

УДК 621.45.044

Ф. А. ГИЗАТУЛЛИН, Д. Р. ГАЗИЗОВ

К РАСЧЕТУ ВРЕМЕНИ ЗАДЕРЖКИ ВОСПЛАМЕНЕНИЯ СМЕСИ В УСТРОЙСТВАХ ГОРЕНИЯ С ЭЛЕКТРОИСКРОВОЙ СТАБИЛИЗАЦИЕЙ ПЛАМЕНИ

Анализируется подход к расчету времени задержки воспламенения смеси в устройствах горения с электроискровой стабилизацией пламени. На основе моделирования получено выражение для расчета времени задержки воспламенения смеси в функции скорости потока, скорости горения и периода следования импульсов зажигания. С применением результатов экспериментов оценено влияние энергии разрядов в свече и частоты следования разрядов на время задержки воспламенения в условиях постоянства потребляемой системой зажигания мощности. *Электроискровая стабилизация пламени; время задержки воспламенения; скорость потока смеси; скорость горения; частота следования разрядов*

Эффективность камер сгорания и пусковых воспламенителей ГТД определяется соответствующими пусковыми характеристиками или диапазонами воспламенения горючей смеси. Пусковая характеристика представляет собой область устойчивого воспламенения смеси с помощью системы зажигания, например, в координатах V_k – скорость воздуха на входе в камеру сгорания или пусковой воспламенитель, α – коэффициент избытка воздуха. Кроме диапазонов воспламенения свойства камер сгорания и воспламенителей определяются диапазонами горения в тех же координатах, которые определяются после отключения зажигания. Во всех камерах сгорания диапазон горения превышает диапазон воспламенения, критерий запуска, представляющий собой отношение площади диапазона воспламенения к площади диапазона горения, меньше единицы. Величина площади диапазона воспламенения характеризует эффективность применяемой системы зажигания, чем ближе граница области воспламенения к границе области горения, тем эффективнее процесс воспламенения смеси.

В пусковых воспламенителях ГТД в отличие от камер сгорания критерий запуска может превышать единицу [1]. Это означает, что при составе и расходе смеси, соответствующих площади между диапазонами горения и воспламенения, поддержание устойчивого фронта пламени происходит за счет подвода энергии от системы зажигания, т. е. стабилизация пламени является электроискровой, осуществляемой за

счет постоянного функционирования системы зажигания, выключение зажигания приводит к погасанию пламени.

Эффективность системы зажигания и совершенство пусковых качеств камер сгорания и воспламенителей могут оцениваться не только по соответствующим пусковым характеристикам, но и с помощью других показателей, в частности по времени задержки воспламенения смеси после включения зажигания.

В статье решается задача определения времени задержки воспламенения смеси и выявления способов минимизации времени задержки воспламенения на основе моделирования процесса электроискровой стабилизации пламени, имеющей место в некоторых пусковых воспламенителях ГТД.

Для решения поставленной задачи рассмотрим идеальную физическую модель процесса электроискровой стабилизации пламени в следующем виде. Имеется прямой канал, через который протекает однородный поток смеси со скоростью V (рис. 1). В начале канала расположен источник зажигания, инициирующий образование в смеси начального ядра пламени с радиусом R . Образующиеся от периодически следующих с частотой f искровых разрядов ядра пламени движутся со скоростью V , их радиус увеличивается со скоростью горения U , которая считается постоянной. За время задержки воспламенения смеси примем промежуток времени от момента возникновения первого искрового разряда до момента слияния двух последующих ядер пламени в пределах длины канала. При такой динамике развития процесса

воспламенения можно считать, что в канале осуществляется электроискровая стабилизация пламени и на срезе канала существует устойчивый фронт горения.

Важно подчеркнуть, что электроискровая стабилизация пламени характерна не только для пусковых воспламенителей, такой тип стабилизации пламени может существовать и в камерах сгорания в период времени запуска ГТД в высотных условиях [2]. С подъемом на высоту в камерах сгорания меняется положение границы циркуляционной зоны и свеча зажигания в пристеночной области камеры сгорания оказывается в зоне высоких прямых скоростей потока.

В этом случае реализуется описанная модель развития процесса воспламенения до момента соприкосновения наибольшего ядра пламени с границей циркуляционной зоны, когда вступает в силу традиционная для камер сгорания аэродинамическая стабилизация пламени за счет обратных потоков в циркуляционной зоне.

Составим математическую модель процесса воспламенения смеси с учетом обозначений, представленных на рис. 1, для определения времени задержки воспламенения.

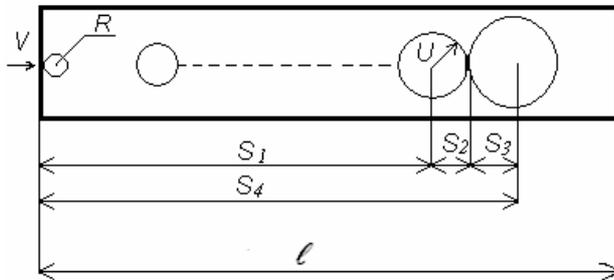


Рис. 1. Процесс электроискровой стабилизации пламени

$$S_1 = Vt; \quad (1)$$

$$S_2 = Ut + R; \quad (2)$$

$$S_3 = U(t+T) + R; \quad (3)$$

$$S_4 = V(t+T). \quad (4)$$

где $T = 1/f$ – период следования импульсов зажигания.

Время, по истечении которого происходит слияние границ отдельных ядер пламени (время задержки воспламенения), можно найти из условия (рис. 1):

$$S_1 + S_2 = S_4 - S_3. \quad (5)$$

Подставляя (1), (2), (3), (4) в (5), получим:

$$t = \frac{T(V-U) - 2R}{2U}. \quad (6)$$

Очевидно, что слияние ядер пламени должно происходить в пределах длины канала l , то есть должно выполняться условие:

$$S_1 + S_2 \leq l. \quad (7)$$

Подставив (1) и (2) в (7) и с учетом выражения для времени задержки воспламенения (6), после преобразования получим:

$$\frac{T(V^2 - U^2)}{2U} - \frac{R(V+U)}{U} \leq l - R. \quad (8)$$

Если пренебречь радиусом начального ядра пламени R , создаваемого искровым разрядом в свече, по сравнению с длиной канала l , условие (8) преобразуется к виду:

$$f \geq \frac{V^2 - U}{2U} \cdot \frac{2}{l}. \quad (9)$$

Условие (9) совпадает с условием электроискровой стабилизации пламени, полученном в [3].

Анализ (6) показывает, что время задержки воспламенения смеси минимизируется при увеличении радиуса начального ядра пламени, создаваемого искровым разрядом, и увеличении частоты следования разрядных импульсов. Радиус начального ядра пламени определяется энергетическим потенциалом искрового разряда; примем в первом приближении, что величина R пропорциональна энергии разрядов.

Применительно к емкостным системам зажигания, в основе которых лежит разряд предварительно заряженного конденсатора через коммутирующий разрядник на свечу, потребляемая мощность определяется выражением:

$$P = \frac{W_0 f}{\eta}, \quad (10)$$

где $W_0 = \frac{CU_0^2}{2}$ – энергия накопительного конденсатора; η – коэффициент, учитывающий потери в зарядной цепи; C – емкость накопительного конденсатора; U_0 – напряжение заряда накопительного конденсатора.

Таким образом, с учетом принятого выше допущения при постоянстве потребляемой системой зажигания мощности радиус начального ядра пламени R и частота следования разрядов f обратно пропорциональны.

Данное обстоятельство дает возможность решать задачу определения оптимального соотношения между накопленной энергией W_0 и частотой следования разрядов f с точки зре-

ния минимизации времени задержки воспламенения, определяемого выражением (6).

Соотношения между параметрами R и f в условиях постоянства мощности системы зажигания определялись экспериментально. Схема экспериментального стенда показана на рис. 2.

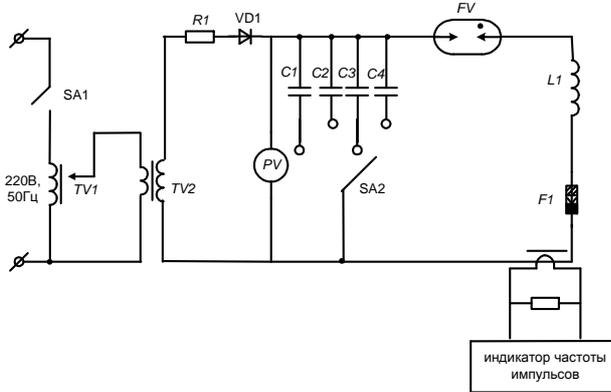


Рис. 2. Схема экспериментального стенда

В основе стенда – макет емкостной системы зажигания с переменными параметрами. Изменение накопленной энергии осуществлялось за счет варьирования емкости накопительных конденсаторов при постоянстве напряжения заряда конденсаторов, фиксируемых киловольтметром. Подстройка частоты следования разрядных импульсов для поддержания постоянства потребляемой мощности по соотношению (10) проводилась изменением напряжения на первичной обмотке высоковольтного трансформатора. Для имитации реальных условий в пусковых воспламенителях в искровой зазор полупроводниковой свечи подавалось дозированное количество авиационного керосина ТС-1 перед каждым включением макета системы зажигания. Радиус ядра пламени, образованного искровым разрядом, фиксировался фотографически при соотношениях между параметрами W_0 и f , показанных в таблице.

Соотношения между параметрами W_0 и f при зафиксированных значениях R

R , мм	f , имп/с	W_0 , Дж
11	6,75	0,605
12,5	3,28	1,21
13,3	2,25	1,815
15	1,75	2,42
17	1,12	3,63
21	0,83	4,84
26,7	0,68	6,05
36,9	0,58	6,55

В этой же таблице представлены зафиксированные значения R .

На рис. 3 показаны рассчитанные по формуле (6) значения времени задержки воспламенения, соотнесенные с изменением параметра W_0 согласно таблице.

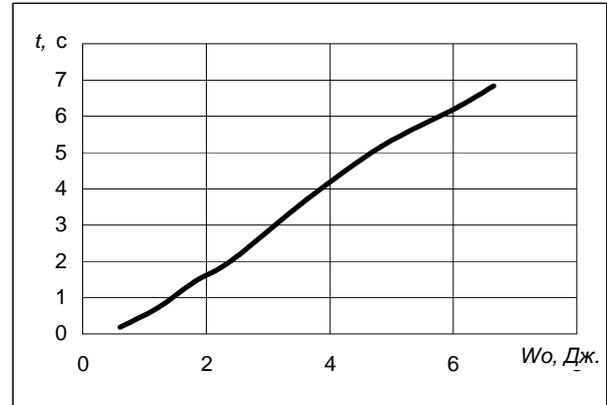


Рис. 3. Зависимость времени задержки воспламенения смеси от величины накопленной энергии

Таким образом, результаты моделирования показывают, что с точки зрения минимизации времени задержки воспламенения смеси при электроискровой стабилизации пламени, возможной в пусковых воспламенителях ГТД и в камерах сгорания в условиях высотного запуска двигателей, целесообразно увеличивать частоту следования разрядов в свечах при соответствующем снижении уровня накопленной энергии. Этот результат в качественном плане согласуется с данными о влиянии частоты следования разрядов в свечах на воспламеняющую способность емкостных систем зажигания, оцениваемую по конечному результату воспламенения смеси в камерах сгорания и пусковых воспламенителях [1, 4].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гизатуллин Ф. А. Емкостные системы зажигания. Уфа, 2002. 249 с.
2. Гизатуллин Ф. А. Методология определения параметров систем зажигания для ГТД с различными условиями воспламенения смеси // Вестник УГАТУ. 2005. № 2. С. 68–71.
3. Вахитов Р. Ш. Системы запуска авиационных газотурбинных двигателей: Учеб. пособие. Уфа: УАИ, 1977. 120 с.
4. Лефевр А. Процессы в камерах сгорания ГТД. М.: Мир, 1986. 566 с.

ОБ АВТОРАХ



Гизатуллин Фарит Абдулганеевич, проф., зав. каф. электрооборуд. ЛА и наземн. транспорта. Дипл. инж.-электромех. (УАИ, 1972). Д-р техн. наук по тепл. двиг. ЛА, эл-там и уст-вам выч. техники и систем упр-я (УГАТУ, 1994). Иссл. в обл. систем зажигания двигателей ЛА.



Газизов Денис Раилевич, асп. той же каф. Дипл. инж. по авиац. и ракетно-космическ. теплотехнике (УГАТУ, 2007). Работает над дисс. по проблеме моделир-я процессов в системах зажигания с учетом газодинамическ. свойств камер сгорания.