

УДК 629.7.036

Маков М.А.

Студент

Кафедра «Плазмогазодинамика и теплотехника»

БГТУ «Военмех» им. Д.Ф.Устинова

Россия, г. Санкт-Петербург

Богданюк Д.О.

Студент

Кафедра «Плазмогазодинамика и теплотехника»

БГТУ «Военмех» им. Д.Ф.Устинова

Россия, г. Санкт-Петербург

**ВЛИЯНИЕ СТЕПЕНИ ПОНИЖЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ В РЕАКТИВНЫХ
СОПЛАХ НА ИЗМЕНЕНИЕ ИХ ОСНОВНЫХ
ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК**

Аннотация: в работе приведены в виде графиков зависимости основных внутренних параметров реактивных сопел в зависимости от степени понижения давления в сопле до давления окружающей среды. Рассмотрены ситуации для всех критических перепадов давления. Приведено значение величин перепада после которого сам перепад давлений не влияет на параметры.

Ключевые слова: сопло, внутренние параметры, давление, тяга, коэффициент расхода

Makov M.A.

Student

Department of "Plasmogasdynamics and Heat Engineering"

BSTU "Voenmeh" them. D.F. Ustinov

Russia, St. Petersburg

Bogdanyuk D.O.

Student
Department of "Plasmogasdynamics and Heat Engineering"
BSTU "Voenmeh" them. D.F. Ustinov
Russia, St. Petersburg

INFLUENCE OF THE DEGREE OF PRESSURE REDUCTION IN JET NOZZLES ON THE CHANGE OF THEIR MAIN GAS DYNAMIC CHARACTERISTICS

Annotation: in the work are given in the form of graphs of the dependence of the main internal parameters of jet nozzles, depending on the degree of pressure reduction in the nozzle to the ambient pressure. Situations for all critical pressure drops are considered. The value of the differential values is given, after which the pressure drop itself does not affect the parameters.

Keywords: nozzle, internal parameters, pressure, thrust, flow rate.

Развитие авиационных наук и создание сложных аппаратов потребовали огромного количества научных исследований при проектировании реактивных двигателей, а значит и их частей. В связи с этим увеличились и требования, предъявляемые к двигателям: они должны быть более экономичны, и должны выдавать максимальную тягу. Эти запросы вызвали необходимость детального изучения выходного устройства – сопла, как одного из важнейших элементов двигателя.

Огромное количество литературы как отечественной, так и зарубежной посвящено результатам различных исследований в области газодинамики сопел. Отметим, что теоретическое и экспериментальное направления в этой области тесно связаны друг с другом. Опыт этих исследований и разработок сопел показывает, что выбор сопел для самолётов разного назначения является комплексным решением проблем и задач аэрогазодинамики.

При выборе схемы, разработке и производстве сопла одной из ключевых задач является обеспечение максимальной тяги на любом режиме работы. Иными словами, необходимо при меньших массогабаритных характеристиках приблизить реальное течение потока по соплу к идеальному.

Немаловажной частью в эффективности работы самолёта является возможность удовлетворения требований, предъявляемых к степени совершенства сопла.

Выделим некоторые из основных проблем сопел, связанных с их внутренней аэрогазодинамикой: влияние геометрии сопла и параметров потока на основные аэродинамические характеристики сопла, а так же определение тех параметров, которые являются ключевыми во влиянии на внутренние характеристики сопел.

Основными аэродинамическими характеристиками сопел, независимо от схемы и типа, являются: коэффициенты расхода, скорости (потери скорости), тяги (удельной тяги) или соответствующие потери тяги, а так же импульса. Все указанные величины зависят от геометрических параметров сопла и газодинамических параметров течения, протекающего в сопле. Выделим один геометрический параметр, который в свою очередь влияет на огромное количество решений, такие как выбор типа, схемы, прочих геометрических и других параметров. Это степень понижения давления в сопле от полного (p_{0c}) до статического давления окружающей среды (p_{∞}):

$$\pi_c = \frac{p_{0c}}{p_{\infty}} \quad (1)$$

Как говорилось ранее, массогабаритные характеристики играют огромную роль при проектировании сопел. При этом степень понижения давления влияет на площадь выходного сечения сопла. Так, например, относительная площадь сопла (отношение площади выходного сечения к

площади критического) для газа с показателем адиабаты 1,4 составляет примерно 2 при $\pi_c = 10$, увеличивается до примерно 5 при $\pi_c = 50$, и достигает значения в 20 при $\pi_c = 500$, что в свою очередь влияет на массогабаритные характеристики сопла [1,2].

Отметим здесь, что при анализе работ разных авторов можно заметить, что значение полного давления при расчётах берётся в выходном, либо же в критическом сечении. При этом для большинства сопел, разница в расчётах не превышает десятой доли от значения. В силу сказанного при сравнении разных сопел можно упустить в каком именно сечении берётся эта величина и рассматривать её как перепад давления в сопле [1,2].

Уточним, что для аппаратов с ВРД порядок значений при дозвуковой скорости полёта не превышает десяти, для сверхзвуковых скоростей этот показатель возрастает до 30, а при переходе к большим скоростям возрастает в десятки раз и при гиперзвуковом полёте, при скорости Маха около 6, достигают порядка 600 [2,4].

Чтобы оценить влияние степени понижения давления проанализируем качественное изменение следующих параметров: потери тяги $\Delta \bar{P}_c$, а так же коэффициенты расхода μ_c , тяги \bar{P}_c , скорости φ_c , относительного импульса \bar{J}_c . Изменение указанных параметров при изменении степени понижения давления π_c связано с изменением характера течения в сопле.

Для лучшего понимания проанализируем указанное изменение для сверхзвукового сопла с жёстким контуром. На рисунке 1 [1] представлен качественный характер изменения основных внутренних характеристик сопел при увеличении π_c . Переходу к другим типам течения в сопле при соответствующих π_c соответствует изменение указанных характеристик.

Отметим, что величина критического перепада давления зависит от показателя адиабаты газа и варьируется в диапазоне 1,7-2,1 [2].

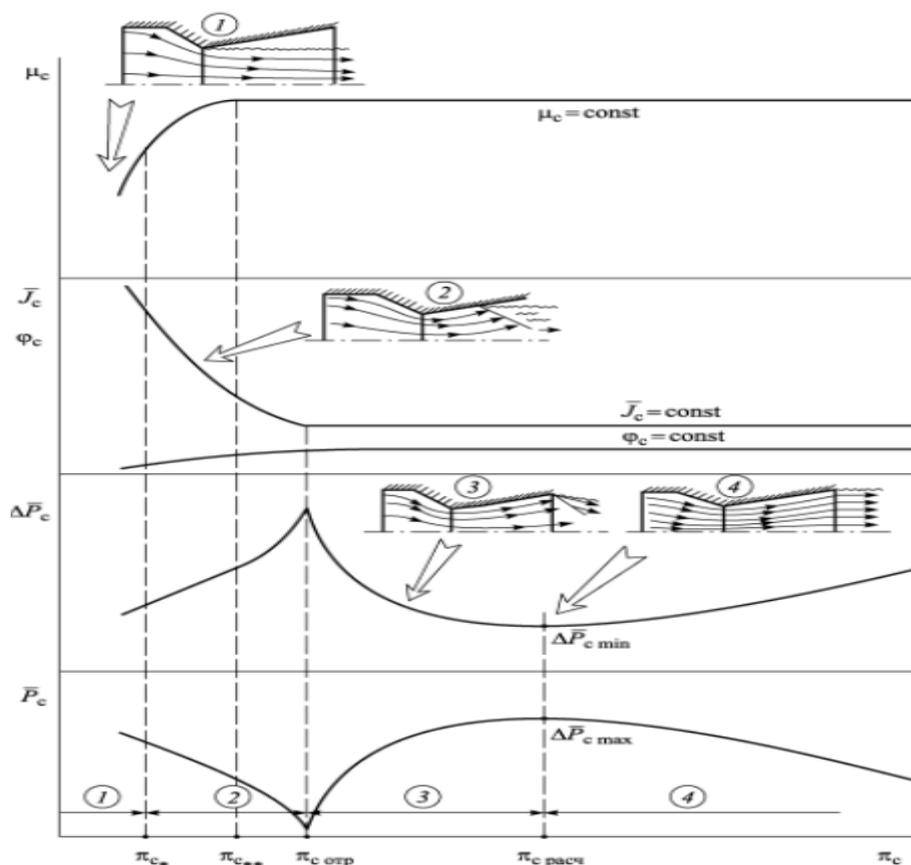


Рисунок 1—Основные характеристики сопел

Области под номером 1 соответствует дозвуковое течение в сужающейся части сопла, в случае когда степень понижения давления меньше первого критического перепада давления π_{c*} , которому соответствует возникновение скорости звука в критическом сечении. Указанная область является нехарактерной в случае сверхзвуковых сопел.

В области 2 наблюдается появление сверхзвуковой скорости в закритической части. На данном участке важна величина второго критического перепада давления π_{c**} , когда в расширяющейся части сопла появляется полностью сверхзвуковое течение. Указанный режим течения принято называть «запертым». В этой точке, когда перепад давления становится больше второго критического, величина коэффициента расхода становится постоянной и независимой от π_c .

Переход от области 2 к 3 характеризует значение $\pi_{c\text{отр}}$, начиная с которого сверхзвуковой поток достигает среза сопла, и отрыв потока с закритических стенок сопла ликвидируется. При таком значении перепада давления наблюдается максимальное перерасширение реактивной струи в сопле, тяга сопла минимальна, а потери тяги максимальны. Данное явление именуют пиком потерь тяги. Однако при увеличении π_c влияние давления окружающей среды на внутренние стенки сопла исчезает, а φ_c и \bar{J}_c становятся неизменными величинами, независимыми от перепада давления. Также, при указанном увеличении, течение приближается к расчётному, вследствие чего наблюдается увеличение относительной тяги и соответствующее уменьшение потерь тяги, что можно наблюдать в области 3.

Следующим важным значением перепада давления является его расчётное значение $\pi_{c\text{расч}}$, когда давление на срезе и давление в окружающей среде равны. При этом значении тяга сопла принимает своё максимальное значение, а потери тяги минимальное.

При дальнейшем увеличении π_c (область 4) наблюдается снижение тяги (относительной тяги) и соответствующее увеличение потерь тяги. Это вызвано недорасширением струи в выходном сечении сопла.

Из рисунка 1 видно, что при $\pi_c > \pi_{c**}$ коэффициент расхода сопла, при $\pi_c > \pi_{c\text{отр}}$ коэффициент скорости, относительный импульс являются неизменными величинами, а значит их можно использовать как характеристики совершенства сопла.

При этом значение μ_c будет говорить о совершенстве докритической области, а потери импульса и потери коэффициента скорости о закритической.

Стоит учитывать и тот факт, что выход на «полку» величин коэффициентов импульса и скорости сопла будет происходить для

химически нереагирующих газов. По этой причине в случаях сопел жидкостных и твёрдотопливных ракетных двигателей, в силу высоких температур и давлений, указанные величины могут зависеть от давления, оказывающего влияния на течение реакций.

Стоит отметить тот факт, что указанные значения перепадов давления не взаимосвязаны, а рассчитываются исходя из геометрических параметров сопла.

Использованные источники:

1. Лаврухин Г.Н. Аэрогазодинамика реактивных сопел. Т. I. Внутренние характеристики сопел. — М.: Наука. ФИЗМАТЛИТ, 2003.
2. Мельников Д.А., Пирумов У.Г., Сергиенко А.А. Сопла реактивных двигателей.— В кн.: Аэродинамика и газовая динамика. — М.: Наука, 1976.
3. Пирумов У.Г., Росляков Т.С. Газовая динамика сопел. — М.: Физматлит, 1990.
4. Соколов В.Д., Лаврентьева З.И. Аэродинамика реактивных сопел ВРД (по материалам иностранной печати за 1956—1964 гг.): Обзор БНИ ЦАГИ. № 116, 1964.