

**ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НА ЭВМ  
ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОМАССОБМЕНА В КАМЕРЕ  
ОХЛАЖДЕНИЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ГАЗОВ  
РАСПЫЛЕННОЙ ВОДОЙ**

Лозинский Р.Я.

(Львовский институт пожарной безопасности МЧС Украины)

*Определены эмпирические зависимости основных параметров процесса охлаждения выхлопных газов турбореактивного двигателя установки АГВТ-100 распыленной водой в камере.*

***параметров процесса охлаждения, выхлопные газы, турбореактивный двигатель, установки АГВТ-100***

**Введение.** В результате ранее выполненных теоретических исследований было установлено [1, 2], что при заданных габаритах камеры охлаждения, производительности и напоре турбореактивного двигателя установки парогазовую смесь невозможно охладить ниже некоторого предельного значения температуры за счет повышения расхода охлаждающей воды. Это обусловлено тем, что с увеличением расхода воды растут потери давления в камере охлаждения, что может привести к запиранию, когда потери давления превышают располагаемый напор установки.

Для установления взаимосвязи параметров процесса охлаждения в виде, удобном для оперативных инженерных расчетов, было проведено имитационное моделирование на ЭВМ с моделью реальной системы, а не с самой системой. Эмпирические зависимости по результатам имитационного моделирования строились методом минимума максимального расхождения между точками эксперимента и аппроксимирующим полиномом. Проверка сходимости осуществлялась по критерию Чебышева, поэтому точки эксперимента выбирались не на границах, а внутри области аппроксимации, при этом шаг варьирования рассчитывался по формуле [3]

$$\Delta x_i = 0,86 \cdot \left( \frac{x_{i\max} - x_{i\min}}{2} \right), \quad (1)$$

где  $x_{i\max}$ ,  $x_{i\min}$  – значения факторов на границах области аппроксима-

ции.

Аппроксимирующая модель была представлена в виде полинома второй степени. С учетом этого независимые факторы варьировались на трех уровнях.

Для получения полиномиальной модели использовалось D-оптимальное планирование [4]. Значения независимых переменных в точках эксперимента представлены в табл. 1, а матрица плана – в табл. 2.

Таблица 1

Значения независимых переменных в точках эксперимента

Символ фактора	Наименование фактора	Размерность	Нижний уровень (-1)	Центр плана (0)	Верхний уровень (+1)	Шаг варьирования
$x_1$	Расход газа $G_T$ (скорость газа)	кг/с (м/с)	10 (250)	15 (348)	20 (430)	5
$x_2$	Расход охлаждающей воды, $G_{ж}$	кг/с	10	14	18	4
$x_3$	Давление на входе в камеру охлаждения, P	МПа	0,125	0,135	0,145	0,01

Таблица 2

Матрица плана эксперимента

Символ фактора	Номер эксперимента									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Уровень варьирования фактора									
$x_1$	-1	+1	+1	+1	+1	-1	1-	-	-1	-1
$x_2$	+1	-1	+1	-1	+1	1-	-1	1-	-1	1-
$x_3$	1-	-1	+1	+1	-1	-1	-1	1-	-	+1

Для получения полиномиальной модели разработанная математическая модель процесса охлаждения, была реализована на ЭВМ. Проведено 10 вариантов расчетов, в которых значения независимых переменных варьировались согласно матрице плана.

Критерием для проверки адекватности аппроксимирующего полинома исходной математической модели была выбран допустимая погрешность  $\delta_{доп}$  для исследуемого параметра [3].

Аппроксимирующий полином считается статистически адекватным исходной теоретической модели, если расхождение в точках плана не

превосходит по абсолютной величине  $\delta_{\text{доп}}$ .

Были приняты следующие значения допустимых погрешностей:

– погрешность определения потерь давления  $\delta_{\Delta p} = 0,0015$  МПа;

– погрешность определения температуры парогазовой смеси  $\delta_T = 25$  К.

После отсева статистически незначимых факторов аппроксимирующие полиномы имеют следующий вид:

$$\Delta P_{\text{кор}} = 0,654 \cdot 10^{-4} G_{\Gamma}^2 - 0,291 \cdot 10^{-3} G_{\text{ж}}^2 + 0,845 \cdot 10^{-2} G_{\text{ж}} - 0,0272 - 0,2P; \quad (2)$$

$$T_{\Gamma P} = 2,21 \cdot G_{\Gamma}^2 + 2,81 \cdot G_{\text{ж}}^2 - 2,69 \cdot G_{\Gamma} G_{\text{ж}} - 72,2 \cdot G_{\text{ж}} + 1058. \quad (3)$$

Полученные по формулам (2) и (3) значения параметров и абсолютные отклонения их от результатов расчета по имитационной математической модели представлены в табл. 3.

Таблица 3  
Результаты расчета параметров по имитационной модели и аппроксимирующим полиномам

Номер эксперимента	$\Delta P_{\text{ко}}$ , МПа (модель)	$\Delta P_{\text{к.о.р}}$ МПа (полином)	$ \Delta P_{\text{ко}} - \Delta P_{\text{к.о.р}} $ , МПа	$P - \Delta P_{\text{ко}}$ , МПа	$T_p$ , К (модель)	$T_{\Gamma P}$ , К (полином)	$ T_{\Gamma P} - T_p $
1	0,006	0,0069	0,0009	0,129	420	405	15
2	0,029	0,028	0,001	0,096	960	962	2
3	0,0285	0,030	0,0015	0,115	576	582	16
4	0,015	0,024	0,001	0,120	574	583	9
5	0,032	0,031	0,001	0,094	418	440	22
6	0,013	0,013	0,0	0,111	698	708	10
7	0,018	0,017	0,001	0,108	541	529	12
8	0,020	0,021	0,001	0,114	588	567	21
9	0,006	0,0065	0,0005	0,128	420	441	21
10	0,010	0,011	0,001	0,134	960	962	2

Таким образом, полученные аппроксимирующие полиномы (2) и (3) позволяют оперативно без применения ЭВМ рассчитать (зная расходы газа, охлаждающей жидкости и напор турбореактивного двигателя установки АГВТ-100) потери давления в камере охлаждения и темпера-

туру парогазовой смеси на выходе из нее.

Критериями правильности выбора режима работы являются

$$\begin{cases} P > P_{\text{вент.тр}} + \Delta P_{\text{ко}}; \\ T_{\text{г}} < T_{\text{пред}}, \end{cases}$$

где  $P_{\text{вент.тр}}$  – противодействие со стороны вентиляционного трубопровода, по которому парогазовая смесь подается на очаг пожара,  $P_{\text{а}}$ ;  $T_{\text{пред}}$  – предельно допустимая температура парогазовой смеси на выходе из камеры охлаждения,  $K$ .

**Выводы.** Первый критерий (4) определяет необходимый напор для преодоления сопротивления в камере охлаждения и вентиляционных трубах, по которым парогазовая смесь подается на очаг горения на аварийном объекте (включая возможную тепловую депрессию со стороны очага).

Второй критерий (5) определяет максимально допустимую температуру парогазовой смеси на выходе из камеры охлаждения для предотвращения возгорания или тепловой деструкции элементов вентиляционного става, по которому парогазовая смесь подается на очаг горения.

Применение аппроксимирующих полиномов (2), (3) ограничено областью значений исходных параметров, для которой они получены: геометрией камеры охлаждения, принятой системой подвода воды и значениями расходов газа, охлаждающей жидкости и напора установки.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Лозинский Р.Я. Стационарные процессы взаимодействия газовых и водяных струй в камере охлаждения // *Збірник наукових праць Севастопольського військово-морського інституту ім. П.С. Нахімова*. – Севастополь: СВМІ. – 2004. – № 2 (5). – С. 183 – 186.
2. Исследование процессов охлаждения и влагонасыщения высокотемпературных газовых струй в ограниченных каналах / Лозинский Р.Я., Зинченко И.Н., Мамаев В.В., Ковалишин В.В. // *Науковий вісник УкрНДІПБ*. – К.: УкрНДІПБ. – 2003. – № 2 (8). – С. 22 – 27.
3. Филаретов Г.Ф. О так называемом планировании расчетов // *Тезисы докладов IV Всесоюзной конференции по планированию и автоматизации эксперимента в научных исследованиях Ч. I*. – М., 1973. – С. 66 – 69.
4. *Таблицы планов эксперимента для факторных и полиномиальных моделей*. – М.: Металлургия, 1982. – 346 с.

Поступила 10.02.2005

**Рецензент:** доктор технических наук, профессор И.Г. Черванев,

