



*СКАИ -
школа для жизни!*



«XXIII ТУПОЛЕВСКИЕ ЧТЕНИЯ

(школа молодых ученых)»

ТОМ I

**МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ
СБОРНИК ДОКЛАДОВ**



Министерство образования и науки Российской Федерации

Nanjing University of Aeronautics and Astronautics

Российский фонд фундаментальных исследований

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



**Международная молодежная
научная конференция
«XXIII ТУПОЛЕВСКИЕ ЧТЕНИЯ
(школа молодых ученых)»**



ТОМ I

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

СБОРНИК ДОКЛАДОВ

Казань 2017

УДК 629.7(082)
ББК 39.5+39.6я43
Т85

Т85 XXIII Туполевские чтения (школа молодых ученых):
Международная молодёжная научная конференция, 8–10
ноября 2017 года: Материалы конференции. Сборник
докладов: в 4 т. – Казань: Изд-во Академии наук РТ,
2017. – Т. 1. – 1146 с.: ил.

ISBN 978-5-9690-0393-4 (т. 1)
ISBN 978-5-9690-0392-7

В сборнике представлены тексты докладов участников Между-
народной молодёжной научной конференции «XXIII Туполевские
чтения (школа молодых ученых)», посвященные актуальным вопро-
сам и проблемам развития аэрокосмических технологий, машино-
строения, энергетики, приборостроения, информационных, инфо-
коммуникационных, радиоэлектронных технологий, а также соци-
ально-экономические аспекты создания аэрокосмической техники.

Конференция проводится на базе ФГБОУ ВО «Казанский наци-
ональный исследовательский технический университет им. А.Н. Ту-
полева-КАИ» в рамках гранта РФФИ № 17-38-10308 мол_г.

Материалы докладов публикуются в авторской редакции.

*Ответственность за аутентичность и точность имен, названий и иных сведений,
а также за соблюдение законов об интеллектуальной собственности
несут авторы публикуемых материалов.*

УДК 629.7(082)
ББК 39.5+39.6я43

ISBN 978-5-9690-0393-4 (т. 1)
ISBN 978-5-9690-0392-7

© Авторы докладов 2017
© Изд-во АН РТ
(оформление), 2017

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОЛЬЦЕВЫХ СОПЕЛ

Шакиров Р.Р.

Научный руководитель: Сабирзянов А.Н. к. т. н.
(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Конструктивных схем кольцевых сопел при различных режимах нерасчетности. Проведено сравнение тяговой эффективности рассматриваемых сопел. Полученные результаты удовлетворительно согласуются с экспериментальными и расчетными данными. Выбрана и обоснована применяемая модель турбулентности. Выполнено численное моделирование тяговых характеристик ряда.

Сопло ракетного двигателя предназначено для ускорения рабочего тела из камеры сгорания с целью создания тяги. Величина тяги, создаваемая соплом двигателя, характеризуется коэффициентом тяги, и представляет собой произведение давления и площади в критическом сечении. Подразумевая, что рабочее тело в камере сгорания представляет собой адиабатный идеальный газ, расширяющийся в сопле, коэффициент тяги может быть представлен через зависимость рабочих параметров и давление окружающей среды p_∞

$$K_T = \sqrt{\frac{2\gamma^2}{\gamma-1} \left(\frac{2}{\gamma+1}\right)^{(\gamma+1)/(\gamma-1)} \left[1 - \left(\frac{p_a}{p_0}\right)^{(\gamma-1)/\gamma}\right]} + (p_a - p_\infty) \frac{F_a}{F_*}, \quad (1)$$

где γ – показатель адиабаты; p_0 и p_a – давление в камере сгорания и на срезе сопла, соответственно; F_a и F_* – площади поперечного среза сопла и минимального сечения.

Характеристики сопла, определяемые коэффициентом тяги K_T , максимальны при полном расширении, то есть когда давление на срезе сопла равно давлению окружающей среды, что определяет отношение p_0/p_∞ . Для сопел Лавалья (рис. 1, а) степень расширения есть величина фиксированная. Это означает, что наилучшая работоспособность двигателя с соплом Лавалья достигается лишь при

ПОДСЕКЦИЯ 3.2. РАБОЧИЕ ПРОЦЕССЫ
В РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЯХ

одном рабочем давлении окружающей среды. В связи с непрерывным изменением давления окружающей среды в процессе полета летательного аппарата сопло Лавала не является оптимальным. Несмотря на ряд существенных недостатков кольцевых сопел вопрос исследования применимости кольцевых сопел является актуальным [1] и на данный момент недостаточно изучен.

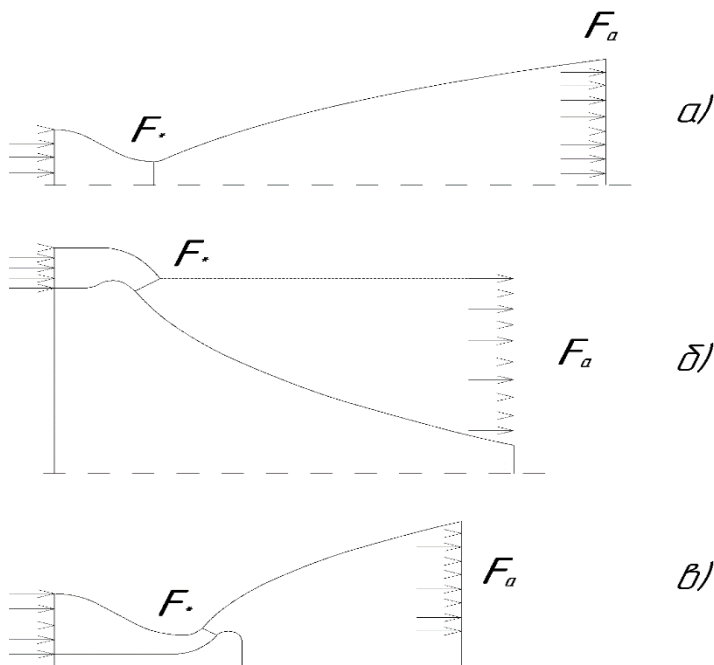


Рис. 1. Типы ракетных сопел:
(а) – Лавала; (б) – штыревое; (в) – тарельчатое

В качестве примера на рис. 1 приведены некоторые конструктивные схемы сопел: сопло Лавала; сопла, имеющие кольцевое критическое сечение, образованное центральным телом – штырем (штыревое, сопло внешнего расширения) или тарелью (тарельчатое, сопло внутреннего расширения). Кольцевые сопла не имеют четких физических границ и поэтому струя газа, после кольцевого критического сечения за счет серии скачков уплотнений способна

самопроизвольно изменять распределение давления и эффективно авто регулироваться в зависимости от высоты полета, что существенно улучшает энергетические характеристики двигателя. Особенно это актуально для режимов работы на малой высоте полета.

В данной работе выполнен анализ эффективности указанных кольцевых сопел, характерных для ракетных двигателей, путем численного моделирования. Моделирование проведено современными средствами вычислительной гидродинамики пакета ANSYS Fluent, что позволяет достаточно корректно провести оценку совершенства процессов истечения [2]. Исследовалась применимость RANS моделей турбулентности для адекватного описания процессов истечения.

По результатам проведенных расчетов кольцевые сопла ожидаемо имели лучшие тяговые показатели по сравнению с соплом Лаваля. Характер изменения полученных тяговых характеристик хорошо согласуется с данными [3]. Проведенные исследования позволили выбрать наиболее оптимальную модель турбулентности.

Список литературы

1. Алемасов, В.Е Теория ракетных двигателей. [Текст]: учебник для студентов высших технических учебных заведений / В. Е. Алемасов, А. Ф. Дрегалин, А. П. Тишин. – 4-е изд., переработ. – М.: Машиностроение, 1989. – 464 с.
2. Яценко, И.А. Коэффициент истечения торцевого сопла без входного участка/ И.А. Яценко, А. Н. Сабирзянов, В. А. ФАфурин, В. Б. Явкин// Вестник Казан. технол. ун-та – 2014. т. 17, № 8. – С. 112-116.
3. Бачурин, А.Б. Экспериментальные и теоретические исследования особенностей течения в регулируемых соплах с центральным телом / А. Б. Бачурин, А. М Русак, В. А Целищев // Вестник уфимского государственного авиационного университета. – 2009. т. 14, № 5 (40). – С. 52-61.

COMPUTATIONAL SIMULATION OF ANNULAR NOZZLES

*ПОДСЕКЦИЯ 3.2. РАБОЧИЕ ПРОЦЕССЫ
В РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЯХ*

Shakirov R.

Supervisor: A. Sabirzyanov, PhD in Engineering sciences
*(Kazan National Research Technical
University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)*

In this paper is performed computational simulation of thrust characteristics of types of annular nozzle configurations under various modes of off-design behavior. The propulsion efficiency of the nozzles under consideration is compared, the results are in satisfactory agreement with the experimental and calculated data. The applied model of turbulence is chosen and justified.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА В КАМЕРЕ ЖРД И ОЦЕНКА ТЕПЛОВОГО СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИИ КАМЕРЫ ДВИГАТЕЛЯ РД-161П Пахомов А.К.	1086
СОКРАЩЕНИЕ МЕХАНИЗМОВ РЕАКЦИЙ КОМБИНАЦИЕЙ МЕТОДОВ DRGER Сафиуллин И.И.	1093
ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ КАНАЛА ЗАРЯДА НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ПУЛЬСАЦИЙ ДАВЛЕНИЯ И ТЯГИ В РДТТ С УТОПЛЕННЫМ СОПЛОМ Высоцкая С.А., Султанов Т.С.	1100
СПОСОБ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОГО РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ПРИ ГЛУБОКОМ ДРОССЕЛИРОВАНИИ ЖРД Фатихов А.И.	1106
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОЛЬЦЕВЫХ СОПЕЛ Шакиров Р.Р.	1111