

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРЕПАДА ДАВЛЕНИЯ НА ФОРСУНКЕ КЕРОСИНА С РАЗЛИЧНОЙ КОНЦЕНТРАЦИЕЙ ДОБАВКИ ПОЛИИЗОБУТИЛЕНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА РЕГРЕССИОННОГО АНАЛИЗА

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет):
Александр Иванович Коломенцев, доцент, профессор кафедры "Ракетные двигатели", к.т.н.
Алексей Николаевич Хохлов, аспирант, м.н.с. кафедры "Ракетные двигатели"
Виталий Петрович Ташев, аспирант кафедры "Ракетные двигатели"

Одним из перспективных направлений повышения энергетической эффективности жидкостного ракетного двигателя (ЖРД) является применение добавки полиизобутилена (ПИБ) к компоненту топлива. При использовании ПИБ коэффициент полезного действия (КПД) турбонасосного агрегата (ТНА) возрастает до 10 %. Полиизобутилен доступен и дешев. Процентная добавка к топливу составляет около 0,05 %. Цель работы – определить перепад давления на форсунке с различной концентрацией добавки ПИБ с использованием метода регрессионного анализа.
One of perspective directions of raise of power efficiency LRE is application of additive polyisobutylene (PIB) to a fuel component. At use PIB, efficiency turbopump assembly increases to 10 %. Polyisobutylene is accessible and low-cost. The percentage additive to fuel makes around 0.05 %. The study purpose – to define a differential pressure on the injector with various concentration of additive PIB with use regression the analysis method.

Ключевые слова: полиизобутилен, ЖРД МТ, регрессионный анализ.
Keywords: polyisobutylene, LRE of small thrust, regression analysis.

При добавлении в керосин добавки полиизобутилена (ПИБ) пограничный слой турбулентного потока уменьшается. Это явление называется эффектом Томса [1].

Работы проводятся на стенде кафедры 202 МАИ для испытаний ЖРД МТ и его элементов [2]. В качестве объекта исследования использован двигатель тягой 500 Н, работающий на компонентах высококонцентрированная перекись водорода (ВПВ)+керосин, с центральной керосиновой шнекоцентробежной форсункой.

Раствор керосина с добавкой ПИБ готовился посредством разбавления более концентрированного раствора. Были приготовлены растворы с добавкой 0,01 %, 0,05 % и 0,1 %. Система подачи на стенде является вытеснительной. Вытеснение керосина осуществляется газообразным азотом. Расход компонента измеряется кориолисовым датчиком расхода с точностью измерений 0,5 %. Давление подачи измеряется тензOMETрическим датчиком с точностью 0,5 %. Для заправки керосина с различной концентрацией добавки между опытами осуществлялась промывка магистрали чистым компонентом. Остаточная концентрация измерялась фотокориметром.

Фактором называется измеряемая переменная величина, принимающая в некоторый момент времени определенное значение. При планировании эксперимента факторы должны быть управляемыми.

При определении расхода компонента необходимо знать, от каких факторов он зависит:

$$\dot{m} = (A, p_k, \Delta p, C). \tag{1}$$

Из этой зависимости видно, что входными факторами являются:

A - геометрическая характеристика форсунки. В данной работе она не меняется, т.к. используется одна и та же форсунка;

p_k - противодавление за форсункой. При проведении "холодных" испытаний, противодавление равно давлению окружающей среды, поэтому это также несущественный фактор;

Δp - перепад давления на форсунке;

C - массовая концентрация ПИБ в керосине.

Массовый расход через форсунку и перепад давления на форсунке связаны пропорционально:

$$\dot{m} = \mu F_c \sqrt{2\rho \Delta p}, \tag{2}$$

где μ - коэффициент расхода форсунки, F_c - проходное сечение сопла форсунки; ρ - плотность жидкости (меняется в очень малых пределах).

Как видно из формулы (2), массовый расход зависит от коэффициента расхода. В то же время, μ зависит от C, следовательно, коэффициент расхода является зависимым фактором, и он не учитывается при планировании испытаний.

Остается два существенных и независимых фактора: \dot{m} и C, влияющих на Δp .

Исходя из рекомендуемых значений концентрации C [3] и номинального расхода через форсунку двигателя, выберем уровни варьирования каждого фактора (табл. 1).

Таблица 1

Входной фактор	Уровни варьирования		
	Нижний (минимальный)	Основной (номинальный)	Верхний (максимальный)
\dot{m} , г/с	16	23	30
C, %	0	0,05	0,1

Входные факторы будем рассматривать в безразмерном виде:

$$\bar{x}_i = (x_i - x_{i,ном}) / \Delta x_i, \tag{3}$$

где Δx_i - интервал варьирования; x_i ($i = 1, 2$) $\in \dot{m}$, C.

Обычно выбирается полиномиальная модель.

В работе выбран полный факторный эксперимент (ПФЭ) типа 2^k , позволяющий построить уравнение регрессии второго порядка. Число опытов для двух факторов определяется по следующей формуле:

$$N = 3^2 = 9. \tag{4}$$

Уравнение регрессии будет выглядеть следующим образом:

$$\Delta p = b_0 + b_1 \dot{m} + b_2 C + b_{11} \dot{m}^2 + b_{22} C^2 + b_{12} \dot{m} C. \tag{5}$$

Матрица планирования представлена в табл. 2.

Была проведена статистическая обработка результатов испытаний. По критерию Фишера было проверено требование по воспроизводимости и стационарности. Были рассчитаны и проверены на значимость по критерию Стьюдента коэффициенты регрессии. При рассчитанном доверительном интервале $\Delta b = 0,5$ атм значимыми коэффициентами регрессии являются b_0 , b_1 , b_{11} и b_2 .

Окончательно уравнение регрессии имеет следующий вид:

$$\Delta p = 6,670 + 4,208 \dot{m} + 0,627 \dot{m}^2 - 0,545 C \tag{6}$$

Регрессионная модель проверена на адекватность по критерию Фишера по десяти контрольным опытам, в качестве которых выбраны опыты № 1, 6, 8, 15, 3, 9, 4, 13, 14, 18. Она адекватна в рассмотренном факторном пространстве.

Таблица 2

Случайный порядок опытов	m		C		Δp_i , атм	$\Delta p_{i,ср}$, атм
	Код	Значение, г/с	Код	Значение, %		
1	+	30	+	0,1	10,65	10,6
6					10,54	
8					2,30	2,28
15	-	16	+	0,1	2,26	
3					3,79	3,77
9	-	16	-	0	3,75	
4					12,38	12,30
13	+	30	-	0	12,20	
2					11,50	11,45
12	+	30	0	0,05	11,39	
10					6,50	6,46
16	0	23	+	0,1	6,41	
5					3,07	3,05
7	-	16	0	0,05	3,03	
11					7,07	7,03
17	0	23	-	0	6,98	
14					6,63	6,6
18	0	23	0	0,05	6,56	

По результатам испытаний построена адекватная регрессионная модель для двухфакторного эксперимента. На рис. 1 приведено сравнение модели с результатами эксперимента. Анализ результатов показал, что с увеличением добавки полиизобутилена в керосин перепад давления на форсунке уменьшается.

Литература

1. V.D. Gaponov, V.K. Chvanov, I.N. Borovik and others. The Investigation of Influence Polyisobutilen Additions to Kerosene at the Efficiency of Combustion. Heat Analysis and Thermodynamic Effects, Edited by Amimul Ahsan, Intech, 2011.

2. Воробьев А. Г., Боровик И. Н., Хохлов А. Н. и др. Модернизация испытательного огневого стенда для исследования рабочих процессов в жидкостных ракетных двигателях малых тяг на экологически чистых компонентах топлива. Вестник МАИ, Т. 14, №1, 2010 г.

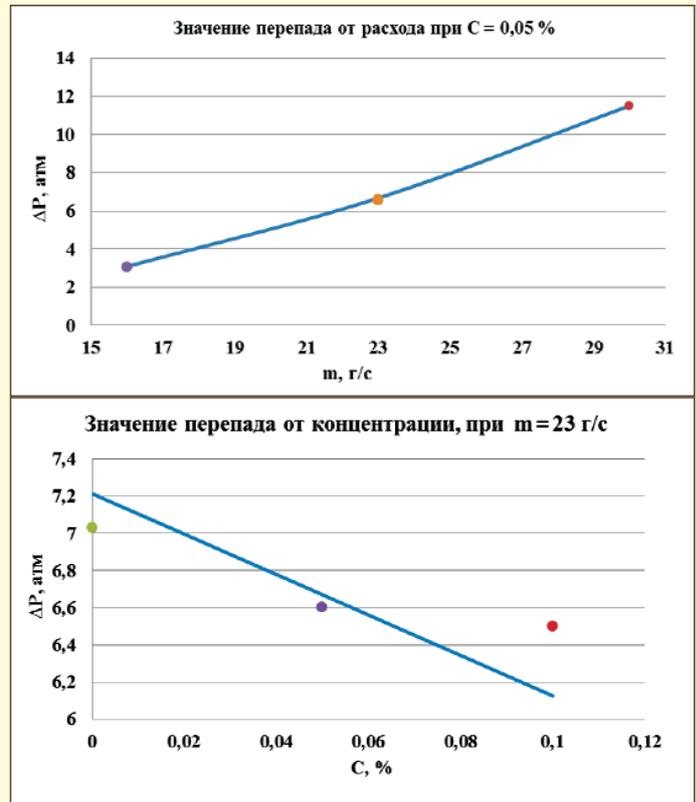


Рис. 1. Значение перепада давления от массового расхода и концентрации добавки в керосине: — уравнение регрессии (б), о - экспериментальные данные

3. В.Д. Гапонов, Ю.И. Каналин, И.А. Клепиков, Л.Е. Стернин. Улучшение работы ЖРД при введении высокомолекулярных полимеров в компоненты топлива. Труды НПО Энергомаш. М., 2000 №18.

Связь с автором: a.i.kolomentsev@yandex.ru

ХII МЕЖДУНАРОДНЫЙ ПРОМЫШЛЕННЫЙ ФОРУМ – 2013

МЕЖДУНАРОДНЫЕ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ ВЫСТАВКИ И КОНФЕРЕНЦИИ

19 - 22 НОЯБРЯ



Генеральные информационные партнеры:



Технический партнер:



ОРГАНИЗАТОР
Международный выставочный центр
ПРИ ПОДДЕРЖКЕ:
Государственного агентства Украины по управлению государственными корпоративными правами и имуществом Украинской Национальной Компании "Укрстанкоинструмент"



Международный выставочный центр
Украина, 02660, Киев
Броварской пр-т, 15
М "Левобережная"
☎ (044) 201-11-65, 201-11-56
e-mail: lilia@iec-expo.com.ua
www.iec-expo.com.ua
www.tech-expo.com.ua