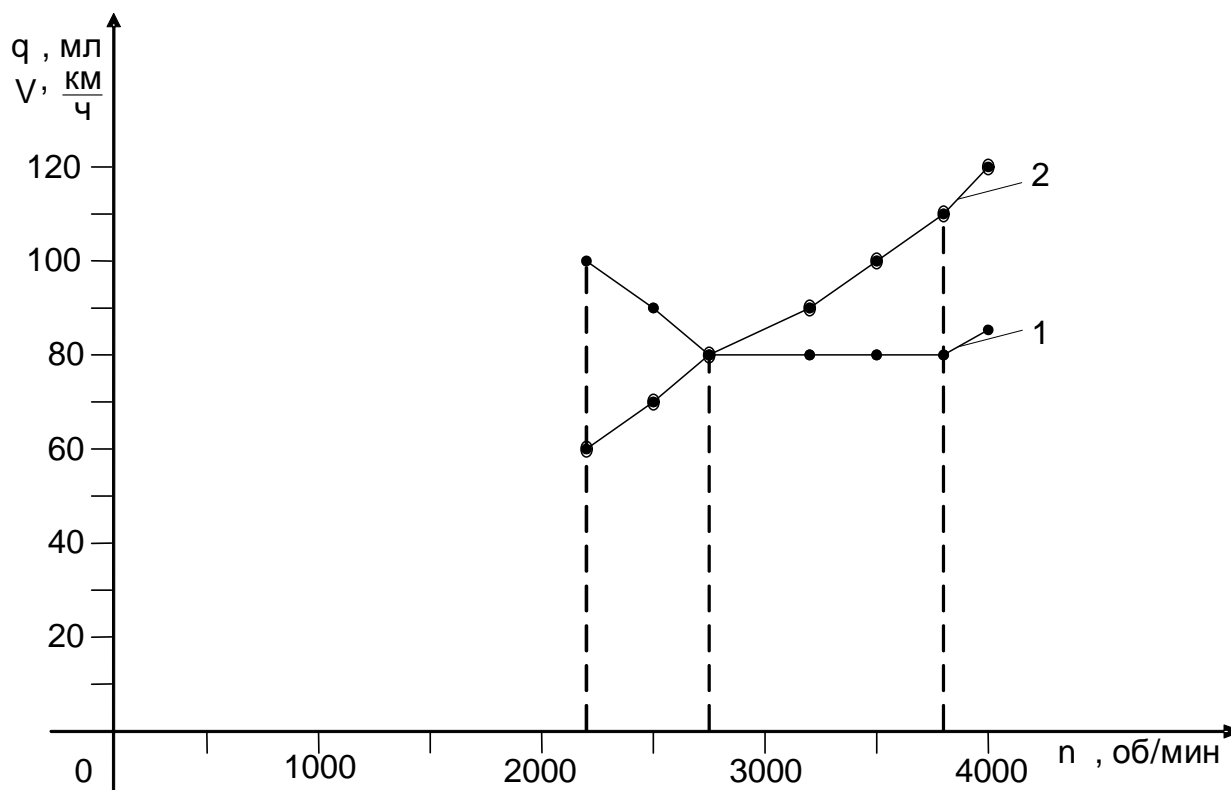
Таблица 3 – План и результаты эксперимента при нормальных режимах работы

№п/п	$x_1$	$x_2$	q(бензин)	q(газ)
1	-1	-1	105	120
2	+1	-1	90	100
3	-1	+1	100	115
4	+1	+1	80	90

При этом четыре строки плана эксперимента соответствуют следующим режимам работы двигателя:

- 1) низкие обороты (2000об/мин) при неразогретом двигателе (50°C),  $V=55\text{км/ч}$ ;
- 2) высокие обороты (4000об/мин) при неразогретом двигателе (50°C),  $V=110\text{км/ч}$ ;
- 3) низкие обороты (2000об/мин) при разогретом двигателе (90°C),  $V=55\text{км/ч}$ ;
- 4) высокие обороты (4000об/мин) при разогретом двигателе (90°C),  $V=110\text{км/ч}$ .

При движении автомобиля ВАЗ–2106 на четвертой передаче был проведен однофакторный эксперимент, по результатам которого построены графики зависимостей  $q=f(n)$  и  $V=f(n)$ , показанные на рисунке. Температура двигателя при этом была постоянной:  $T=90^\circ\text{C}$ .



Графики зависимостей: 1 –  $q=f(n)$ ; 2 –  $V=f(n)$

При обработке результатов полных факторных экспериментов (см. табл. 1, 2, 3) с использованием пакета прикладных программ по автоматизации планирования эксперимента [3] для различных режимов получены статические модели, которые описывают зависимость расхода топлива в ДВС от таких параметров, как количество оборотов  $n$  и температура  $T$  двигателя:

а) для кодированных значений факторов  $q=b_0+b_1x_1+b_2x_2+b_{12}x_1x_2$ ;

б) для натуральных значений факторов  $q=b_0+b_1n+b_2T+b_{12}nT$ .

Значения коэффициентов математических моделей приведены в табл. 4.

Таблица 4 – Значения коэффициентов математических моделей для расхода топлива в ДВС

Обозначения режимов и коэффициентов	Для кодированных значений факторов $x_1, x_2$		Для натуральных значений факторов $n, T$	
	Вид топлива		Вид топлива	
	Бензин	Газ	Бензин	Газ
Режим 1	Режим "холостого" хода			
$b_0$	30	34	13,75	15,75
$b_1$	12,5	13,5	0,0125	0,0135
$b_2$	-2,5	-2,5	-0,125	-0,125
$b_{12}$	-	-	-	-
Режим 2	Работа на первой передаче			
$b_0$	180	206,25	307,5	353,125
$b_1$	15	16,25	0,02	-0,023125
$b_2$	-25	-28,75	-2,25	-2,5625
$b_{12}$	10	11,25	0,0005	0,0005625
Режим 3	Нормальный режим			
$b_0$	93,75	106,25	356,25	140,0
$b_1$	-8,75	-11,25	-0,083125	-0,006875
$b_2$	-3,75	-3,75	-3,375	-
$b_{12}$	21,25	-1,25	0,0010625	-0,0000625

## Выводы

В результате проведенных исследований и интерпретации коэффициентов математических моделей можно сделать следующие выводы:

1. В режимах “холостого” хода и при движении автомобиля на первой передаче с увеличением количества оборотов  $n$  двигателя возрастает расход  $q$  топлива (бензин, газ), а с увеличением температуры  $T$  двигателя расход уменьшается. Во втором режиме одновременное увеличение  $n$  и  $T$  приводит к возрастанию параметра  $q$ . Причем наиболее существенным фактором в режиме 1 является количество оборотов  $n$ , а во втором – температура двигателя  $T$ .

2. При нормальном режиме работы двигателя (режим 3) характерным является уменьшение расхода топлива  $q$  при увеличении количества оборотов  $n$  и температуры  $T$  двигателя. Причем одновременное повышение температуры и количества оборотов двигателя при использовании бензина приводит к возрастанию расхода, а для газа – к его уменьшению. При этом наиболее существенным фактором является количество оборотов двигателя.

3. Минимальный расход топлива в режимах 1 и 2 наблюдается при низких оборотах (1000об/мин) и разогретом двигателе (90°C), а в режиме 3 – при высоких оборотах (4000об/мин) и разогретом двигателе (90°C), скорость движения автомобиля при этом равняется 110км/ч. При одинаковом пробеге автомобиля расход газа больше, чем расход бензина.

4. При движении автомобиля на четвертой передаче минимальным будет расход топлива в диапазоне скоростей от 80 до 110км/ч, при этом количество оборотов двигателя  $n$  находится в диапазоне от 2750 до 3800об/мин.

5. Математические модели для натуральных значений фактором  $q=f(n, T)$  можно использовать для определения расхода топлива ДВС [4], замеряя количество оборотов  $n$  и температуру  $T$  двигателя.

## Список литературы

1. Дизели: Справочник / под общей редакцией В.А. Ваншейдта, Н.Н. Иванченко, Л.К. Коллерова. – Л.: Машиностроение, 1977. – 480 с.
2. Бушуев П.В. Разработка методики нормирования расхода компримированного природного газа городскими автобусами, оснащенными электронной системой управления двигателем: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М.: МАДИ, 2007. – 21с.
3. Кошевой Н.Д. Разработка программного обеспечения по автоматизации планирования эксперимента // Авиационно-космическая техника и технология. Труды Харьк. авиац. и-та им. Н.Е. Жуковского за 1997г. – Харьков: ХАИ, 1998. – С.242-244.
4. Патент 15311 Україна, МПК(2006) G01F1/00. Витратомір палива / М.Д. Кошовий, В.П. Сіроклін, В.А. Дергачов, М.Ю. Іванцов (Україна). – №U200600393; Заявл.16.01.2006; Опубл.15.06.2006, Бюл. №6. – 2с.