

Ю. С. СОЛОМОНОВ  
А. М. ЕВГЕНЬЕВ  
В. И. ПЕТРУСЕВ  
М. Г. СМИРНОВ

# ПОВОРОТНЫЕ УПРАВЛЯЮЩИЕ СОПЛА РДТТ

---

КОНСТРУКЦИЯ, РАСЧЕТ  
И МЕТОДЫ ОТРАБОТКИ



Ю. С. СОЛОМОНОВ  
А. М. ЕВГЕНЬЕВ  
В. И. ПЕТРУСЕВ  
М. Г. СМИРНОВ

# **ПОВОРОТНЫЕ УПРАВЛЯЮЩИЕ СОПЛА РДТТ**

---

**КОНСТРУКЦИЯ, РАСЧЕТ  
И МЕТОДЫ ОТРАБОТКИ**



МОСКВА  
ФИЗМАТЛИТ®  
2019

УДК 621.454.3.035.5  
ББК 39.65  
П 42



Издание осуществлено при поддержке  
Российского фонда фундаментальных  
исследований по проекту 18-18-00051,  
не подлежит продаже

Авторский коллектив:  
Соломонов Ю.С., Евгеньев А.М., Петрусев В.И.,  
Смирнов М.Г.

**Поворотные управляющие сопла РДТТ. Конструкция, расчет и методы отработки.** — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2019. — 144 с. — ISBN 978-5-9221-1828-6.

Изложенные в книге сведения и проблемы с учетом опыта создания новых узлов современных РДТТ систематизируют и дополняют материалы по особенностям конструкции, методам расчета и отработки поворотных управляющих сопел.

Представлены особенности технологии изготовления ряда элементов сопла, рассмотрены современные методы отработки сопловых блоков, включая модельные исследования, наземную агрегатную отработку элементов сопла, комплексную отработку в составе двигательной установки, а также определение характеристик сопла по результатам летных испытаний ракеты.

Книга представляет интерес для специалистов, научных работников и инженеров ракетно-космической промышленности, а также преподавателей и студентов вузов соответствующих специальностей.

#### Рецензент

член-корреспондент РАН, академик РАН, доктор технических наук,  
профессор *М. И. Соколовский*

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|  |           |
|--|-----------|
| Список сокращений . . . . .  | 5         |
| Предисловие . . . . .  | 6         |
| Введение . . . . .   | 9         |
| <b>Глава 1. Конструкция сопловых блоков современных РДТТ</b> . . . . .   | <b>14</b> |
| 1.1. Конструктивно-компоновочные схемы сопловых блоков . . . . .   | 14        |
| 1.2. Материалы соплового тракта . . . . .  | 23        |
| 1.3. Тонкостенные сопловые насадки . . . . .   | 26        |
| 1.4. Заглушки сопел . . . . .  | 30        |
| 1.5. Система вытеснения водосодержащей среды из полости сопла . . . . .  | 33        |
| 1.6. Узел разгрузки сопла и герметизации надсоплового объема . . . . .   | 36        |
| 1.7. Особенности технологии изготовления элементов сопел . . . . .   | 38        |
| 1.8. Привод для управления поворотным соплом РДТТ . . . . .  | 41        |
| <b>Глава 2. Расчет основных параметров соплового блока</b> . . . . .   | <b>47</b> |
| 2.1. Основные характеристики сопла . . . . .   | 48        |
| 2.2. Расчет шарнирного момента ПУС . . . . .   | 61        |
| 2.3. Особенности расчета газовой динамики сопла с учетом двухфазности течения, формы заряда, движения вылетающих элементов . . . . . | 65        |
| 2.4. Теплообмен и эрозионный унос материалов тракта сопла . . . . .  | 75        |
| <b>Глава 3. Модельные исследования и агрегатные испытания элементов поворотного управляющего сопла</b> . . . . .                     | <b>81</b> |
| 3.1. Методы модельных исследований . . . . .   | 81        |
| 3.2. Методические рекомендации по отработке поворотных сопел и их элементов . . . . .  | 88        |
| 3.3. Отработка эластичного шарнира . . . . .   | 94        |
| <b>Глава 4. Подтверждение характеристик сопел по результатам огневых стендовых испытаний РДТТ</b> . . . . .                          | <b>99</b> |
| 4.1. Программы функционирования поворотного управляющего сопла и устройств управления по каналу крена . . . . .                      | 99        |

---

|   |            |
|---|------------|
| 4.2. Подтверждение тепловой и эрозионной стойкости материалов соплового тракта . . . . .  | 103        |
| 4.3. Выполнение требований по угловому перемещению и моментным характеристикам поворотного сопла . . . . .                        | 106        |
| 4.4. Испытания сопел двигателей высотных ступеней ракет . . . . .   | 110        |
| 4.5. Отрывные течения и их влияние на характеристики сопла . . . . .  | 119        |
| <b>Глава 5. Обработка результатов летных испытаний ракеты с определением характеристик поворотных управляющих сопел . . . . .</b> | <b>124</b> |
| 5.1. Отработка команд системы управления, подтверждение работоспособности элементов сопла . . . . .                               | 124        |
| 5.2. Идентификация нештатных ситуаций при работе поворотного управляющего сопла в процессе летных испытаний ракеты . . . . .      | 126        |
| <b>Глава 6. Перспективы совершенствования элементов поворотных сопел . . . . .</b>  | <b>134</b> |
| Список литературы . . . . .   | 139        |