

На правах рукописи



Ярмаш Александр Дмитриевич

**МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ХАРАКТЕРИСТИК СТАБИЛИЗИРУЮЩИХ
УСТРОЙСТВ ФОРСАЖНЫХ КАМЕР СГОРАНИЯ
ТУРБОРЕАКТИВНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

Научная специальность 05.07.05

«Тепловые, электроракетные двигатели и
энергоустановки летательных аппаратов»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискании ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2021

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»

Научный руководитель: доктор технических наук, старший научный сотрудник
Агульник Алексей Борисович

Официальные оппоненты: **Мингазов Биалал Галавтдинович**, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ», профессор кафедры реактивных двигателей и энергетических установок

Грасько Тарас Васильевич, кандидат технических наук, федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», заместитель начальника факультета летательных аппаратов – начальник учебной части

Ведущая организация: Акционерное общество «Объединенная двигателестроительная корпорация»

Защита состоится «28» декабря 2021 года в 13:00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.125.08, созданного на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», по адресу: 125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»: <https://mai.ru/upload/iblock/625/1sxis8pqj2dz051f9r4509utae35wga3/DISSERTATSIYA-YArماش-A.D..pdf>

Автореферат разослан «___» _____ 2021 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 212.125.08,
д.т.н., профессор

Зуев Юрий Владимирович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации. На сегодняшний день практически все авиационные двигатели, используемые в сверхзвуковой авиации, имеют в составе форсажную камеру сгорания, которая позволяет за короткий промежуток времени значительно увеличить тягу двигателя.

В форсажной камере проходят сложные физико-химические процессы, каждый из которых сам по себе представляет направление самостоятельного исследования. К ним относятся аэродинамика течения, тепло- и массообмен в условиях химических реакций, воспламенение топливо-воздушной смеси, а также распространение пламени в потоке.

При создании ФК большое внимание уделяется обеспечению в ней устойчивого горения и запуска, то есть устойчивой стабилизации процесса горения.

Наиболее распространенным способом стабилизации горения является способ аэродинамической циркуляции, который основан на переносе тепла от продуктов сгорания к свежей смеси. Этот процесс осуществляется с помощью стабилизаторов пламени, которые могут быть механическими, газодинамическими или форкамерными. Вследствие относительно простой конструкции и небольшого веса в существующих форсажных камерах чаще всего применяются V-образные и форкамерные стабилизаторы.

Несмотря на то, что стабилизирующие устройства различны по своей схеме и способам стабилизации, они имеют общий принцип работы, заключающийся в создании области с пониженными и обратно направленными скоростями. За стабилизаторами пламени образуются зоны циркуляции. Устойчивая работа камеры сгорания зависит от процессов массо- и теплообмена между набегающим потоком и продуктами сгорания из циркуляционной зоны, в частности от среднего времени пребывания газа в ней. В связи с чем, определение времени пребывания в циркуляционных зонах за

различными стабилизаторами может дать оценку о срывных характеристиках стабилизирующего устройства.

При разработке форсажных камер сгорания огромные ресурсы тратятся на их доводку. С развитием численного моделирования появилась возможность сократить эти затраты. Однако для этого требуются методики расчета, которые могут дать удовлетворительные результаты решения поставленных задач. К таким задачам относится разработка методики расчета границ устойчивого горения в ФК, которая позволила бы сократить расходы на экспериментальные исследования.

В связи с вышеизложенным, тема диссертации является актуальной.

Степень разработанности темы. Вопросам определения границ устойчивой работы камер сгорания и теории стабилизации горения посвящено большое количество экспериментальных и теоретических работ. Среди авторов отечественных работ наиболее важный вклад внесли: А.Н. Хитрин, Б.В. Раушенбах, Е.С. Щетинков, Т.А. Бовина, А.В. Талантов, Б.П. Лебедев, В.А. Костерин, М.Т. Бортников, А.А. Горбатко, Э.Л. Солохин, Б.Г. Мингазов и другие.

Несмотря на многообразие работ в данном направлении, на сегодняшний день задача стабилизации пламени не имеет окончательного решения и требует значительного объема дорогостоящих экспериментальных исследований, поэтому с развитием численного моделирования появилась необходимость в разработке новых методик расчетов стабилизирующих устройств камер сгорания.

Целью работы являлось разработка методики расчета наиболее важных характеристик стабилизирующих устройств, на основе численного моделирования происходящих в них физических процессов.

Для достижения цели в работе ставятся следующие задачи:

- 1) Разработка методики определения времени пребывания газа в циркуляционных зонах путем численного моделирования подвода трассирующего вещества.
- 2) Исследование срывных характеристик стабилизирующих устройств форсажных камер сгорания.
- 3) Анализ особенностей рабочего процесса стабилизаторов пламени, имеющих различные конструктивные параметры;
- 4) Разработка новых схем ФУ и проведение для них предварительных расчетных исследований;
- 5) Разработка предложений по практическому применению полученных результатов.

Новизна приведенных результатов исследований заключается в следующем:

1. Впервые предложена методика расчетного определения времени пребывания газа в циркуляционных зонах за стабилизаторами пламени, базирующаяся на численном моделировании подвода трассирующего газа в циркуляционную зону.
2. Впервые получена аппроксимационная зависимость, позволяющая оценить параметр форсирования циркуляционной зоны за стабилизаторами пламени, используя значения времени пребывания газа в них.
3. Проведен анализ времени пребывания, как характеристики устойчивости горения за стабилизатором пламени, для различных видов стабилизаторов пламени.
4. Разработана методика определения срывных характеристик стабилизаторов пламени, основанная на расчете времени пребывания газа в циркуляционных зонах за ними.

Теоретическая и практическая значимость результатов исследований.

Теоретическая значимость работы заключается в разработке методики численного определения времени пребывания газа в циркуляционной зоне для оценки срывных характеристик различных стабилизаторов пламени.

Полученные результаты работы позволяют проводить оценку стабилизирующих свойств различных устройств на этапе проектирования, что является практической значимостью проведенного исследования.

Методы исследования:

- Методы моделирования турбулентных течений в каналах с телами плохообтекаемой формы.
- Методы расчета срывных характеристик гомогенного реактора.
- Численное моделирование течения в циркуляционных зонах при подачи трассирующего газа.

В качестве инструментов использовались программные комплексы «Ansys», «NX».

Положения, выносимые на защиту.

1. Методика расчета времени пребывания в циркуляционных зонах, путем численного моделирования подачи трассирующего газа.
2. Методика определения срывных характеристик стабилизаторов пламени на основе расчетов времен пребывания в циркуляционных зонах за ними.
3. Результаты обобщения расчетно-экспериментальных исследований по определению характеристик срыва стабилизаторов различных форм.

Достоверность полученных результатов подтверждается:

- использованием сертифицированного коммерческого программного комплекса Ansys (США)
- результаты исследования не противоречат теоретическим положениям и согласуются с результатами экспериментальных данных, опубликованных в технической литературе.

Вклад автора в проведенное исследование.

При выполнении диссертационной работы автор принимал непосредственное участие в получении основных результатов:

- разработана методика определения времени пребывания газа в циркуляционных зонах, путем численного моделирования течения в них при подаче трассирующего газа;
- разработана методика оценки срывных характеристик стабилизирующих устройств, основанная на определении времени пребывания газа в циркуляционной зоне этих устройств;

Апробация работы.

Основные результаты работы докладывались: на X Международной научно-технической конференции «Процессы горения, теплообмена и экология тепловых двигателей» (Самара, 2017); Международной научно-технической конференции «Проблемы и перспективы развития двигателестроения» (Самара, 2018); XLIII Международной молодежной научной конференции «Гагаринские чтения» (Москва, 2017); XLIV Международной молодежной научной конференции «Гагаринские чтения» (Москва, 2018); Всероссийской научно-технической конференции молодых ученых и специалистов «Авиационные двигатели и силовые установки» (Москва, 2019).

Публикации по теме диссертации.

По теме диссертации опубликовано 9 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 2 работы и получено 3 патента РФ на изобретения.

Структура и объем диссертации.

Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения и списка литературы из наименований. Основной текст содержит 111 страницы, 46 иллюстрации и 8 таблиц.

Автор выражает огромную благодарность за неоценимую помощь в написании работы кандидату технических наук И.И. Онищику, под чьим руководством фактически она была написана.

Автор также приносит искреннюю благодарность заведующему кафедрой 201 МАИ, доктору технических наук А.Б. Агульнику за помощь, оказанную им при оформлении работы.

Кроме того, автор приносит благодарит коллективы ОКБ им. А. Люльки и кафедры 201 МАИ за помощь в проведении и подготовке диссертационной работы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ.

Во введении показаны и обоснованы актуальность работы, её цель и поставлены задачи исследования, изложены научная новизна, теоретическая и практическая значимость, методы исследования и положения, которые выносятся на защиту.

В первой главе приведен критический анализ опубликованной научно-технической и патентной литературы. Дан обзор существующих теоретических моделей стабилизации горения, которые позволяют обобщить результаты экспериментальных исследований срывных характеристик различных

горелочных устройств, и обоснован выбор модели гомогенного реактора в дальнейших исследованиях.

Приведены результаты экспериментальных исследований по срыву пламени за различными стабилизаторами пламени, а также влияние различных факторов на стабилизацию горения.

Вторая глава посвящена разработке методики определения времени пребывания газа в циркуляционных зонах, посредством численного моделирования течения в них при подводе трассирующего газа.

Рассмотрены способы определения времени пребывания в циркуляционных зонах, из которых выделены способ стационарного и нестационарного подвода газа.

Так для определения времени пребывания газа в циркуляционной зоне t_z методом стационарного подвода газа необходимо расположить источник примеси в циркуляционной зоне, тогда время t_z находится из зависимости:

$$\bar{t}_z = \frac{\bar{C}V_z}{G_{\text{ист}}},$$

где V_z – объем циркуляционной зоны, $G_{\text{ист}}$ – расход трассирующего газа, а \bar{C} – средняя концентрация примеси в зоне.

Второй способ подвода трассирующего газа основан на постановке нестационарного расчета и отключением подачи во время решения. Концентрация примеси при этом будет описываться зависимостью:

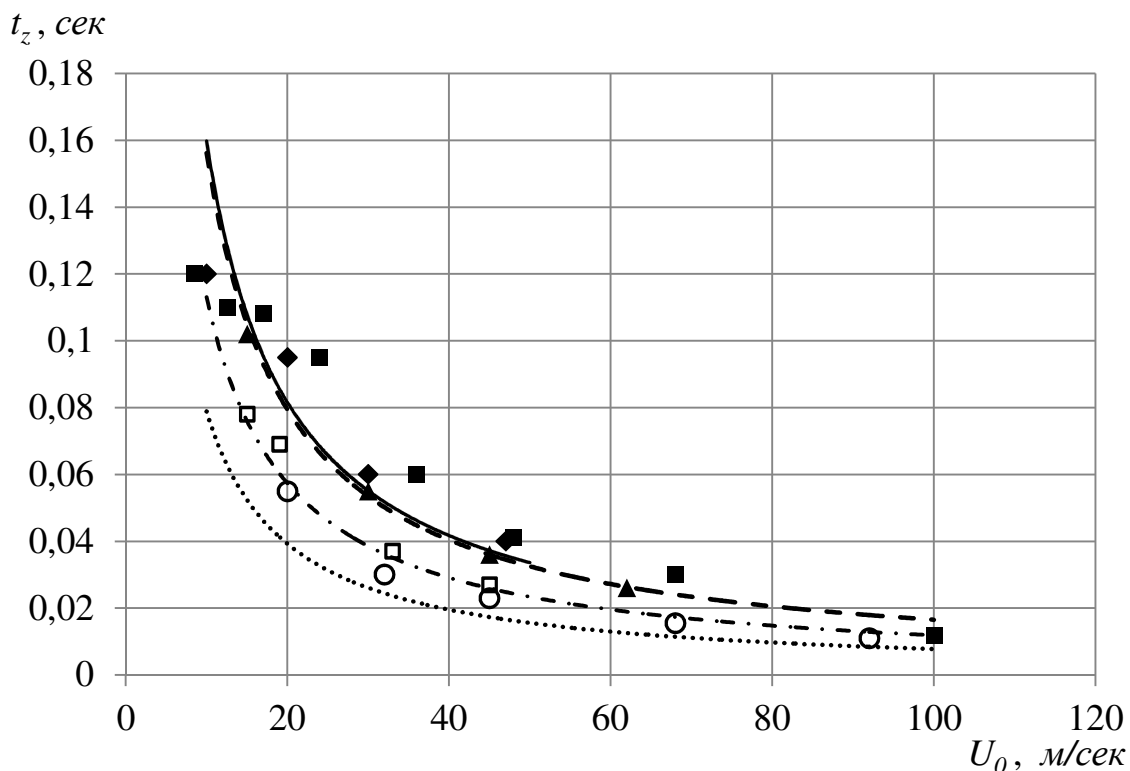
$$C = C_0 e^{-\frac{t}{t_z}}.$$

Отсюда, для определения времени пребывания требуется определить в процессе решения, за какое время концентрация трассирующего вещества уменьшится в e раз.

На рисунке 1 показано сопоставление экспериментальных данных и полученных двумя расчетными методами зависимостей времени пребывания газа t_z в циркуляционной зоне от скорости набегающего потока U_0 . Метод 1 – стационарный подвод газа в циркуляционную зону. Метод 2 – нестационарный.

Как видно, данные для уголка ($d=50$ мм), диска ($d=56$ мм) практически совпадают с данными для уступа $h=30$ мм. Данные для дисков ($d=40$ мм и $d=34$ мм) близки к данным для уступа $h=15...25$ мм.

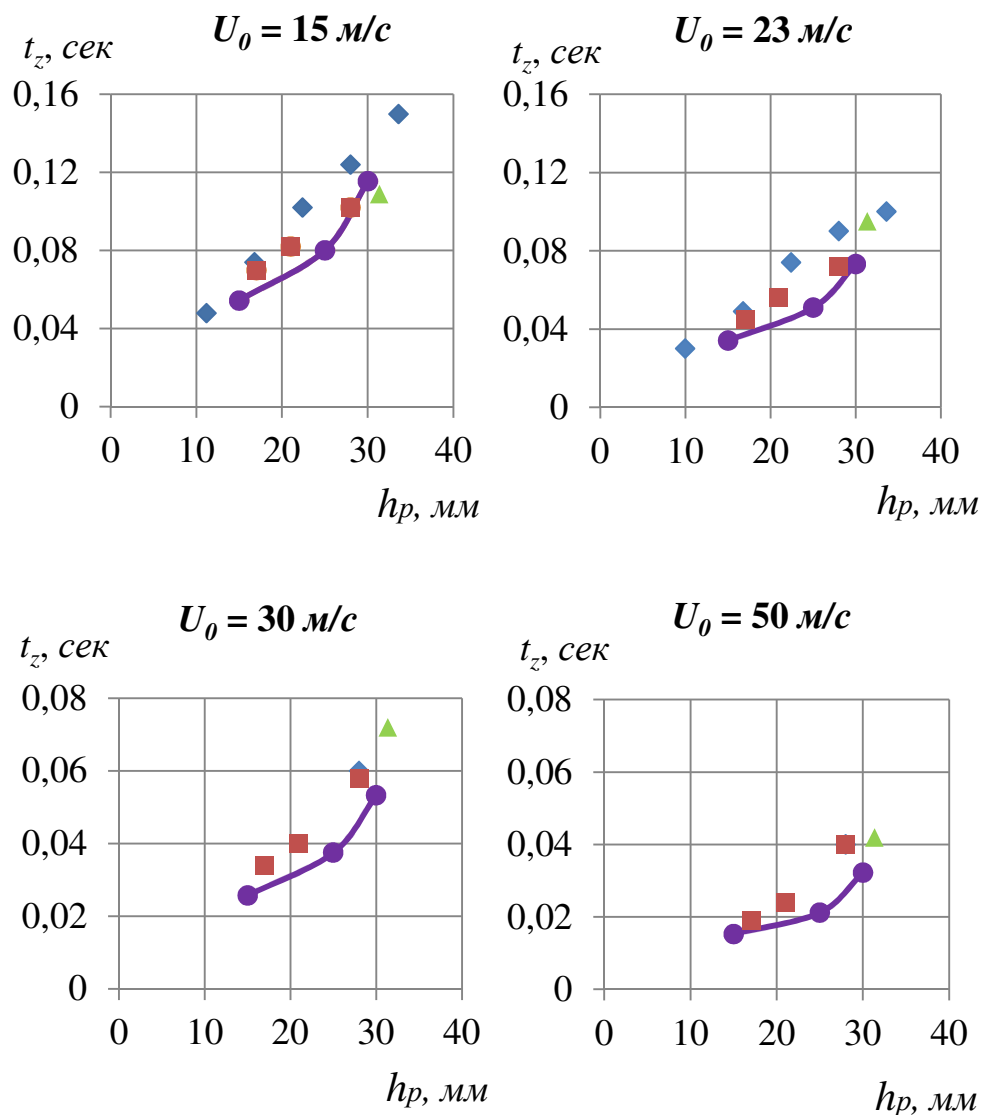
Таким образом, для определения в первом приближении t_z для различных тел можно использовать результаты расчета для уступа, если принять, что расчетное значение $h_p=(0,45...0,6)d$.



| Обозначение | Форма стабилизатора | Характерный размер стабилизатора, мм | Источник данных |
|-------------|---------------------|--------------------------------------|------------------|
| ◆ | Уголок | $d = 2h = 50$ | Эксперимент |
| ■ | Цилиндр | $d = 2h = 56$ | Эксперимент |
| ▲ | Диск | $d = 2h = 56$ | Эксперимент |
| □ | Диск | $d = 2h = 40$ | Эксперимент |
| ○ | Диск | $d = 2h = 34$ | Эксперимент |
| --- | Уступ | $h = 30$ | Расчет методом 1 |
| - · - · | Уступ | $h = 25$ | Расчет методом 1 |
| | Уступ | $h = 15$ | Расчет методом 1 |
| — | Уступ | $h = 30$ | Расчет методом 2 |

Рис. 1. Зависимость времени пребывания t_z в циркуляционной зоне от скорости набегающего потока

На рисунке 2 показаны зависимости времени пребывания газа в циркуляционных зонах от характерного размера стабилизатора пламени.



| Обозначение | Форма стабилизатора | Источник данных |
|-------------|---------------------|------------------|
| ◆ | Уголок | Эксперимент |
| ■ | Диск | Эксперимент |
| ▲ | Цилиндр | Эксперимент |
| ● | Уступ | Расчет методом 1 |

Рис. 2. Изменение значений t_z в зависимости от расчетных значений высоты уступа h_p для плохообтекаемых тел различной формы.

Для течения за уступом значение h_p равно высоте уступа, для других тел принималось, что $h_p = 0,5 d$. Как видно, экспериментальные значения t_z близки к расчетным данным для уступа (превышение 5...25%).

Для уголкового стабилизатора значения t_z существенно больше, чем значения t_z за уступом. По-видимому, это связано с тем, что размер циркуляционной зоны превышает геометрический размер тела, вследствие расширения аэродинамического следа за ним из-за наклона линий тока, вызванного обтеканием наклонных стенок уголка и нарастанием пограничного слоя на стенках цилиндра.

Аппроксимировать полученные расчетные кривые для уступа можно с помощью зависимости:

$$t_z = \frac{1,6 h_p}{30 U_0},$$

где h_p в мм, а U_0 в м/с.

Кроме того, сопоставление с экспериментальными данными показало, что для уголкового стабилизатора с углом при вершине γ величина $h_p \approx 0,01 \cdot \gamma \cdot d$ [мм].

В **третьей главе** излагается методика определения срывных характеристик стабилизаторов пламени с помощью рассчитанного времени пребывания в циркуляционных зонах за ними.

Для расчета необходимо задать следующие исходные данные:

- 1) Размер стабилизатора d ;
- 2) Угол раскрытия стабилизатора $\gamma_{ст}$;
- 3) Скорость набегающего потока $U_{ст}$;
- 4) Давление в набегающем потоке $p_{вх}$;
- 5) Температура на входе $T_{н}$.

Характерный размер h_p определяется из зависимости:

$$h_p = 0,01 \cdot \gamma_{ст} \cdot d.$$

При обтекании цилиндра ($\gamma_{\text{CT}} = 0^\circ$) характерный размер равен половине ширины полки стабилизатора, т.е. $h_p = 0,5 d$.

Затем, задавая значения скорости U_{CT} , определяется время пребывания газа t_z за стабилизатором:

$$t_z = \frac{1,6 h_p}{30 U_{\text{CT}}}.$$

Параметр форсирования циркуляционной зоны:

$$K_{\text{цз}} = \frac{10^5}{t_z \bar{p} R_0 T_H}.$$

Максимальные значения коэффициента избытка воздуха $\alpha_{\text{срmax}}$ и бедная граница срыва пламени находится из зависимости:

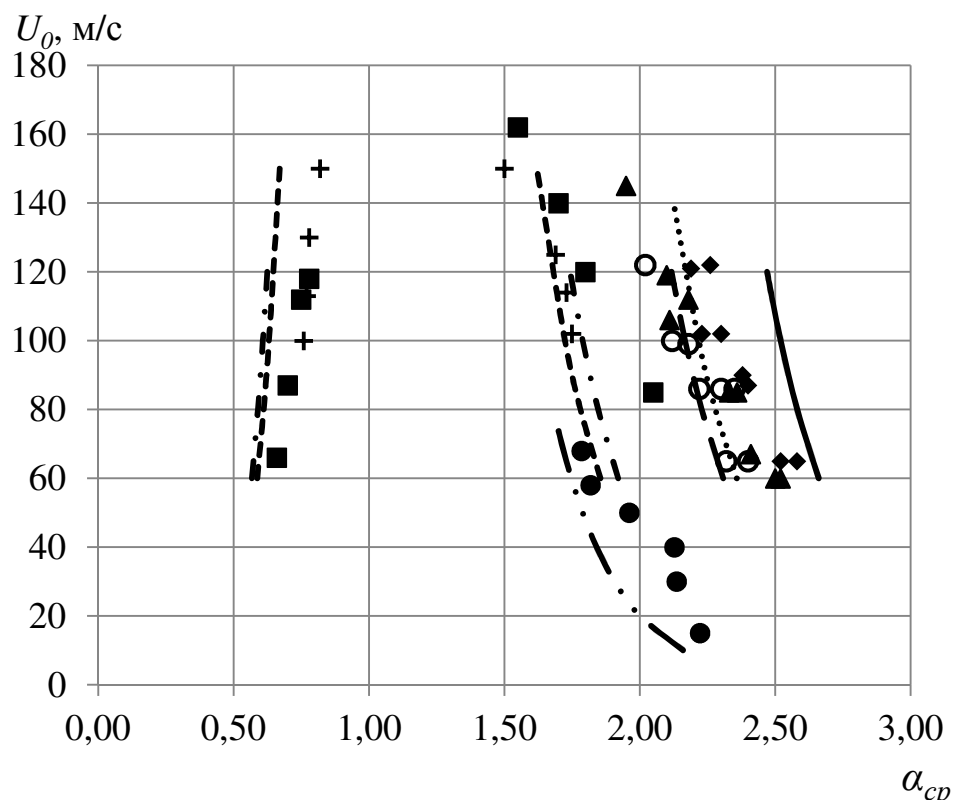
$$\alpha_{\text{срmax}} = 1,8 - a(\log K_{\text{цз}} - b).$$

При температуре на входе в канал $T_H = 400\text{K}$, богатая граница срыва описывается зависимостью:

$$\varphi_{\text{max}} = \frac{1}{\alpha_{\text{срmin}}} = 1,8 - 0,53(\log K_{\text{цз}} - 0,475).$$

Результаты такого расчета и сопоставление их с экспериментальными данными для различных стабилизаторов пламени и условий в потоке показаны на рисунке 3.

Видно, что расчетная методика с достаточной точностью описывает границы срыва пламени (максимальное отклонение 10-15%), что говорит о возможности её применения для предварительной оценки стабилизирующих устройств различной формы.



| № п/п | Обозначение | Источник данных | Вид стабилизатора | Размер стабилизатора, мм | $p_{вх}$, кПа | $T_{н}$, К |
|-------|-------------|-----------------|---|--------------------------|----------------|-------------|
| 1 | ◆ | Эксперимент | Пластина | d=40 | 100 | 473 |
| 2 | — | Расчет | $\gamma_{ст} = 180^\circ$ | $h_p=72$ | 100 | 473 |
| 3 | ▲ | Эксперимент | V-образный ($\gamma_{ст} = 60^\circ$) | d=40 | 100 | 473 |
| 4 | | Расчет | $\gamma_{ст} = 60^\circ$ | $h_p=24$ | 100 | 473 |
| 5 | ○ | Эксперимент | Цилиндр ($\gamma_{ст} = 0^\circ$) | d=40 | 100 | 473 |
| 6 | — - | Расчет | $\gamma_{ст} = 0^\circ$ | $h_p=20$ | 100 | 473 |
| 7 | + | Эксперимент | V-образный ($\gamma_{ст} = 60^\circ$) | d=40 | 31 | 483 |
| 8 | ---- | Расчет | $\gamma_{ст} = 60^\circ$ | $h_p=24$ | 31 | 400 |
| 9 | ■ | Эксперимент | V-образный ($\gamma_{ст} = 60^\circ$) | d=40 | 40 | 483 |
| 10 | - . - | Расчет | $\gamma_{ст} = 60^\circ$ | $h_p=24$ | 40 | 400 |
| 11 | ● | Эксперимент | Конус ($\gamma_{ст} = 30^\circ$) | d=40 | 100 | 300 |
| 12 | — . | Расчет | $\gamma_{ст} = 30^\circ$ | $h_p=12$ | 100 | 300 |

Рис. 3. Влияние скорости основного потока на пределы устойчивого горения различных стабилизаторов пламени.

Объединенный упрощенный алгоритм методик расчета времени пребывания газа в циркуляционной зоне и срывных характеристик пламени за

стабилизатором пламени можно представить в виде блок-схемы показанной на рисунке 4.

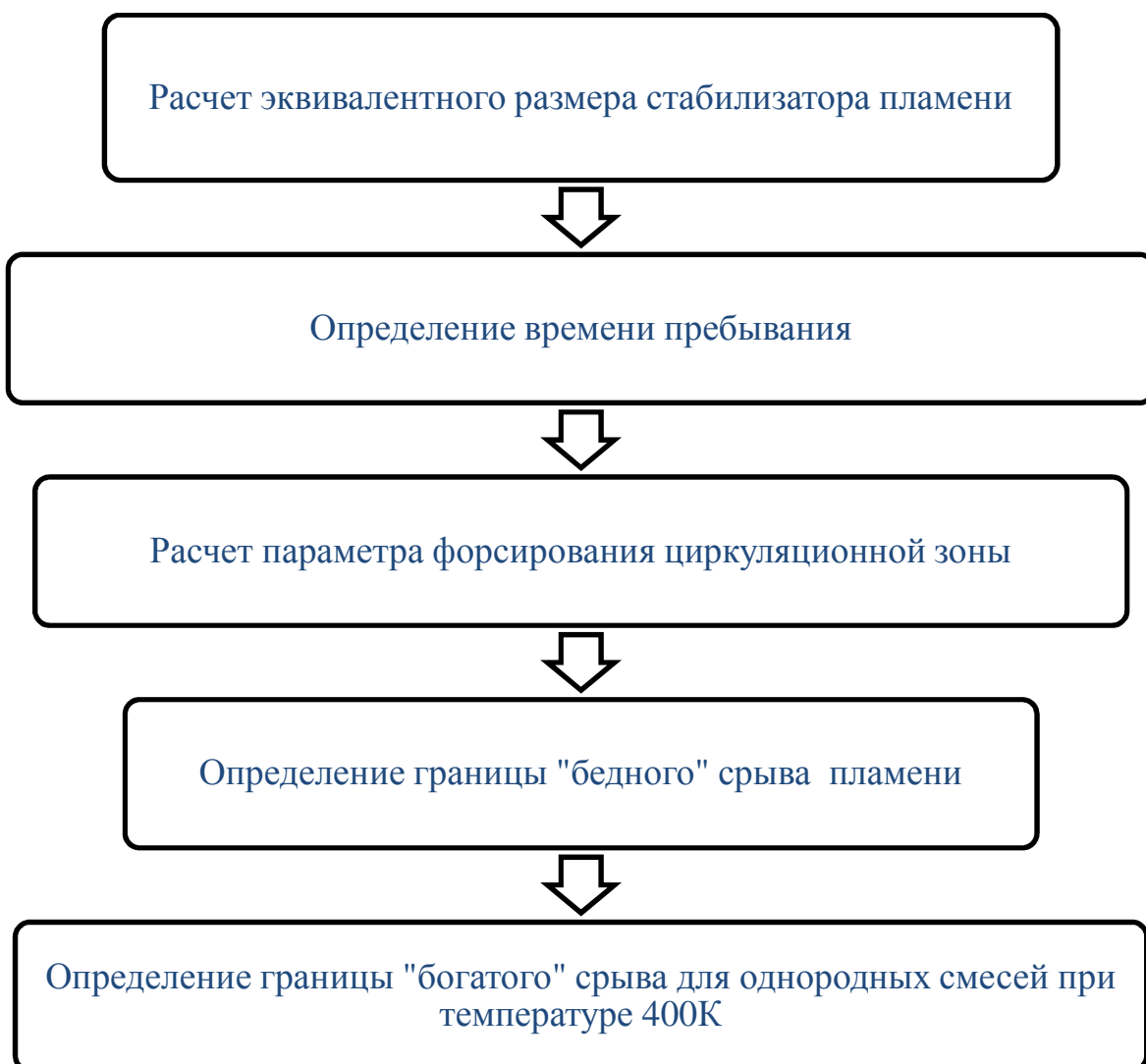


Рис. 4. Блок-схема упрощенного алгоритма методик расчета времени пребывания газа в циркуляционной зоне и срывных характеристик стабилизаторов пламени.

Четвертая глава посвящена примерам практического применения разработанных методик для проектирования форсажных камер сгорания.

В современных форсажных камерах сгорания для создания автономного очага воспламенения зачастую используют стабилизаторы пламени с установленными в них карбюраторами. На режимах минимального

форсирования двигателя АЛ-41Ф1С топливо подается исключительно в карбюратор центрального стабилизатора пламени (форкамеру). Благодаря этому обеспечивается минимальный прирост тяги с включением форсажа, что является необходимым требованием при создании современных форсажных камер.

Таким образом, существует определенный интерес в определении срывных характеристик стабилизаторов при подаче топлива только в циркуляционную зону.

Схема стабилизатора пламени с карбюратором показана на рисунке 5.

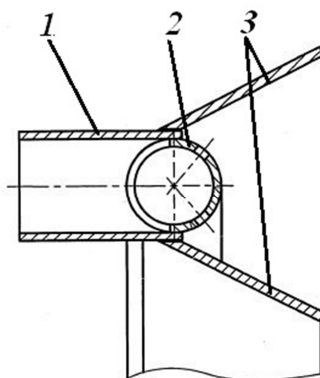


Рис. 5. Схема стабилизатора пламени с карбюратором.

1 – заборник; 2 – карбюраторная трубка; 3 – обечайки.

При такой подаче топливо испаряется и смешивается с газом из набегающего потока. Затем через отверстия в карбюраторной трубке 2 газотопливная смесь поступает в циркуляционную зону. В этом случае коэффициент избытка воздуха в циркуляционной зоне $\alpha_{цз}$ будет существенно ниже, чем средний коэффициент избытка воздуха в целом по камере α_{Σ} , что способствует расширению диапазона устойчивого горения при обеднении смеси.

Расход воздуха в циркуляционной зоне можно оценить из условия:

$$G_{\text{вцз}} = G_{\text{в}\Sigma} \cdot f_{\text{ст}}, \quad (4.14)$$

где $G_{\text{в}\Sigma} = \rho_0 U_0 F$ – суммарный расход газа через канала, а $f_{\text{ст}}$ – площадь загромождения канала стабилизатором.

Затем определяется время пребывания в зоне t_z и её параметр форсирования $K_{\text{цз}}$:

$$t_z = \frac{1,6 h_p}{30 U_{\text{ст}}},$$

$$K_{\text{цз}} = \frac{10^5}{t_z \bar{p} R_0 T_H}.$$

Коэффициент избытка воздуха в циркуляционной зоне при срыве пламени:

$$\alpha_{\text{ср.цз}} = 1,8 - a(\log K_{\text{цз}} - b)$$

Тогда расход топлива в циркуляционной зоне $G_{\text{тцз}}$:

$$G_{\text{тцз}} = \frac{G_{\text{вцз}}}{L_0 \cdot \alpha_{\text{ср.цз}}}.$$

Суммарный коэффициент избытка воздуха в камере сгорания:

$$\alpha_{\text{ср}\Sigma} = \frac{G_{\text{в}\Sigma}}{L_0 G_{\text{тцз}}}. \quad (4.15)$$

Результаты расчета уголкового стабилизатора с $d=40$ мм с $\gamma_{\text{ст}} = 60^\circ$ приведены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты расчета бедной границы срыва пламени

| U_0 , м/с | t_z , сек | K_p | $\alpha_{\text{срцз}}$ | $G_{\text{вцз}}$, кг/сек | $G_{\text{тцз}}$, кг/сек | $G_{\text{в}\Sigma}$, кг/сек | $\alpha_{\text{ср}\Sigma}$ |
|----------------|----------------|-------|------------------------|------------------------------|------------------------------|----------------------------------|----------------------------|
| 50 | 0,0192 | 1,08 | 2,63 | $1,02 \cdot 10^{-3}$ | $2,59 \cdot 10^{-5}$ | 0,0029 | 7,49 |
| 100 | 0,0096 | 2,16 | 2,42 | $2,02 \cdot 10^{-3}$ | $5,61 \cdot 10^{-5}$ | 0,0058 | 6,89 |
| 150 | 0,0064 | 3,24 | 2,30 | $3,03 \cdot 10^{-3}$ | $8,83 \cdot 10^{-5}$ | 0,0087 | 6,55 |
| 200 | 0,0048 | 4,32 | 2,21 | $4,02 \cdot 10^{-3}$ | $12,19 \cdot 10^{-5}$ | 0,0115 | 6,3 |

Из таблицы 1 видно, что подача топлива в циркуляционную зону, в несколько раз увеличивает критические значения бедной границы срыва пламени по суммарным расходам топлива и воздуха. Это подтверждается и экспериментально.

Для включения форсажной камеры обычно летчик должен перевести РУД из максимального режима работы двигателя в область форсажных режимов. Однако, при применении карбюрированной подачи топлива за стабилизатор, форсажная камера сгорания может работать в диапазоне от малого газа до максимального режима работы двигателя, что позволит при взлёте самолета оторвать передние колёса самолета от взлетной полосы на меньших расходах газа через двигатель, при этом снизится вероятность попадания посторонних предметов с взлетно-посадочной полосы в тракт двигателя.

Заключение

1. Впервые разработана методика определения времени пребывания в циркуляционных зонах за плохообтекаемыми телами, путем численного моделирования подвода трассирующего газа. Результаты расчета по данной методике удовлетворительно согласуются с экспериментальными данными, имеющимися в технической литературе.
2. Изучено влияние параметров набегающего потока и характеристик стабилизатора на время пребывания в циркуляционных зонах, рассчитанное по предложенной методике. Полученные результаты расчета с достаточной степенью точности согласуются с данным приведенным в технической литературе.
3. Разработана методика определения границ устойчивой работы стабилизаторов пламени, основанная на определении времени пребывания газа в циркуляционной зоне, которая позволяет в первом

приближении проводить оценку срывных характеристик различных стабилизирующих устройств.

4. Проведен расчет срывных и гидравлических характеристик различных стабилизаторов форсажной камеры сгорания с помощью разработанных методик. Показана их работоспособность и применимость к различным конструкциям стабилизаторов.
5. Расчетным образом доказано, что обеспечение в циркуляционной зоне за стабилизаторами коэффициента избытка воздуха $\alpha = 1$ позволяет улучшить срывные характеристики камеры сгорания, что позволяет при проектировании уменьшить размер стабилизаторов и снизить потери полного давления в камере.
6. Результаты работы приняты в ОКБ им. А. Люльки для дальнейшей проработки в задачах создания перспективной форсажной камеры сгорания турбореактивного двигателя.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в рецензируемых научных изданиях

1. Агульник А.Б., Онищик И.И., Ярмаш А.Д. Процесс смешения и неравномерность поля температур газа на выходе из камеры сгорания ГТД // Насосы. Турбины. Системы. 2017. № 2 (23). С. 30-38.
2. Агульник А.Б., Нелюбин В.Р., Онищик И.И., Павлов А.С., Ярмаш А.Д. Использование методов численного моделирования турбулентных течений при разработке форсажных камер сгорания газотурбинного двигателя // Насосы. Турбины. Системы. 2018. № 1 (26). С. 66-74.

Патенты

3. Пат. 2680024 Российская Федерация, МПК F23N. Способ определения технического состояния датчиков пламени ионизационных / Зубко А. И., Зубко И. О., Герман Г. К., Ярмаш А. Д.; заявитель и патентообладатель

ПАО ОДК - УМПО (RU). - № 2018109393; заявл. 16.03.2018; опубл.14.02.2019, Бюл. № 5

4. Пат. 2682220 Российская Федерация, МПК F23R3, F02K3. Форсажная камера сгорания турбореактивного двухконтурного двигателя / Климов К.А., Онищик И.И., Федоров С.А., Ярмаш А.Д.; заявитель и патентообладатель ПАО ОДК - УМПО (RU). - № 2018107506; заявл. 01.03.2018; опубл.15.03.2019, Бюл. № 8

5. Пат. 2710532 Российская Федерация, МПК F23R3, G01N30. Датчик ионизационный сигнализатора пламени / Гусев П.Н., Куприянов Н.Д., Лефёров А.А., Ярмаш А.Д.; заявитель и патентообладатель ПАО ОДК - УМПО (RU). - № 2019111952; заявл. 19.04.2019; опубл. 29.01.2020, Бюл. № 4

Другие публикации

6. Ярмаш А.Д., Онищик И.И. Расчетный анализ параметров поперечной струи, распространяющейся в сносящем потоке // Гагаринские чтения – 2016: сборник тезисов докладов XLIII Международной молодежной научной конференции (Москва, 12-15 апреля 2017). - М.: Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет). 2017. Т.3. С. 662-663. (752с.).

7. Ярмаш А.Д., Онищик И.И. Расчетный анализ течения в циркуляционных зонах // Гагаринские чтения – 2017: сборник тезисов докладов XLIII Международной молодежной научной конференции (Москва, 5-19 апреля 2017). - М.: Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет). 2017. С. 558-559. (1480с.).

8. Ярмаш А.Д., Онищик И.И. Особенности течений в циркуляционных зонах при дополнительном вдуве струй // Процессы горения, теплообмена и экология тепловых двигателей: сб. труд. X Международной научно-технической конференции (Самара, 27-28 сентября 2017). – Самара: Издательство Самарского университета. 2017. С. 79-81 (112с.)

9. Ярмаш А.Д., Онищик И.И. Исследование массообмена в циркуляционных зонах путем численного моделирования // Авиационные

двигатели и силовые установки: сборник тезисов докладов к Всероссийской научно-технической конференции молодых ученых и специалистов (Москва, 28-30 мая 2019). - М.: ФГУП «ЦИАМ им. П.И. Баранова». 2019. С.154-155 (366с.)