

УДК 629.7.454.2  
ББК 39.62  
И88

**Авторы:** А.Г. Галеев, К.П. Денисов, В.И. Ищенко, В.А. Лиссейкин,  
Г.Г. Сайдов, А.Ю. Черкашин

**Рецензент:** д-р техн. наук, профессор В.К. Чванов

**И88** **Испытательные комплексы и экспериментальная отработка жидкостных ракетных двигателей /** А.Г. Галеев, К.П. Денисов, В.И. Ищенко и др.; под ред. Н.Ф. Моисеева. – М.: Машиностроение / Машиностроение-Полет, 2012. – 368 с.: ил.

ISBN 978-5-94275-618-5

Приведены общие принципы экспериментальной отработки ЖРД и двигательных установок, основы конструирования и расчетов испытательных стендов и их систем, методы и технологии испытаний ракетных двигателей, двигательных установок и измерительных средств, применяемых для определения основных параметров и оценки характеристик объектов испытаний. Рассмотрены схемы двигательных установок ракетно-космических систем, функционирующих на различных компонентах ракетных топлив, а также испытательных стендов и экспериментальных установок для их отработки. Показаны перспективы развития средств выведения ракетно-космической техники. Рассмотрены экологические проблемы, связанные с эксплуатацией испытательных комплексов, двигательных и энергетических установок ракетных и транспортных систем, которые могут быть решены, в частности, использованием в качестве горючего в энергетических циклах сжиженных газов (метана и водорода).

Для специалистов, занятых эксплуатацией испытательных стендов и испытаниями двигателей и двигательных установок ракетно-космических систем, может также представлять интерес для аспирантов и студентов высших учебных заведений аэрокосмического направления.

**УДК 629.7.454.2**  
**ББК 39.62**

**ISBN 978-5-94275-618-5**

- © А.Г. Галеев, К.П. Денисов, В.И. Ищенко и др., 2012
- © ФКП "Научно-испытательный центр ракетно-космической промышленности", 2012
- © ООО "Машиностроение-Полет", 2012
- © ООО "Издательство Машиностроение", 2012

## ПРЕДИСЛОВИЕ

---

Мировой опыт показывает, что создание новых образцов конкурентоспособной ракетно-космической техники невозможно без развитой экспериментальной базы и квалифицированных специалистов, владеющих передовыми технологиями ее испытаний.

Научно-испытательный центр ракетно-космической промышленности, на уникальных стендах которого за 60 лет проведено более 65 тыс. испытаний по отработке жидкостных ракетных двигателей (ЖРД), баллистических ракет, ракет-носителей, ракетных комплексов и более 140 космических аппаратов, начал выпуск серии книг по испытательной технике. Их авторы – известные специалисты, принимавшие участие в выполнении многих ракетно-космических программ: "Союз", "Космос-1", "Космос-3", "Протон", Н1, "Синева", "Энергия" – "Буран", "Зенит", "Ангара" и др.

Эта книга – первая в данной серии. В ней обобщен многолетний опыт авторов в области проведения стендовых испытаний образцов ракетно-космической техники, создания и эксплуатации испытательного оборудования, рассмотрены актуальные проблемы, связанные с созданием и совершенствованием испытательных комплексов, проектированием и расчетом систем наземной космической инфраструктуры; методология и принципы экспериментальной отработки ракетных двигателей и двигательных установок (ДУ) ракетно-космических комплексов; технологии испытаний ЖРД и ДУ с имитацией условий эксплуатации, а также вопросы обеспечения безопасности проведения стендовых испытаний.

Издание предназначено для специалистов, занятых созданием и эксплуатацией испытательных стендов и двигательных установок ракетно-космических систем, оно также может быть полезным для аспирантов и студентов высших учебных заведений аэрокосмического направления.

Директор Департамента оборонной промышленности  
Правительства Российской Федерации,  
заслуженный машиностроитель РФ **Н.Ф. Моисеев**

## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие .....	3
От авторов .....	4
<b>Глава 1. ИСПЫТАНИЯ. СОВРЕМЕННАЯ ИСПЫТАТЕЛЬНАЯ ПРАКТИКА. ТЕНДЕНЦИИ В РАЗВИТИИ И МОДЕРНИЗАЦИИ ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ .....</b>	<b>7</b>
<b>Глава 2. ПРИНЦИПЫ И ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ОТРАБОТКИ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ .....</b>	<b>35</b>
2.1. Основные требования, предъявляемые к двигателям, ДУ, и схемы двигателей .....	35
2.2. Принципы и особенности экспериментальной отработки двигательных установок .....	47
2.3. Двигательные установки ракетно-космических систем. Основные разработки и перспективы развития .....	55
<b>Глава 3. ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ ОТРАБОТКИ ЖРД И ДУ .....</b>	<b>68</b>
3.1. Правила устройства и безопасной эксплуатации испытательных комплексов ЖРД и ДУ .....	68
3.2. Устройство испытательного стенда и его основные системы .....	75
3.2.1. Системы топливоподдачи .....	79
3.2.2. Системы наддува и газоснабжения .....	95
3.2.3. Газоотражательные устройства и системы защиты ..	101
3.2.4. Особенности конструкций систем охлаждения элементов стенда .....	112
3.2.5. Системы обеспечения безопасных условий при стендовых испытаниях .....	114
3.2.6. Стендовые информационно-управляющие и измерительные системы .....	121
3.2.7. Системы энергоснабжения и вспомогательные системы .....	166
3.2.8. Системы имитации полетных (штатных) условий эксплуатации .....	166
<b>Глава 4. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ НОРМЫ ИСПЫТАНИЙ И ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ СТЕНДОВ .....</b>	<b>190</b>
4.1. Экологические проблемы, связанные с испытаниями и эксплуатацией энергоустановок транспортных систем .....	190
4.2. Экологические нормы и технология испытаний с применением различных компонентов топлива .....	199

4.3. Правила эксплуатации основных систем испытательного стенда	212
4.4. Диагностика систем испытательного стенда с применением неразрушающих методов контроля и принципы установления ресурса эксплуатации	215
4.5. Аттестация испытательного оборудования	217
<b>Глава 5. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМ ПОДАЧИ ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ.</b>	<b>219</b>
5.1. Характеристики фильтрующих материалов	219
5.2. Гидравлическое сопротивление фильтрующих материалов при течении ракетных топлив	227
5.3. Фильтрующие устройства систем подачи ракетных топлив, применяемых на испытательных комплексах	237
5.4. Гидравлическое сопротивление фильтров при течении ракетных топлив	241
5.5. Очистка от загрязнений систем подачи ракетных топлив испытательных комплексов	251
5.6. Контроль эффективности очистки систем подачи ракетных топлив	268
<b>Глава 6. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОТРАБОТКА ЖРД, ДУ И ИХ СИСТЕМ. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ И СТЕНДЫ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ</b>	<b>279</b>
6.1. Экспериментальная отработка ЖРД и их агрегатов. Установки и стенды для испытаний	279
6.1.1. Испытательный стенд ЖРД	279
6.1.2. Экспериментальные установки для контроля гидравлических сопротивлений	281
6.1.3. Экспериментальная отработка насосов и турбины ТНА. Установки и стенды для испытаний	284
6.1.4. Экспериментальная отработка камер сгорания и газогенераторов. Установки и стенды для испытаний	294
6.2. Экспериментальная отработка систем ДУ и установок для испытаний	298
6.2.1. Отработка режимов системы заправки	299
6.2.2. Отработка элементов и режимов системы наддува топливного бака ДУ	303
6.2.3. Особенности и методика отработки наддува топливного бака на высококипящих и криогенных компонентах	308
6.2.4. Отработка прочностных характеристик элементов системы топливоподачи	329
6.2.5. Отработка и определение работоспособности теплоизоляции	331
6.2.6. Отработка агрегатов автоматики и регулирования	335

6.2.7. Определение характеристик системы топливоподачи ДУ .....	337
6.2.8. Отработка режимов захолаживания элементов конструкции экспериментальной установки .....	343
6.3. Экспериментальная отработка ДУ и установок для комплексных испытаний .....	349
Заключение .....	356
Список литературы .....	358
Список основных сокращений .....	363

Научное издание

**Галеев Айвенго Гадыевич, Денисов Константин Петрович,  
Ищенко Владимир Ильич, Лисейкин Владимир Александрович,  
Сайдов Геннадий Григорьевич, Черкашин Андрей Юрьевич**

**ИСПЫТАТЕЛЬНЫЕ КОМПЛЕКСЫ  
И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОТРАБОТКА  
ЖИДКОСТНЫХ РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

Редактор *И.Н. Мырина*

Дизайнер *К.Ю. Подживотов*

Корректор *Л.И. Сажина*

Оператор компьютерной верстки *В.Г. Верховзин*

Сдано в набор 08.12.2011 г. Подписано в печать 18.01.2012 г.

Формат 60×88 1/16. Бумага офсетная. Гарнитура NewtonС.

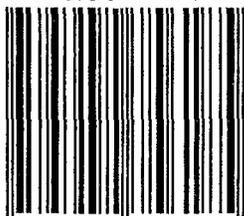
Печать офсетная. Усл. печ. л. 22,54. Уч.-изд. л. 20,04.

Тираж 650 экз. Заказ 115

ООО "Издательство Машиностроение"/ООО "Машиностроение-Полет"  
107076, Москва, Стромывнский пер., 4

Отпечатано в ППП «Типография "Наука" РАН»,  
121009, Москва, Шубинский пер., 6

ISBN 978-5-94275-618-5



9 785942 756185