

УДК [536. 46:533.7]:662.613.12.001.57

Ф. А. ХАМИДУЛЛИН, Ф. М. ВАЛИЕВ, В. А. ЩУКИН, О. В. ДУНАЙ

*Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А. Н. Туполева (КНИТУ-КАИ)*

НЕКОТОРЫЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГОРЕНИЯ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА

Представлены результаты экспериментального исследования некоторых характеристик горения дизельного топлива марки ДЛ в воздухе при атмосферном давлении, скорости набегающего потока $W=50$ м/с, начальной температуре $T_n=600$ К, общем коэффициенте избытка воздуха $\alpha=0,6...1,5$. Отмечено, что для организации процесса горения в жаровой трубе камеры сгорания важно знать такие горючие свойства применяемого топлива, как пространственно-временные характеристики (скорость распространения пламени, время горения, протяженность зоны горения), определяющие положение факела пламени в объеме жаровой трубы камеры сгорания. Экспериментально определены нормальная (U_n) и турбулентная (U_T) скорости распространения пламени однородной гомогенной смеси испаренного дизельного топлива.

Ключевые слова: горение, однородная топливовоздушная смесь, ламинарное пламя, турбулентное однородное пламя; нормальная скорость распространения пламени, турбулентная скорость распространения пламени.

Широкое применение в наземных условиях находят отработавшие летные ресурсы газотурбинные двигатели (ГТД). Для этих двигателей, с точки зрения эксплуатации и экономики, выгодно использовать топлива типа соляровой фракции, применяемые для создаваемых транспортных (тепловозы, автомобили) и стационарных ГТД. Работа ГТД на более тяжелом топливе, чем авиакеросины, имеет свои особенности и требует некоторой доработки как топливной системы, так и изменения организации процессов горения в камере сгорания. С точки зрения организации процесса горения в камере сгорания важно знать такие горючие свойства применяемого топлива, как пространственно-временные характеристики, главным образом определяющие положение факела пламени в объеме жаровой трубы камеры сгорания.

Основными пространственно-временными характеристиками процесса горения являются: ($U_{пл}$) - скорость распространения пламени, (τ_r) - время горения и ($L_{зг}$) - протяженность зоны горения. Эти пространственно-временные характеристики процесса горения относятся ко всем типам пламен.

В реальных камерах сгорания газотурбинных двигателей в настоящее время в основном реализуется сжигание распыленного жидкого топлива в потоке воздуха. В зависимости от характеристик распыливания, испарения, смешения и параметров смеси, возможна реализация самых различных условий горения, начиная от горения предварительно подго-

товленных топливовоздушных смесей (ТВС) и кончая горением отдельных капель. Поэтому целесообразно исследовать отдельно каждое из условий горения в камере сгорания на модельных установках.

Составной частью процесса горения в камере сгорания является горение гомогенной топливовоздушной смеси.

В работе были экспериментально определены нормальная (U_n) и турбулентная (U_T) скорости распространения пламени однородной гомогенной смеси испаренного дизельного топлива марки ДЛ (межгосударственный стандарт ГОСТ 305-82 «Топливо дизельное. Технические условия») с воздухом.

Гомогенность топливовоздушной смеси оценивалась по степени испаренности топлива методом улавливания капель на твердую среду (пластина диаметром 5 мм, покрытая слоем сажи и слоем окиси магния) каплеуловителем специальной конструкции [1] с последующим фотографированием пластины и обработкой фотографий по методике [2]. Конечным результатом обработки по этой методике являлась доля неиспарившегося топлива. Оценка гомогенности топливовоздушной смеси проводилась без горения на входе в камеру сгорания во всем диапазоне изменения режимных параметров. Эксперименты показали, что доля неиспарившегося топлива не превышает 0,03% от общего расхода топлива.

Определение нормальной скорости распространения пламени (U_n) проводилось методом го-

релки.

Схема рабочего участка установки для определения нормальной скорости распространения пламени (U_n) приведена на рис. 1 и представляет собой горелку 3 с двумя коаксиальными цилиндрическими трубками, расположенными вертикально.

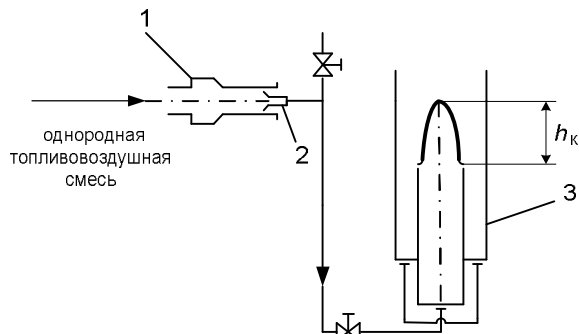


Рис. 1. Схема рабочего участка

Наружная трубка имеет прозрачное окно для измерения высоты конуса пламени (h_k). Топливо-воздушная смесь любого состава в исследуемом диапазоне подготавливалась на установке турбулентного горения однородной топливовоздушной смеси 1 отбиралась прободоотборником 2 и под скоростным напором по обогреваемой магистрали поступала в горелку 3. При поджигании горючей смеси на выходе из горелки образуется стационарный неподвижный конус пламени.

При определении U_n этим методом используют принцип Гуи–Михельсона, согласно которому объемный расход горючей смеси через горелку равен объемному расходу через поверхность фронта воспламенения:

$$Q_{см.гор.} = Q_{см.фр.} \quad (1)$$

Откуда нормальная скорость распространения пламени в соответствии с уравнением неразрывности находится как

$$U_n = w_{см} \cdot \frac{F_{гор.}}{S_{фр.}}, \quad (2)$$

где $w_{см}$ – скорость горючей смеси на выходе из горелки;

$F_{гор.}$ – площадь проходного сечения трубки;

$S_{фр.}$ – боковая поверхность фронта воспламенения (боковая поверхность конуса пламени).

Таким образом, для определения U_n методом горелки необходимо определить каким-либо способом скорость топливовоздушной смеси – $w_{см}$, измерить диаметр трубки – d_c , для определения площади проходного сечения трубки – $F_{гор.}$ и измерить высоту конуса пламени – h_k , для определения боковой поверхности фронта воспламенения – $S_{фр.}$ по формулам геометрии:

$$U_n = w_{см} \cdot \frac{\frac{d_c}{2}}{\sqrt{\frac{d_c^2}{4} + (h_k \cdot 10^{-3})^2}}, \quad \frac{м}{с} \quad (3)$$

где d_c – диаметр сопла горелки, м.

Величина диаметра сопла горелки (d_c) и скорость потока смеси ($w_{см}$) выбираются таким образом, чтобы обеспечить ламинарный режим течения.

На рисунке 2 представлены результаты экспериментального определения нормальной скорости распространения пламени при горении гомогенной однородной смеси испаренного дизельного топлива марки ДЛ с воздухом при атмосферном давлении и начальной температуре $T_n = 573$ К при различных значениях коэффициента избытка воздуха.

На этом же рисунке для сопоставления представлены полученные ранее зависимости нормальной скорости распространения пламени от коэффициента избытка воздуха для керосиновоздушной и бензиновоздушной смесей.

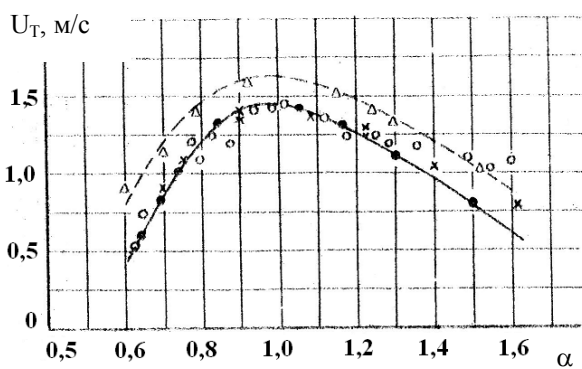


Рис. 2. $U_n = f(\alpha)$; $T_n = 573$ К:

● – ДЛ; Δ – ТС-1; $\times$ – Б-70 [3]; $\circ$ – Б-70 [4]

Из сопоставления (см. рис. 2) видно, что положение максимума нормальной скорости распространения пламени по коэффициенту избытка воздуха для всех исследуемых топливовоздушных смесей совпадают; абсолютное значение нормальной скорости несколько больше у керосино-воздушной смеси.

Турбулентная скорость распространения пламени (U_t) определялась методом прямого конуса. Существует модификация метода прямого конуса – метод прямого плоского факела пламени (рис. 3).

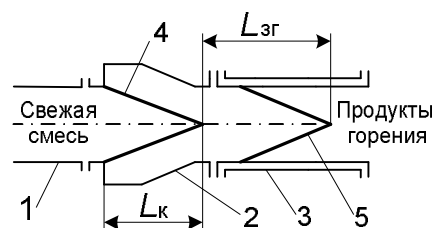


Рис. 3. Прямоточная камера сгорания

Устройством для реализации этого метода является прямоточная камера сгорания квадратного сечения 1 с двумя противоположно расположенными нишевыми стабилизаторами пламени 2. В такой камере сгорания после поджигания горючей смеси источниками зажигания, установленными в нишевых стабилизаторах, образуется стационарный факел пламени. Поверхность фронта воспламенения представляет собой две плоские смыкающиеся поверхности. При выполнении передней стенки камеры и охлаждаемых проставок 3 прозрачными (например, из термостойкого кварцевого стекла), линия смыкания поверхностей воспламенения, высота 4 образующегося треугольника (L_k) и задняя граница 5 факела пламени хорошо просматриваются благодаря отсутствию горения с боковых сторон и могут фиксироваться как визуально, так и фотографированием. При работе камеры сгорания непрерывное воспламенение набегающей горючей смеси (после отключения источников зажигания) происходит горячими продуктами горения зоны рециркуляции в нишах 2 камеры. Достоинством нишевых стабилизаторов является то, что они не искажают течение горючей смеси и имеют минимальные гидравлические сопротивления.

Турбулентная скорость распространения пламени определялась по передней границе факела пламени.

По аналогии с определением нормальной скорости распространения пламени U_n , в соответствии с принципом Гуи-Михельсона, средняя величина U_T будет

$$U_T = w_{см} \cdot \frac{h_k/2}{\sqrt{\frac{h_k^2}{4} + (L_k \cdot 10^{-3})^2}}, \frac{м}{с} \quad (4)$$

где h_k - высота камеры сгорания, м,

L_k - высота видимого треугольника, образованного плоскими фронтами воспламенения.

Результаты экспериментального определения турбулентной скорости распространения пламени U_T однородной гомогенной смеси испаренного дизельного топлива и бензина марки Б-70 с воздухом при атмосферном давлении, начальной температуре $T_n = 600$ К, скорости набегающего потока смеси $w = 50$ м/с при различных значениях коэффициента избытка воздуха представлены на рис. 4.

Экспериментальные результаты свидетельствуют о практически полном совпадении значений турбулентной скорости распространения пламени U_T дизельного топлива и авиационного бензина.

По результатам исследования определено, что при сжигании испаренного дизельного топлива в жаровой трубе основной камеры сгорания ГТД диапазон устойчивого горения по границам срыва будет

таким же, как и при сжигании керосиновоздушной смеси.

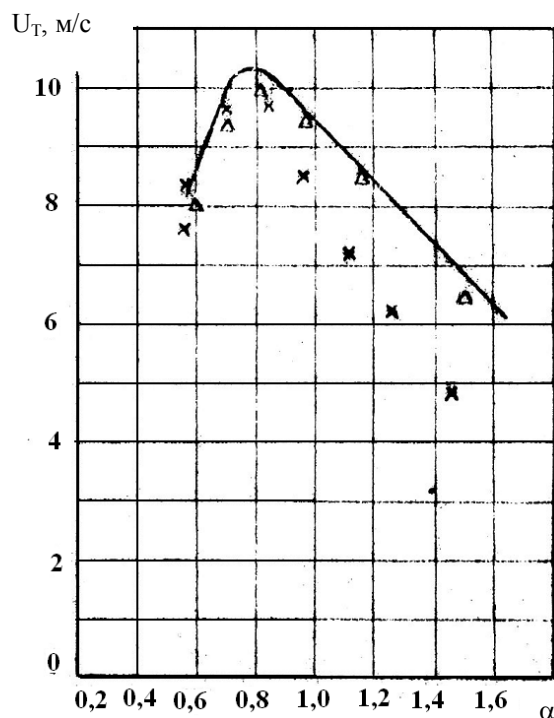


Рис. 4. $U_T = f(\alpha)$, $T_n = 600$ К, $W = 50$ м/с:
- ДЛ, Δ - Б-70 [6], $\times$ - Б-70 [5]

Литература

1. Мингазов, Б. Г. Исследование мелкости распыливания в факеле топливозадушной форсунки [Текст] / Б. Г. Мингазов, С. И. Морозов, И. Н. Дятлов // Горение в потоке : межвуз. сб. - Казань : КИИ, 1978. - Вып. 2. - С. 35-38.
2. Измерение степени испаренности топлива в предкамерах камер сгорания ГТД [Текст] / И. А. Образцов, И. Н. Дятлов, В. М. Янковский и др. // Вопросы теории и расчета рабочих процессов тепловых двигателей : межвуз. сб. - Уфа : УАИ, 1983. - Вып. 7. - С. 118-127.
3. Нормальная скорость распространения пламени при двухстадийном процессе горения [Текст] / В. А. Щукин, А. В. Мосин, А. Ф. Кузин, и др. // Горение в потоке : тр. КИИ. - Казань, 1970. - Вып. 124. - 170 с.
4. Иноземцев, Н. Н. Влияние начальной температуры и давления на нормальную скорость распространения пламени различных углеводородовоздушных пламен [Текст] / Н. Н. Иноземцев // ИФЖ. - 1959. - Т. 2, № 10. - С. 70-92.
5. Кузин, А. Ф. Влияние начальной температуры на основные характеристики горения в турбулентном потоке однородной смеси [Текст] : дис. ... канд. техн. наук / Кузин А. Ф. - КИИ, 1978. - 98 с.

6. Щукин, В. А. Экспериментальное исследование скорости распространения пламени при двухстадийном процессе горения [Текст] / В.А. Щукин,

А. В. Мосин, А. В. Талантов // Горение в потоке : тр. КАИ. – Казань, 1970. – Вып. 124. – 170 с.

Поступила в редакцию 1.06.2014, рассмотрена на редколлегии 17.06.2014

Рецензент: д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой "Реактивные двигатели и энергетические установки" Б. Г. Мингазов, Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева (КНИТУ-КАИ), Казань, Республика Татарстан.

ДЕЯКІ ПРОСТОРОВО-ЧАСОВІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГОРІННЯ ДИЗЕЛЬНОГО ПАЛЬНОГО

Ф. А. Хамідулін, Ф. М. Валієв, В. А. Щукін, О. В. Дунай

Представлено результати експериментального дослідження деяких характеристик горіння дизельного палива марки ДЛ в повітрі при атмосферному тиску, швидкості потоку, що набігає $W = 50$ м / с, початкової температури $T_n = 600$ К, загальному коефіцієнті надлишку повітря $\alpha = 0,6 \dots 1,5$. Відзначено, що для організації процесу горіння в жаровій трубі камери згорання важливо знати такі горючі властивості застосовуваного палива, як просторово-часові характеристики (швидкість розповсюдження полум'я, час горіння, протяжність зони горіння), що визначають положення факела полум'я в обсязі жарової труби камери згорання. Експериментально визначено нормальну (U_n) і турбулентну (U_t) швидкості поширення полум'я однорідної гомогенної суміші випарованого дизельного палива.

Ключові слова: горіння, однорідна топливовітряна суміш, ламінарне полум'я, турбулентне однорідне полум'я; нормальна швидкість поширення полум'я, турбулентна швидкість поширення полум'я.

SOME SPACE - TIME CHARACTERISTICS OF BURNING DIESEL FUEL

F. A. Chamidulin, V. A. Shchukin, F. M. Valiev, O. V. Dunay

An experimental study of some characteristics of the combustion of diesel fuel in air at atmospheric pressure, flow velocity $W = 50$ m / s, initial temperature $T_s = 600$ K, the total excess air coefficient $\alpha = 0,6 \dots 1,5$. Noted that the organization of the combustion process in the combustion chamber flame tube is important to know the properties of such combustible fuel used as spatial and temporal characteristics (flame spread, burning time, the length of the combustion zone), which determine the position of the flame in the flame tube volume of the combustion chamber. Experimentally determined normal (U_n) and turbulent (U_t) flame spread rate a uniform homogeneous mixture of vaporized diesel fuel.

Key words: burning, homogeneous air-fuel mixture, laminar flames, turbulent flame homogeneity, normal flame propagation velocity, turbulent velocity flame propagation.

Хамидулін Фаршат Абдуллович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри «Реактивные двигатели и энергетические установки», Казанский государственный технический университет им. А. Н. Туполева, Казань, Республика Татарстан, e-mail: adeu@adeu.kstu-kai.ru.

Валиєв Фарид Максимович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри «Реактивные двигатели и энергетические установки», Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева, Казань, Республика Татарстан, e-mail: ValievFM@mail.ru.

Щукін Владимир Андреевич – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри «Реактивные двигатели и энергетические установки», Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева "КНИТУ-КАИ", Казань, Республика Татарстан, e-mail: adeu@adeu.kstu-kai.ru.

Дунай Олег Васильевич – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри «Реактивные двигатели и энергетические установки», Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева, Казань, Республика Татарстан, e-mail: adeu@adeu.kstu-kai.ru.