

Влияние геометрических характеристик завихрителя на вихревую структуру потока в импульсной камере сгорания

Исаев А.И.*, **Майрович Ю.И.****, **Сафарбаков А.М.*****, **Ходацкий С.А.******

Иркутский филиал Московского государственного технического университета гражданской авиации, ул. Коммунаров, 3, Иркутск, 664047, Россия

**e-mail: isaew_alexandr@mail.ru*

***e-mail: mator38@mail.ru*

****e-mail: safarbakov@yandex.ru*

*****e-mail: sergeixodatski.kafedra@mail.ru*

Аннотация

Импульсная камера сгорания состоит из: фронтального устройства, выполненного в виде обратного клапана; цилиндрической части, обеспечивающей объем, в котором осуществляются процессы смешения топлива с воздухом и происходит процесс горения; газосборного устройства, обеспечивающего дросселирование потока; импульсной топливной форсунки, обеспечивающей подачу топлива; свечи зажигания обеспечивающей поджег топливно-воздушной смеси; периферийного завихрителя потока. При проектировании импульсной камеры сгорания одной из важнейших целей является создание объемной циркуляционной зоны, поскольку она оказывают большое значение на организацию процесса горения в импульсной камере сгорания газотурбинного двигателя. Наличие циркуляционных зон в объеме импульсной камеры сгорания определяет эффективность процесса смесеобразования, что в свою очередь влияет на величину импульса тяги и количество выбросов NO_x , CO и других вредных соединений. Поэтому важно знать

структуру потока в камере сгорания. На неё оказывают влияние: завихритель потока, диаметр камеры сгорания $D_{КС}$, диаметр выходного сечения газосборного устройства камеры сгорания D_C . Одним из эффективных способов управления структурой потока, является использование завихрителей потока. В импульсной камере сгорания управляющим воздействием на размер циркуляционных зон являются периферийный завихритель потока, обладающий следующими геометрическими характеристиками: угол установки лопаток завихрителя θ^0 , высота лопатки завихрителя z , шаг установки лопаток завихрителя s , длина хорды лопатки завихрителя c , кривизна профиля лопатки завихрителя. Варьируя выше перечисленными факторами, проведены гидродинамические исследования, на экспериментальной установке «Гидробассейн». В результате гидродинамических исследований определены наилучшие геометрические характеристики завихрителя, угол установки лопаток завихрителя $\theta = 53^0$, высота лопатки $\bar{z} = 0.18$, длина хорды лопатки $\bar{c} = 0.71$, шаг установки лопаток завихрителя $\bar{s} = 0.43$, что соответствует 10 лопаткам, и импульсной камеры сгорания, диаметр камеры сгорания будет определяться исходя из диаметр миделевого сечения газотурбинного двигателя, диаметр сопла импульсной камеры сгорания $\bar{D}_C = 0.4$, а совокупным результатом исследований явился существенный прирост циркуляционных зон.

Ключевые слова: завихритель, импульсная камера сгорания, фронтное устройство, зона обратных токов.

Введение

Для обеспечения процесса горения топливно-воздушной среды необходимо обеспечить существование циркуляционной зоны по всему объему импульсной камеры сгорания, в которой бы происходило эффективное смешение продуктов горения и воздуха [1,2].

Процессы смешения топливно-воздушной смеси (ТВС) играют особо важную роль в зонах горения [3,4]. Хорошее смешение топлива с воздухом в зоне горения необходимо для обеспечения высоких скоростей горения и как следствие для создания высокого импульса тяги, а также для минимизации образования сажи и окислов азота, и для обеспечения равномерности температуры газов на выходе из газосборного устройства камеры сгорания. Следовательно, при проектировании импульсной камеры сгорания главной целью является достижение хорошего перемешивания топливно-воздушной смеси, устойчивое её горение по всей длине с минимальным расходом топлива.

Импульсная камера сгорания (ИКС) (рис. 1) [5] представляет собой трубчатую КС, состоящую из:

- фронтального устройства, обеспечивающего импульсную подачу воздуха в камеру сгорания. Оно выполнено в виде обратного клапана 1, который пропускает поток воздуха в камеру сгорания, но препятствует его выходу в обратном направлении. Обратный клапан включает в себя: седло тарельчатого клапана 1 с профилированными каналами подачи воздуха в камеру сгорания, тарельчатый

клапан 2, закрепленный на штоке с возвратной пружиной, периферийный завихритель потока 3 [6], для создания циркуляционных зон в камере сгорания [7];

- цилиндрической части 4 (импульсной камеры сгорания), обеспечивающей определенный объем для существования циркуляционных зон;

- суживающейся части 5 (газосборника), обеспечивающей дросселирование потока газов для создания давления в КС;

- импульсной топливной форсунки 6, служащей для импульсной подачи топлива в циркуляционные зоны;

- свечи розжига топлива 7, служащей для воспламенения топливно-воздушной смеси.

В результате проведенных исследований, выполненных в работах [5,6], установлено, что на объем циркуляционных зон в импульсной камере сгорания существенное влияние оказывают геометрические характеристики завихрителя (рис. 2). К ним относятся: угол установки лопаток завихрителя θ^0 , высота лопатки завихрителя z , шаг установки лопаток завихрителя s , длина хорды лопатки завихрителя c , кривизна профиля лопатки завихрителя.

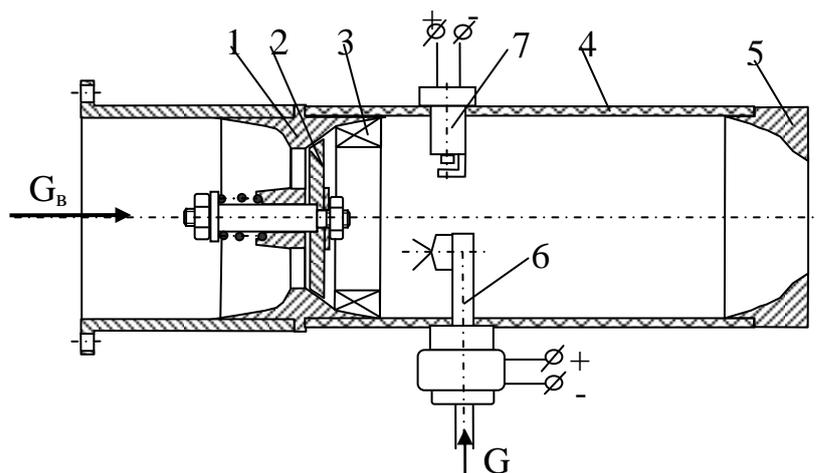


Рис. 1 Импульсная камера сгорания

Кроме того, на объем циркуляционных зон в импульсной камере сгорания существенное значение оказывают её геометрические характеристики. Это диаметр камеры сгорания $D_{КС}$ и диаметр выходного сечения газосборного устройства камеры сгорания D_C .

Конструкция завихрителя для импульсной камеры сгорания имеет некоторое отличие от завихрителя примененного в камерах сгорания непрерывного действия. Это отличие заключается в том, что у основных используемых типов камер сгорания непрерывного действия завихритель располагается в головной части камеры вокруг топливной форсунки. В импульсной камере сгорания завихритель устанавливается во фронтальном устройстве за тарелкой обратного клапана по периферии обечайки камеры сгорания. Такая конструкция завихрителя обеспечивает некоторое различие в структуре потока в импульсной камере сгорания и КС непрерывного действия.

Рассмотрим влияние геометрических характеристик завихрителя и камеры сгорания на структуру и объем циркуляционных зон.

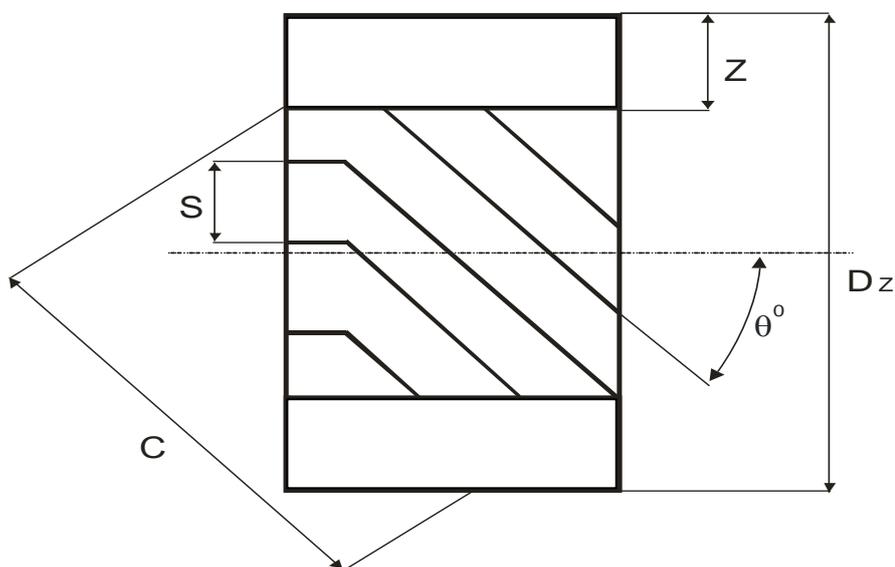


Рис. 2 Схема периферийного завихрителя

Существует ряд способов экспериментального исследования структуры потока в камерах сгорания авиационных ГТД.

К ним относятся:

- натурные испытания [8];
- испытания на специальных установках или стендах с использованием в качестве рабочего тела (РТ) – воздуха, визуализируемого дымовым, паровым и теневым способами [8];
- испытания на специальных установках или стендах с использованием в качестве РТ жидкости, окрашенной различными красителями [8].

Так как проведение натурных экспериментов связано с большими материальными затратами, а воздух является неудобным РТ в силу высокой прозрачности и малой плотности, то в качестве базового способа проведения

экспериментальных исследований выбран метод с использованием в качестве РТ воды [8]. Для проведения экспериментов была разработана и изготовлена специальная установка гидробассейн и вспомогательное оборудование (рис. 3).



Рис. 3 Экспериментальная установка «Гидробассейн»

В качестве объекта исследования использовалась модель импульсной камеры сгорания трубчатого типа, с фронтальным устройством, выполненным в виде обратного клапана с периферийным завихрителем, установленным на обечайке камеры сгорания (рис. 4).

За характерный линейный размер принята величина $D_{\text{ЭКВ}} = 56$ мм равная диаметру тарелки обратного клапана. Для соблюдения условий подобия все линейные размеры импульсной КС и завихрителя выражены в относительных величинах [8]:

- относительная длина камеры сгорания;
- относительный диаметр камеры сгорания;
- относительный радиус камеры сгорания;

$\bar{D}_c = \frac{D_c}{D_{ЭКВ}}$ - относительный диаметр выходного сечения газосборного

устройства камеры сгорания;

$\bar{D}_z = \frac{D_z}{D_{ЭКВ}}$ - относительный диаметр завихрителя;

$\bar{z} = \frac{z}{D_{ЭКВ}}$ - относительная высота лопатки завихрителя;

$\bar{s} = \frac{s}{D_{ЭКВ}}$ - относительный шаг установки лопаток завихрителя;

$\bar{c} = \frac{c}{D_{ЭКВ}}$ - относительная длина лопатки завихрителя.

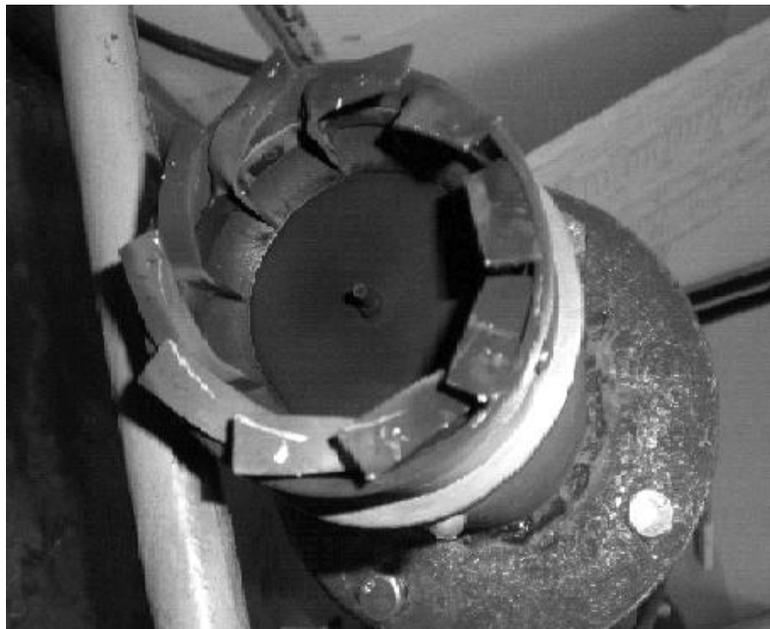


Рис. 4 Завихритель

Для выявления степени влияния этих параметров на объем циркуляционных зон в ИКС были изготовлены завихрители с диаметром $\bar{D}_z = 1.39$ и с углами выхода θ° равными: 10° ; 20° ; 30° ; 40° ; 50° ; 60° ; 70° и 80° . Высота лопаток завихрителя \bar{z} принималась равной: 0,09; 0,18; 0,27. Длина хорды лопатки завихрителя \bar{c} принималась равной: 0,54; 0,71; 0,89; 1,07. Шаг установок лопаток завихрителя \bar{s}

принимался равным: 0.67 (6 лопаток), 0.502 (8 лопаток), 0.402 (10 лопаток), 0.335 (12 лопаток), 0.287 (14 лопаток). Эксперимент проводился методом перебора влияющих параметров на объем циркуляционных зон. По мере выявления степени влияния одного параметра этот параметр фиксировался и изменялся следующий параметр при фиксированных значениях других.

При проведении экспериментальных исследований диаметры моделей камер сгорания $\bar{D}_{КС}$ принимались равными: 1.39, 1.79, 2.68. Диаметры выходного сечения газосборника камеры сгорания \bar{D}_C принимались: 0.32, 0.39, 0.45, 1.39. Расход воды G_B через фронтное устройство ИКС оставался постоянным.

Экспериментальные исследования для получения качественной и количественно картины течения в модели импульсной камеры сгорания проводились следующим образом. Через фронтное устройство в модель ИКС с фиксированными значениями θ^0 , \bar{z} , $\bar{D}_{КС}$, $\bar{L}_{КС}$, \bar{D}_C , \bar{s} , \bar{c} задавался определенный расход воды G_B . В результате этого в модели импульсной КС возникали циркуляционные течения, которые фиксировались фотоаппаратом и видеокамерой [3,9]. Площади циркуляционных зон фиксировались при помощи подкрашенной жидкости вводимой с помощью медицинской иглы в зоны осевого, кольцевого и циркуляционного течения по всей длине модели КС. После проведения эксперимента изменялся угол установки лопаток завихрителя при постоянстве других параметров завихрителя и камеры сгорания и исследования продолжались.

Объем циркуляционных зон оценивался в процентах от общего объема КС.

Замеры по определению высоты зон кольцевого и циркуляционного течения

по диаметру КС проводились через расстояние $L=3$ см по длине камеры сгорания. Нулевое значение координаты отсчета находилось под срезом завихрителя.

Исследования по определению объёма ЗОТ в моделях камеры сгорания проводились в следующей последовательности.

1 Для модели камеры сгорания с параметрами $\bar{D}_{КС} = 1.39$; $\bar{L}_{КС} = 5.89$; $\bar{D}_C = 1.39$ и параметрами завихрителя $\bar{z}=0.26$, $\bar{c}=1.07$, $\bar{s}=0.42$ определялся угол установки лопаток завихрителя θ^0 , генерирующий максимальный объем циркуляционных зон.

2 Для выбранного угла установки лопаток завихрителя θ^0 , обеспечивающего максимальный объем циркуляционных зон определялась высота лопаток завихрителя \bar{z} , генерирующая максимальный объем циркуляционных зон при постоянстве других параметров камеры сгорания и завихрителя.

3 Для выбранных параметров θ^0, \bar{z} определялась длина хорды лопатки завихрителя \bar{c} генерирующая максимальный объем циркуляционных зон.

4 Для выбранных параметров $\theta^0, \bar{z}, \bar{c}$ определялся шаг установки лопаток завихрителя \bar{s} , при котором наблюдался максимальный объем циркуляционных зон в камере сгорания.

5 Для выбранных геометрических параметров завихрителя обеспечивающих максимальный объем циркуляционных зон определялся диаметр камеры сгорания \bar{D}_C , при котором наблюдался наибольший объем циркуляционных зон.

6 Для выбранных геометрических параметров завихрителя и диаметра камеры сгорания $\bar{D}_{КС}$ проводились исследования объёма циркуляционных зон в

зависимости от диаметра выхода из газосборного устройства КС \bar{D}_c .

Исследование влияния угла установки лопаток завихрителя на величину циркуляционных зон.

При проведении экспериментальных исследований выявлено, что при всех углах установки лопаток завихрителя θ^0 кроме 90^0 за обратным клапаном существует циркуляционная зона (рис. 5). Циркуляционное течение в данном случае получается из соотношения осевой s_a и тангенциальной s_τ составляющих скоростей потока. В свою очередь значение составляющих этих скоростей будет зависеть от степени кривизны потока создаваемой завихрителем, или от угла установки лопаток завихрителя.

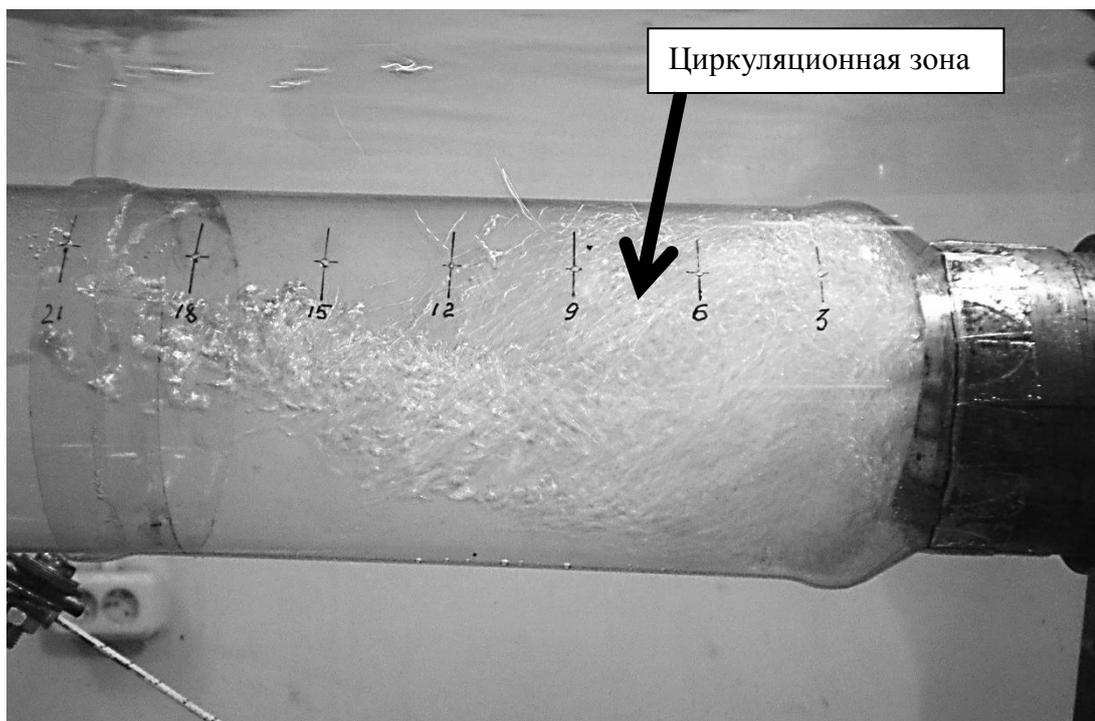


Рис.5 Течение потока в жаровой трубе импульсной камеры сгорания

Если в течении потока осевая составляющая скорости s_a будет больше, или равна тангенциальной составляющая s_τ , то будет наблюдаться течение по спирали

[10]. Если осевая составляющая скорости будет равна нулю, а тангенциальная составляющая скорости не равна нулю, то будет наблюдаться течение по кольцу. Это течение определяет границу циркуляционных зон [11]. В том случае если осевая составляющая скорости будет иметь направление в сторону фронтального устройства, то возникают циркуляционные течения.

Таким образом, схема течения потока в камере сгорания будет выглядеть как на рис 6.

В результате проведения первого эксперимента были построены графики влияния угла установки лопаток завихрителя θ^0 на размеры циркуляционной зоны по длине и диаметру камеры сгорания при неизменном значении других параметров (рис. 7).

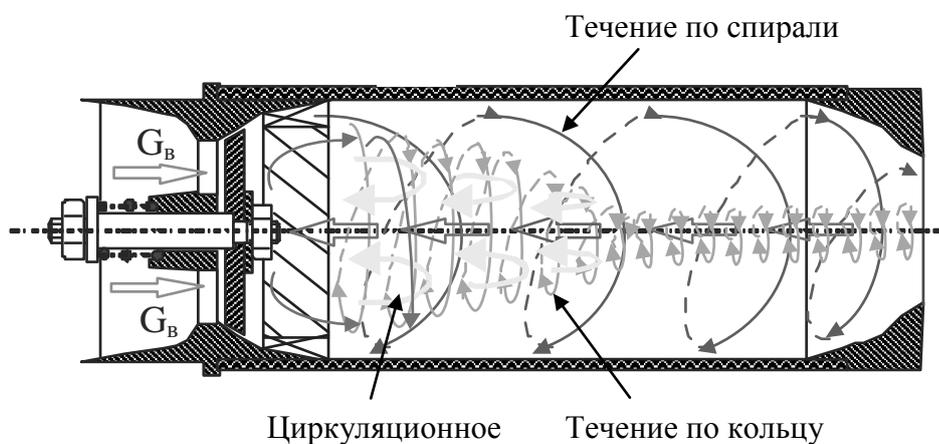


Рис. 6 Схема течения потока в ИКС

Анализ данного графика (рис. 7) показывает, что завихрители со всеми углами установки θ^0 создают циркуляционные зоны. При угле установки лопаток завихрителя 10^0 крутка потока мала и циркуляционные течения образуются в основном из-за влияния тарелки обратного клапана, которая является плохообтекаемым телом. При угле $\theta=20^0$ объем циркуляционных зон по радиусу и

длине камеры сгорания несколько увеличился, так как увеличилась крутка и соответственно возросла тангенциальная составляющей скорости потока. Дальнейшее увеличение угла установок лопаток завихрителя ведет к существенному увеличению объема циркуляционных зон по длине и радиусу камеры сгорания. Максимальные зоны циркуляционных течений наблюдаются при угле θ примерно равном 50° . За счет большой крутки потока за фронтальным устройством камеры сгорания появляется интенсивная циркуляционная зона, в которой составляющие осевой скорости направлены к тарелке обратного клапана. Поток, соударяясь с поверхностью тарелки обратного клапана, растекается к периферии и опять увлекается спиральным течением.

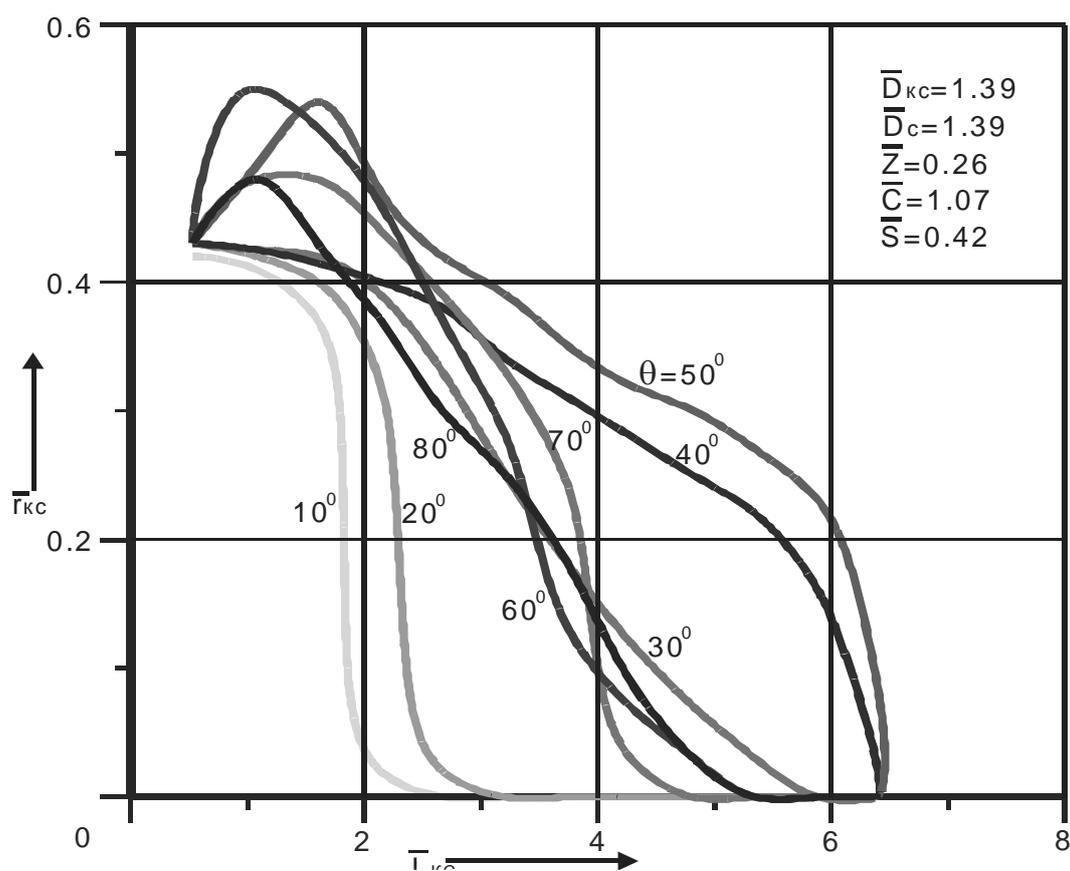


Рис. 7 Влияния угла установки лопаток завихрителя θ°

На большом удалении от завихрителя площади циркуляционных зон уменьшаются за счет сил трения и вязкости. Поток на значительном осевом удалении от фронтального устройства теряет свою энергию и будет не способен инициировать циркуляционные течения.

За циркуляционным течением существует точка полного торможения потока. За этой точкой циркуляционных зон не существует. Примерно по оси камеры сгорания существует срединный вихрь, вытекающий из сопла камеры сгорания.

При увеличении углов установки лопаток завихрителя свыше 60° площади циркуляционных зон уменьшаются. Происходит это из-за того, что увеличение угла установок лопаток ведет к уменьшению межлопаточных проходов. Уменьшение межлопаточных проходов ведет к увеличению гидравлического сопротивления. В этом случае поток начинает обтекать лопатки сверху, что ведет к разрушению циркуляционных зон.

При угле установки лопаток завихрителя 90° концевика лопаток полностью перекрывают межлопаточные каналы и поток обтекает лопатки завихрителя сверху полностью разрушая циркуляционные зоны.

Вычислив площади циркуляционных зон по длине и диаметру камеры сгорания, создаваемые завихрителями с разными углами установки лопаток [8], можно построить график изменения площадей циркуляционных зон при изменении θ° (рис. 8), при $\bar{D}_c = const$, $\bar{z} = const$, $\bar{s} = const$.

Анализ данного графика показывает, что при увеличении угла установки лопаток завихрителя θ° объем циркуляционных зон сначала возрастает до

некоторой величины, а затем начинает уменьшаться. Максимальный объем циркуляционных зон наблюдается при θ^0 примерно равном 50^0 .

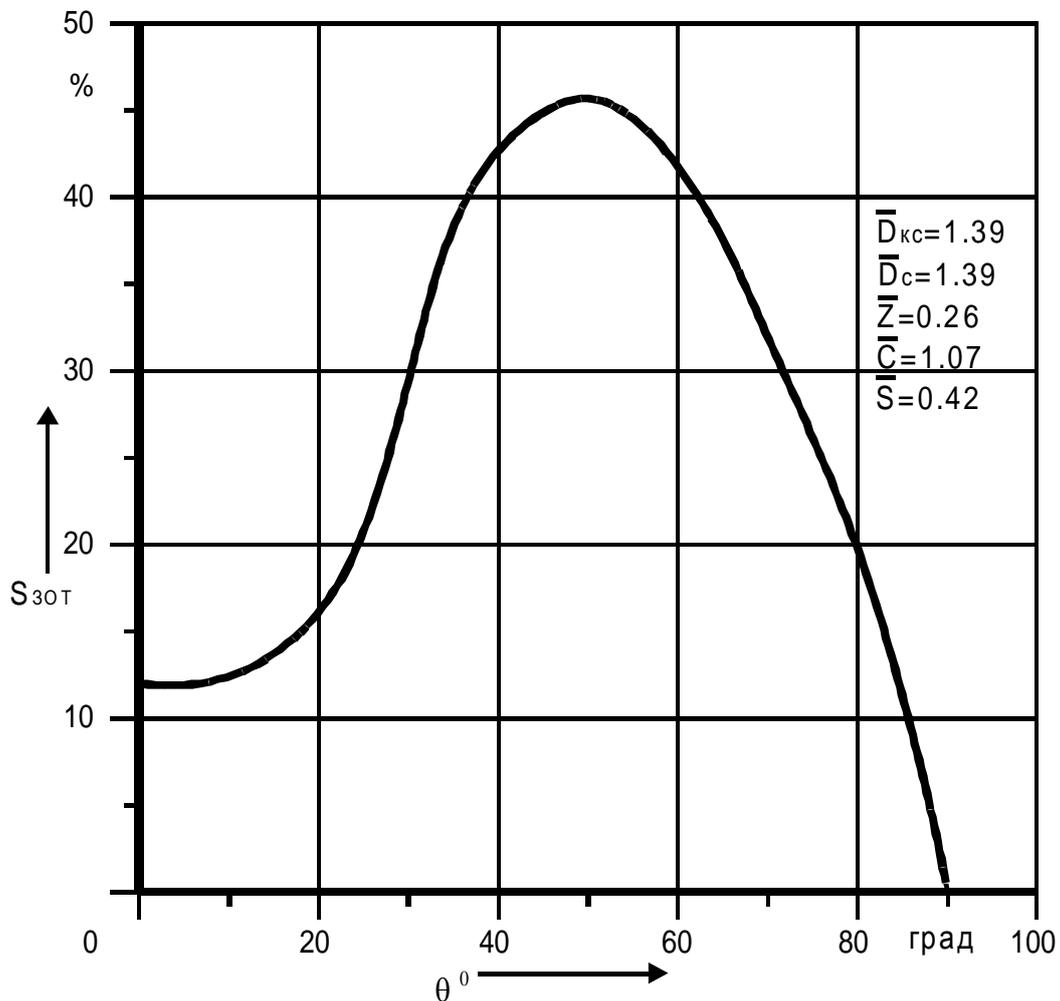


Рис. 8 График изменения площадей циркуляционных зон

Решение оптимизационной задачи по выбору угла установки лопаток завихрителя генерирующих максимальные объемы циркуляционных зон показывает, что таким углом является угол равный 53^0 .

Исследование влияния высоты лопатки завихрителя на величину циркуляционных зон.

Из предыдущего эксперимента определено, что максимальный объем циркуляционных зон создает завихритель с углом установки лопаток равным 53^0 .

Необходимо выяснить, как влияет высота лопаток завихрителя на объем циркуляционных зон в камере сгорания.

При проведении экспериментальных исследований высота лопаток завихрителя \bar{z} принималась равной: 0,09; 0,18; 0,27.

В результате проведения экспериментальных исследований установлено, что с увеличением высоты лопаток размер циркуляционных зон по длине и радиусу камеры сгорания увеличивается (рис. 9). Весьма вероятно, что это увеличение вызвано увеличивающейся величиной крутки потока. Так как увеличивается высота лопатки, то соответственно и большая масса потока прошедшего через профилированные отверстия обратного клапана увлекается в циркуляционное течение.

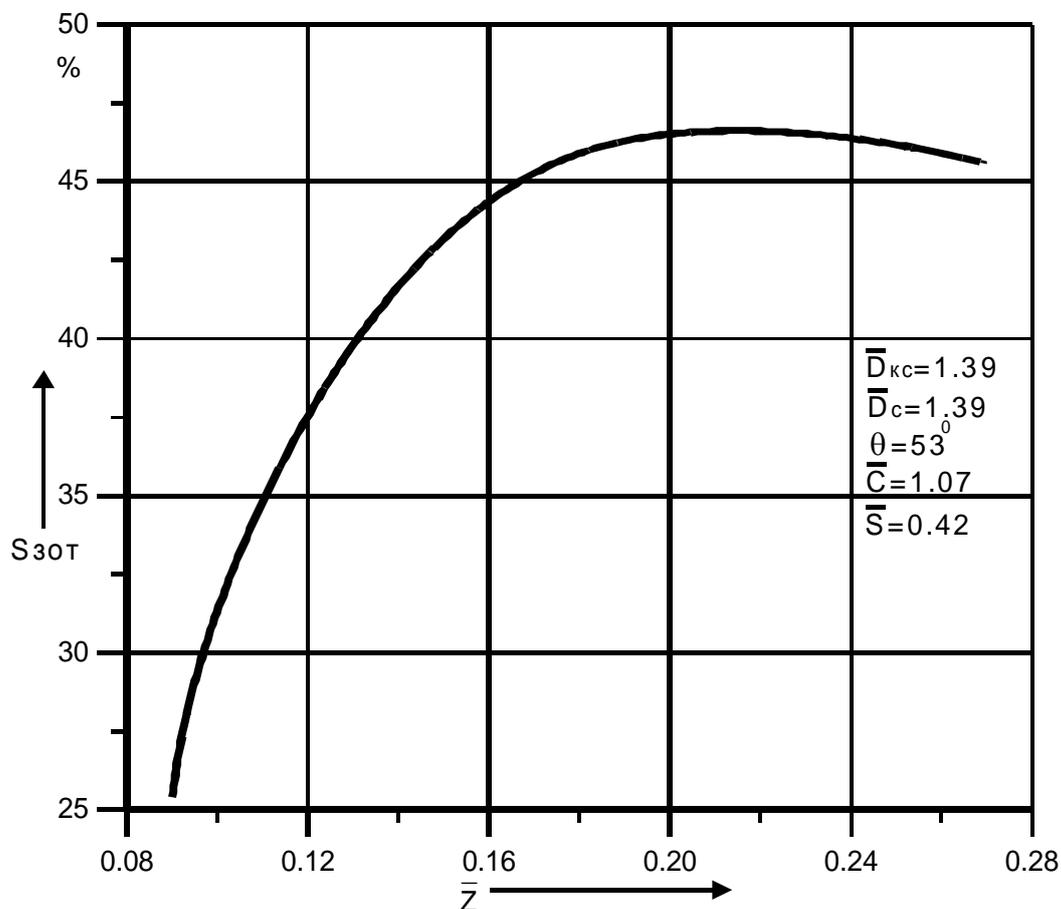


Рис. 9 Влияние высоты лопатки завихрителя

Существенный рост объема циркуляционных зон наблюдается до высоты лопатки завихрителя приблизительно равной $\bar{z}=0.2$. Далее этот рост замедляется и остается приблизительно постоянным.

Исследование влияния длины хорды лопатки завихрителя на величину циркуляционных зон.

Для выбранных параметров θ^0, \bar{z} определялась длина хорды лопатки завихрителя \bar{c} генерирующая максимальный объем циркуляционных зон.

При проведении экспериментальных исследований длина хорды лопатки завихрителя \bar{c} принималась равной: 0.54; 0.71; 0.89; 1.07.

В результате проведения экспериментальных исследований выявлено, что при увеличении длины хорды лопатки объем циркуляционных зон сначала резко увеличивается, а потом начинает несколько уменьшаться (рис. 10).

Максимальные площади циркуляционных зон наблюдаются тогда, когда длина хорды лопатки \bar{c} становится примерно 0.7.

Объяснить данное явление можно увеличивающейся круткой потока. Дальнейшее увеличение длины хорды лопатки сопровождается снижением площадей циркуляционных зон, так как увеличение длины лопаток ведет к уменьшению межлопаточных проходов, в результате чего возрастает гидравлическое сопротивление. В результате жидкость начинает обтекать лопатки сверху, разрушая циркуляционные зоны.

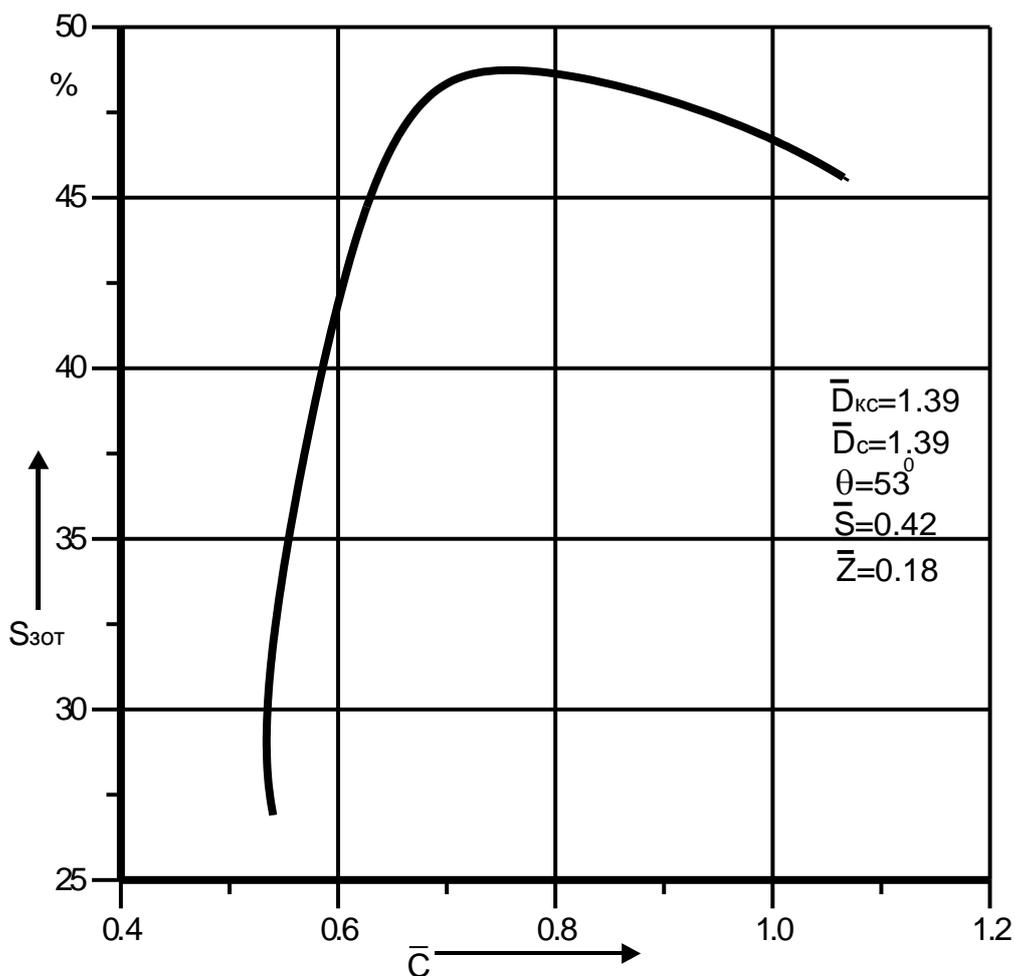


Рис. 10 Влияние длины хорды лопатки

Исследование влияния шага установки лопаток завихрителя на величину циркуляционных зон.

Для выбранных параметров θ° , \bar{z} , \bar{c} определялся шаг установки лопаток завихрителя \bar{s} при котором наблюдался максимальный объем циркуляционных зон в камере сгорания.

При проведении экспериментальных исследований шаг установки лопаток \bar{s} принимался равным: 0.73 (6 лопаток), 0.55 (8 лопаток), 0.43 (10 лопаток), 0.36 (12 лопаток), 0.31 (14 лопаток).

В результате проведенных исследований установлено, что при уменьшении шага установки лопаток или увеличении количества лопаток площади

циркуляционных зон сначала интенсивно увеличиваются (рис. 11). Существенное увеличение циркуляционных зон идет до шага установки лопаток \bar{s} , примерно равного 0.43, что соответствует 10 лопаткам. Дальнейшее уменьшение шага установки лопаток сопровождается уменьшением объема циркуляционных зон.

Объяснить данное явление можно тем, что при увеличении количества лопаток на определенной длине окружности завихрителя уменьшается площадь межлопаточных проходов. Уменьшение площади межлопаточных проходов ведет к увеличивающемуся гидравлическому сопротивлению в них. В результате поток жидкости начинает обтекать лопатки завихрителя сверху, разрушая циркуляционные зоны.

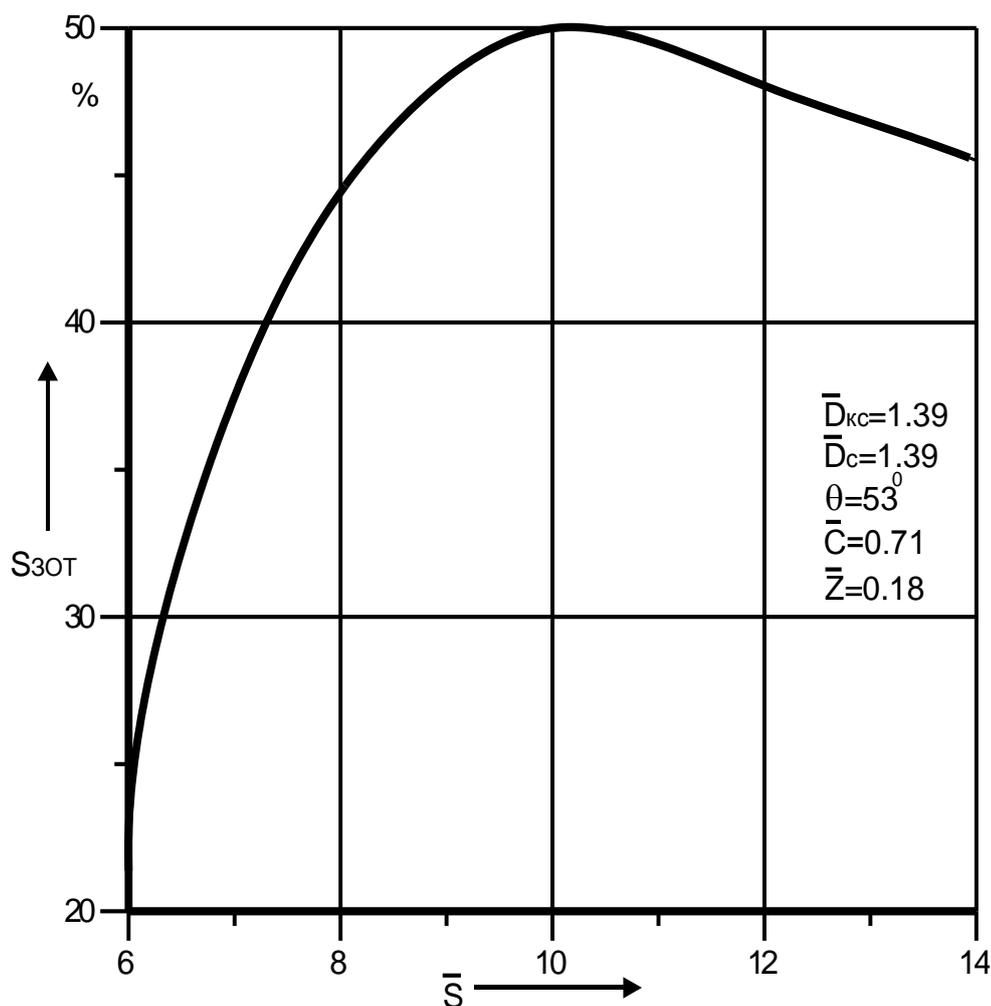


Рис. 11 Влияние шага установки лопаток

Исследование влияния диаметра камеры сгорания на величину циркуляционных зон.

Для завихрителя, индуцирующего максимальную площадь циркуляционных зон, были проведены исследования при изменении диаметра камеры сгорания. Для проведения эксперимента камеры сгорания выбирались с диаметрами $\bar{D}_{KC} = 1.79$ и $\bar{D}_{KC} = 2.68$. По результатам эксперимента была построена зависимость влияния площади циркуляционных зон при изменении диаметра камеры сгорания $S_{зот}=f(D_{KC})$ при $\theta=53^{\circ}$, $\bar{D}_c = const$, $\bar{z} = const$, $\bar{s} = const$ (рис. 12).

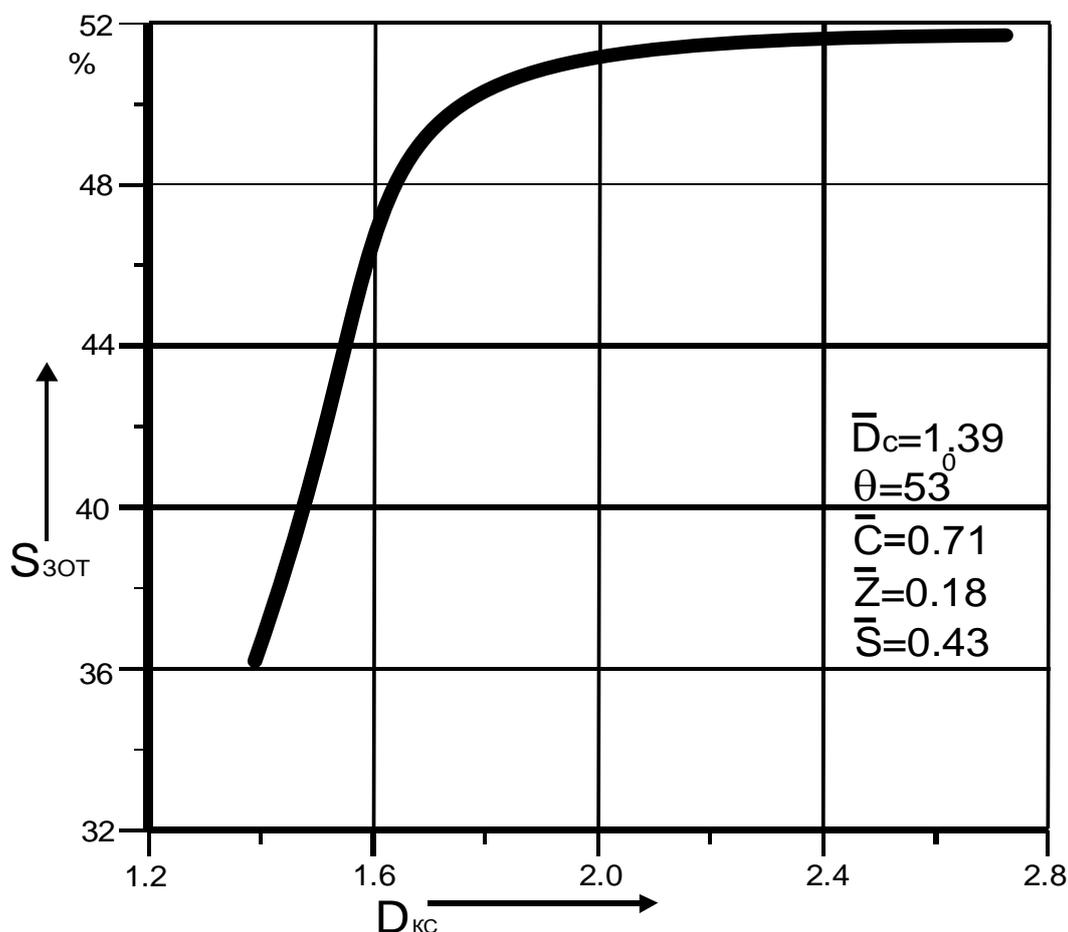


Рис. 12 Влияние диаметра камеры сгорания

Анализ данного графика показывает, что при увеличении диаметра камеры сгорания площади циркуляционных зон увеличиваются. Существенное увеличение

идет примерно до $\bar{D}_{KC} = 1.8$. При дальнейшем увеличении диаметра камеры сгорания рост площадей циркуляционных зон несколько снижается. Увеличение площадей циркуляционных зон можно объяснить увеличивающимся диаметром камеры сгорания. Поток, вышедший из лопаточных каналов завихрителя с определенным углом крутки, пытается по возможности заполнить как можно больший объем. В результате площади циркуляционных зон возрастают.

Исследование влияния диаметра сопла камеры сгорания на объем циркуляционных зон.

Для выявления влияния диаметра сопла камеры сгорания \bar{D}_C на величину циркуляционных зон были проведены экспериментальные исследования при изменении \bar{D}_C от 0.3 до 1.4 при $\theta^0 = 53$. В результате проведенных исследований был построен график зависимости площадей циркуляционных зон при изменении диаметра сопла камеры сгорания \bar{D}_C (рис. 13).

Анализ данного графика показывает, что при увеличении диаметра сопла до 0.4 площади циркуляционных зон резко возрастают. Дальнейшее увеличение \bar{D}_C приводит к не столь существенному возрастанию площадей циркуляционных зон.

Объяснить данное явление можно при помощи уравнения баланса расходов через фронтное устройство камеры сгорания и сопла камеры сгорания [10, 11]:

$$G_{B1} = \rho * V * F_1; G_{B2} = \rho * V * F_2$$

где ρ - плотность воздуха, V - скорость потока, F_1 - площадь проходного сечения в седле обратного клапана, F_2 - площадь проходного сечения сопла.

Из уравнения расхода видно, что расход жидкости через сечение зависит от

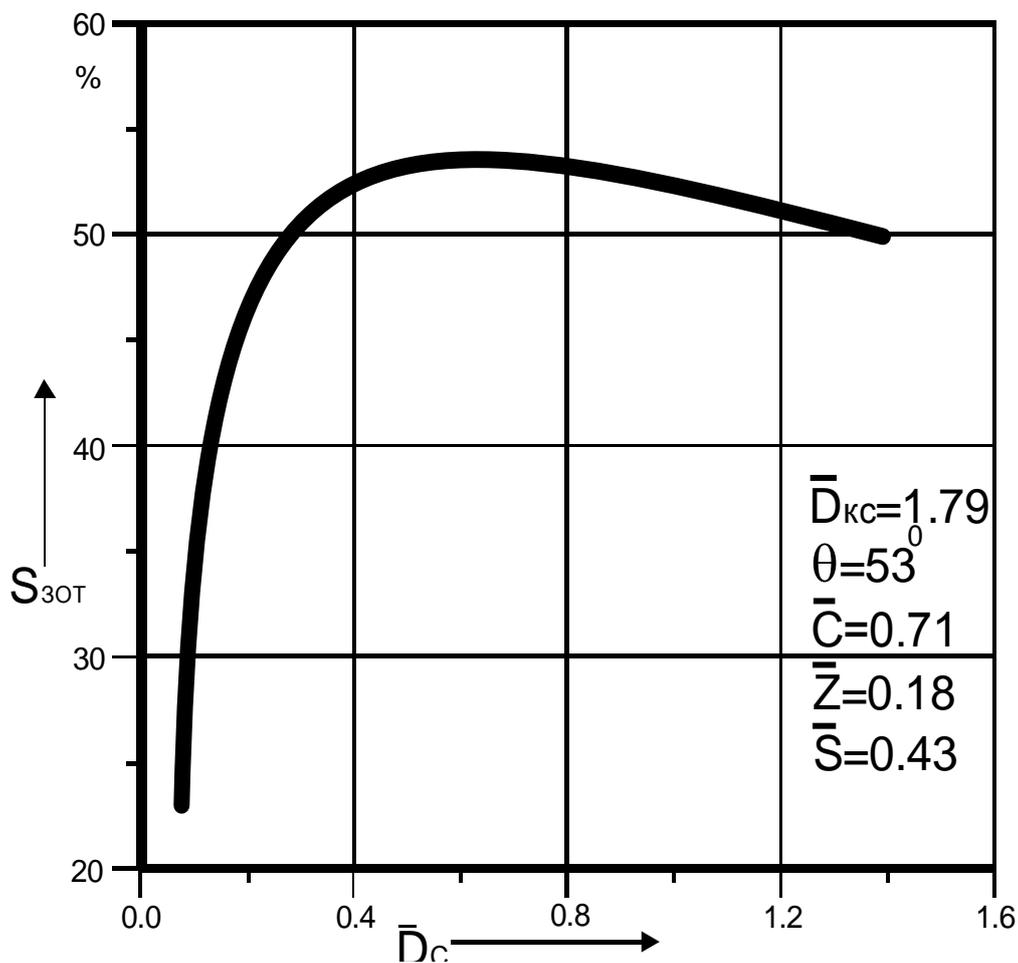


Рис. 13 Влияние диаметра сопла

площади сечения, от скорости течения и от плотности потока жидкости. Условием проведения гидродинамических исследований модели импульсной камеры сгорания является то, что количество жидкости, попавшее в камеру сгорания через фронтное устройство должно быть равно количеству жидкости, вышедшему через сопло. Если площадь сопла будет равна нулю, то соответственно и расход жидкости через сопло будет равен нулю. Следовательно, циркуляционных зон не возникнет. Очевидно, что увеличение площади сопла приведет к увеличению скорости истечения

жидкости через него за счет сохранения баланса расходов. В потоке произойдет увеличение осевой составляющей скорости и тангенциальной.

Следовательно, возрастут площади циркуляционных зон. Как только при увеличении площади поперечного сечения сопла произойдет равенство расходов через фронтное устройство и через сопло, интенсивный рост составляющих осевых и тангенциальных скоростей сменится на незначительный. Такой прирост скорости не сможет индуцировать интенсивно возрастающих циркуляционных зон. Наибольший прирост площади циркуляционных зон наблюдается до величины D_c , примерно равном 0.4.

Заключение

В результате проведенных гидродинамических исследований периферийного завихрителя для импульсной камеры сгорания выявлено:

- угол установки лопаток завихрителя является параметром, оказывающим максимальное воздействие на интенсивность и величину циркуляционных зон. При угле установок лопаток завихрителя примерно равном 53° площади циркуляционных зон максимальны;

- высота лопатки, обеспечивающая максимальный прирост циркуляционных зон, примерно соответствует $\bar{z}=0.18$;

- длина хорды лопатки, генерирующая максимальный объем циркуляционных зон, примерно соответствует $\bar{c}=0.71$;

- шаг установки лопаток завихрителя, при котором объем циркуляционных зон максимален, примерно соответствует $\bar{s}=0.43$, что соответствует 10 лопаткам;

- величина диаметра камеры сгорания так же определяет величину и интенсивность циркуляционных зон. Наилучший диаметр камеры сгорания будет определяться конструктивными соображениями газотурбинного двигателя (диаметр миделевого сечения газотурбинного двигателя).

- величина площади поперечного сечения сопла импульсной камеры сгорания так же определяет величину и интенсивность циркуляционных зон. Максимальные площади циркуляционных зон наблюдаются при $\bar{D}_C = 0.4$. Дальнейший рост \bar{D}_C не сопровождается интенсивным ростом циркуляционных зон.

Библиографические ссылки

1. Старцев Н.И. Конструкция и проектирование камеры сгорания. - Самара: Изд-во СГАУ, 2007. - 120 с.

2. Исаев А.И., Сафарбаков А.М., Майрович Ю.И. Гидродинамические исследования структуры потока в жаровой трубе импульсной камеры сгорания авиационного ГТД. - Materiály IX mezinárodnívědecko - praktickákonference «Modernívymoženostivědy – 2013». Praha, Educationand Science, 2013. pp. 40 – 47.

3. Лефевр А. Процессы в камерах сгорания ГТД. - М.: Мир, 1986. 566 с.

4. Нечаев Ю.Н. и др. Теория авиационных двигателей. - М.: Воениздат, 1990. Часть1. 312 с.

5. Исаев А.И., Сафарбаков А.М., Богданович Д.В., Майрович Ю.И. Конструкция импульсной камеры сгорания для газотурбинного двигателя // Сборник статей Тринадцатой международной научно-практической конференции

“Фундаментальные и прикладные исследования, разработка и применение высоких технологий в промышленности и экономике“. Санкт-Петербург, 2012, С. 67-71.

6. Исаев А.И., Сафарбаков А.М., Майрович Ю.И. Выбор завихрителя для импульсной камеры сгорания // Известия вузов. Авиационная техника. 2013. №4. с. 1-5.

7. Установки газотурбинные. Термины и определения. ГОСТ Р51852 – 2001. - М.: Изд-во стандартов, 2001. 15 с.

8. Шенк Х. Теория инженерного эксперимента. - М.: Мир, 1972. - 381 с.

9. E. Kilik, The Influence of Swirler Design Parameters on the Aerodynamics of the Downstream Recirculation Region, Ph.D. thesis, School of Mechanical Engineering, Cranfield Institute of Technology, England, 1976.p. 236.

10. Кобельков В.Н., Улас В.Д., Федоров Р.М. Термодинамика и теплопередача. – М: ВВИА им. Н.Е. Жуковского, 2004. - 322 с.

11. Седов Л.И. Механика сплошной среды. - М.: Наука, Том 2. 1970. - 568 с.