

ОПТИМАЛЬНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ РАСХОДА ТОПЛИВА В ДВИГАТЕЛЯХ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Н.Д. Кошевой, профессор, НАКУ «ХАИ», Е.М. Костенко, доцент, Полтавская государственная аграрная академия, В.П. Сироклынь, ассистент, НАКУ «ХАИ»

Аннотация. Показана эффективность оптимального по стоимостным затратам планирования эксперимента при исследовании процессов расхода топлива в двигателях внутреннего сгорания. Синтезированы математические модели этих процессов в различных режимах работы двигателя.

Ключевые слова: эффективность, планирование эксперимента, оптимальный, стоимость, двигатель, топливо, режим.

ОПТИМАЛЬНЕ ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТІВ ПРИ МОДЕЛЮВАННІ ВИТРАТИ ПАЛИВА В ДВИГУНАХ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ

М.Д. Кошовий, професор, НАКУ «ХАИ», О.М. Костенко, доцент, Полтавська державна аграрна академія, В.П. Сіроклін, асистент, НАКУ «ХАИ»

Анотація. Показана ефективність оптимального за вартісними витратами планування експерименту при дослідженні процесів витрати палива в двигунах внутрішнього згорання. Синтезовані математичні моделі цих процесів для різних режимів роботи двигуна.

Ключові слова: ефективність, планування експерименту, оптимальний, вартість, двигун, паливо, режим.

OPTIMUM PLANNING OF EXPERIMENTS AT MODELING FUEL CONSUMPTION IN INTERNAL COMBUSTION ENGINES

N. Koshevoy, professor, NAKU "KhAI", O. Kostenko, associate professor, Poltava state agrarian academy, V. Siroklyn, assistant, NAKU "KhAI"

Abstract. The efficiency of optimum experiments planning by cost expenses at studying the processes of fuel consumption internal combustion engines is shown. The mathematical models of these processes in different state of engine working are synthesized.

Key words: efficiency, experimental design, optimal, cost, engine, fuel, mode.

Введение

Рост цен на нефтепродукты и газ коренным образом меняет отношение потребителей к таким ресурсам как топливо. Его стоимость составляет значительную часть расходов промышленных, сельскохозяйственных предприятий и городских служб. Поэтому моде-

лирование и оптимизация процессов расхода топлива в двигателях внутреннего сгорания (ДВС) являются актуальной проблемой.

Анализ публикаций

Известные математические модели процессов расхода топлива имеют ряд недостатков:

сложность модели [1], обусловленная наличием многих факторов; модели [2] применяются только для определенного типа транспорта и определенного вида топлива; полиномиальные математические модели [3] получены при реализации полных факторных экспериментов (ПФЭ) без учета стоимости их реализации.

Цель и постановка задачи

Целью статьи является повышение эффективности экспериментальных исследований, направленных на получение математических моделей процессов расхода топлива в ДВС. Поэтому необходимо синтезировать оптимальные по стоимостным затратам планы эксперимента для проведения указанных исследований.

Основные результаты исследований

Исследования проводили на следующих режимах работы двигателя: «холостой» ход, движение автомобиля ВАЗ-2106 на первой передаче и нормальный режим работы двигателя. При этом в качестве критерия оптимизации рассматривали расход топлива q в миллиметрах. 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. Начальный план эксперимента приведен в табл. 1.

Таблица 1 Начальный и оптимальный планы эксперимента

Начальный план			Оптимальный план		
№ п/п	x_1	x_2	№ п/п	x_1	x_2
1	-1	-1	1	-1	-1
2	+1	-1	2	+1	-1
3	-1	+1	4	+1	+1
4	+1	+1	3	-1	+1

При этом четыре строки плана эксперимента соответствуют следующим режимам работы (режим 1 и 2):

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

Для режима 3 низкие обороты равны 2000 об/мин, а высокие – 4000 об/мин.

Проведем оптимизацию начального плана ПФЭ по критерию суммарной стоимости реализации эксперимента. Стоимости изменений значений уровней факторов приведены в табл. 2.

Таблица 2 Стоимости изменений значений уровней факторов

Обозначения режимов, вида топлива и факторов	Стоимости изменения значений уровней			
	из «0» в «-1», усл. ед.	из «0» в «+1», усл. ед.	из «-1» в «+1», усл. ед.	из «+1» в «-1», усл. ед.
Режим 1	Режим «холостого» хода			
Вид топлива	Бензин			
x_1	0,16	0,48	0,32	0,16
x_2	0,28	0,42	0,22	0,48
Вид топлива	Газ			
x_1	0,17	0,47	0,33	0,15
x_2	0,27	0,41	0,20	0,47
Режим 2	Работа на первой передаче			
Вид топлива	Бензин			
x_1	0,22	0,56	0,38	0,19
x_2	0,61	0,80	0,46	0,56
Вид топлива	Газ			
x_1	0,21	0,51	0,35	0,18
x_2	0,45	0,61	0,34	0,52
Режим 3	Нормальный режим			
Вид топлива	Бензин			
x_1	0,39	0,71	0,30	0,15
x_2	0,61	0,80	0,38	0,50
Вид топлива	Газ			
x_1	0,35	0,68	0,27	0,14
x_2	0,45	0,61	0,28	0,46

С помощью пакета прикладных программ синтезирован оптимальный по стоимости реализации план эксперимента (см. табл. 1), полученный в результате выполнения перестановок строк начальной матрицы планирования (проанализировано 24 варианта). При этом стоимости начальных, оптимальных и планов с максимальной стоимостью, а также выигрыши в стоимости реализации эксперимента приведены в табл. 3 и табл. 4.

При проведении эксперимента по оптимальному плану в режиме «холостого» хода измеряли расход топлива за промежутки времени, равный одной минуте.

Таблица 3 Стоимости реализации планов эксперимента

Режим и вид топлива	Стоимость начального плана $ST_{нач}$, усл. ед.	Стоимость оптимального плана $ST_{опт}$, усл. ед.	Максимальная стоимость ST_{max} , усл. ед.
Режим 1	Режим «холодого» хода		
Бензин	1,464	1,14	2,56
Газ	1,45	1,12	2,50
Режим 2	Работа на первой передаче		
Бензин	2,24	1,86	3,51
Газ	1,88	1,53	3,03
Режим 3	Нормальный режим		
Бензин	2,13	1,83	3,34
Газ	1,76	1,49	2,90

Таблица 4 Выигрыши по сравнению с начальным планом и планом с максимальной стоимостью

Режим и вид топлива	Выигрыш	
	$\frac{ST_{нач}}{ST_{опт}}$	$\frac{ST_{max}}{ST_{опт}}$
Режим 1	Режим «холодого» хода	
Бензин	1,3	2,2
Газ	1,3	2,2
Режим 2	Работа на первой передаче	
Бензин	1,2	1,9
Газ	1,2	2,0
Режим 3	Нормальный режим	
Бензин	1,2	1,8
Газ	1,2	1,9

Для режимов 2 и 3 движение автомобиля проходило на одном и том же участке дороги длиной в один километр, скорость движения контролировали по спидометру, а пройденное расстояние – контрольными метками. Скорости движения для режима 2 равны 15 км/ч при $n = 1000$ об/мин и 30 км/ч при $n = 3000$ об/мин, а для режима 3 – 55 км/ч при $n = 2000$ об/мин и 110 км/ч при $n = 4000$ об/мин.

При обработке результатов полных факторных экспериментов с использованием пакета прикладных программ по автоматизации планирования эксперимента [4] 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

$$q = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2;$$

в) для натуральных значений факторов

$$q = b_0 + b_1n + b_2T + b_{12}nT.$$

Значения коэффициентов математических моделей приведены в табл. 5.

Таблица 5 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 «холодого» 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	-0,02313
b_2	-25	-28,75	-2,25	-2,5625
b_{12}	10	11,25	0,0005	0,000563
Режим 3	Нормальный режим			
b_0	93,75	106,25	356,25	140,0
b_1	-8,75	-11,25	-0,083125	-0,00688
b_2	-3,75	-3,75	-3,375	-
b_{12}	21,25	-1,25	0,001063	-0,00006

В результате проведенных исследований и интерпретации коэффициентов математических моделей можно выдать следующие рекомендации по оптимизации процессов расхода топлива в ДВС:

1. В режимах «холодого» 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 (1000 об/мин) и разогретом двигателе (90 °С), а в режиме 3 – при высоких оборотах (4000 об/мин) и разогретом двигателе (90 °С), скорость движения автомобиля при этом равняется 110 км/ч.

Выводы

1. На примере исследования процессов расхода топлива в двигателях внутреннего сгорания показана эффективность оптимального по стоимостным затратам планирования эксперимента.

2. В результате интерпретации коэффициентов математических моделей $q = f(x_1, x_2)$ для кодированных значений факторов можно выдать рекомендации по уменьшению расходов топлива в ДВС.

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

Литература

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: 05.22.10. – М.: МАДИ, 2007. – 21 с.

3. Кошевой Н.Д., Сироклин В.П. Моделирование расхода топлива в двигателях внутреннего сгорания // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. Сб. научн. трудов. – Харьков: ХАИ, 2008. – Вып. 38. – С. 100–104.

4. 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 1997 г. – Харьков: ХАИ, 1998. – С. 242–244.

5. Патент 15311 Україна, МПК (2006) G01F1/00. Витратомір палива / М.Д. Кошовий, В.П. Сіроклин, В.А. Дергачов, М.Ю. Іванцов (Україна). – №U200600393; Заявл. 16.01.2006; Опубл. 15.06.2006. Бюл. №6. – 2 с.

Рецензент: Ф.И. Абрамчук, профессор, д.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 27 июля 2009 г.