

**ТЕХНОЛОГИИ  
РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОГО  
МАШИНОСТРОЕНИЯ**

---

В.А. Тарасов, Л.А. Кашуба

**Теоретические  
основы  
технологии  
ракетостроения**

Под редакцией доктора технических наук, профессора В.А. Тарасова

*Допущено Учебно-методическим объединением  
по университетскому политехническому образованию  
в качестве учебного пособия  
для студентов высших учебных заведений,  
обучающихся по специальности «Ракетостроение»  
направления подготовки дипломированных специалистов  
«Ракетостроение и космонавтика»*

Москва  
Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана  
2006

УДК 629.76; 629.78 (075.8)

ББК 34.5

Т19

Рецензенты: чл.-кор. РАН, проф. В.А. Барвинок,  
д-р техн. наук, проф. В.В. Булавкин

**Тарасов В.А., Кашуба Л.А.**

**Т19** Теоретические основы технологии ракетостроения: Учеб. пособие / Под ред. В.А. Тарасова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 352 с.: ил. (Технологии ракетно-космического машиностроения).

ISBN 5-7038-2697-7

В учебном пособии рассмотрены вопросы системной взаимосвязи решений, принимаемых на стадиях конструкторской и технологической подготовки производства ракетно-космической техники (РКТ). Изложены принципы, позволяющие обеспечить точность параметров РКТ при разработке технологических решений и управлении действующим производством. Проанализированы направления совершенствования систем качества машиностроительных предприятий как основа повышения конкурентоспособности ракетостроительных производств в условиях рыночной экономики.

В основу учебного пособия положен материал лекций, читаемых авторами студентам МГТУ им. Н.Э. Баумана.

*Для студентов и аспирантов ракетостроительных специальностей технических и военных высших учебных заведений.*

УДК 629.76; 629.78 (075.8)

ББК 34.5

ISBN 5-7038-2697-7

© В.А. Тарасов, Л.А. Кашуба, 2006  
© Оформление. Издательство МГТУ  
им. Н.Э. Баумана, 2006

## **ПРЕДИСЛОВИЕ**

Издание многотомного учебного пособия «Технологии ракетно-космического машиностроения» предпринято с целью улучшить методическое обеспечение технологической подготовки инженеров-ракетчиков в МГТУ им. Н.Э. Баумана. Содержание учебного пособия соответствует учебному плану Государственного стандарта образования для студентов специальностей 130600 «Ракетостроение» и 130700 «Космические аппараты» направления подготовки 652600 «Ракетостроение и космонавтика», а также учебным программам технологической подготовки инженеров-ракетчиков в МГТУ им. Н.Э. Баумана.

В отдельных томах учебного пособия с единых позиций будут изучены специальные методы формообразования элементов конструкций ракет, принципы и методы проведения производственных испытаний систем ракетно-космической техники (РКТ), особенности сборочных процессов и сборочных приспособлений, методики проектирования производственных систем, а также основы анализа рынка РКТ и услуг по выведению космических аппаратов на околоземные орбиты.

В предлагаемом читателю первом томе учебного пособия содержатся основополагающие определения, относящиеся к области ракетно-космического машиностроения, дано системное представление принципов технологического обеспечения качества РКТ при ее производстве.

Основной своей задачей авторы учебного пособия считают укрепление теоретической базы знаний технологов-ракетчиков, которая включает в себя:

- положения о системной взаимосвязи решений, принимаемых на стадиях конструкторской и технологической подготовки производства РКТ;

- принципы обеспечения точности параметров РКТ на стадиях разработки технологических решений и управления действующим производством;
- понятие о системе качества машиностроительных предприятий как основе повышения конкурентоспособности ракетостроительных производств в условиях рыночной экономики.

При подготовке учебного пособия авторами использовались положения научных трудов выдающихся российских технологов-машиностроителей: А.Н. Гаврилова, А.Н. Бородачева, А.П. Соколовского, Э.А. Сателя, Б.С. Балакшина, В.М. Кована, В.С. Корсакова, А.С. Проникова, А.М. Дальского и других, а также учебники В.Г. Саксельцева, Г.А. Киселева, А.Л. Абирова, Б.В. Бойцова, В.А. Барвинка и других ученых в области технологии производства летательных аппаратов.

В изложении материала учебного пособия учитываются отличительные особенности технологии ракетостроения как наукоемкой области знания:

- большое число конструктивных элементов ракеты при малой годовой программе выпуска изделий;
- большие габаритные размеры и малая жесткость элементов конструкции;
- необходимость технологического обеспечения высокой надежности ракетной техники;
- длительность проектирования, конструирования и технологической подготовки производства ракетной техники по сравнению с периодом серийного производства изделий;
- значительное превышение длительности цикла сборочных работ и испытаний по отношению к циклу размерной обработки деталей изделия.

В первой главе учебного пособия изложена совокупность понятий и характеристик, относящихся к технической системе. Они применимы и к ракете как объекту производства, и к технологическому процессу как системе способов технологического воздействия на объект производства, и к производственной системе, включающей технологическое оборудование, транспортные и энергетические сети. Во второй главе дана характеристика ракетно-космической системы как объекта производства. Третья глава посвящена изложению основных понятий и описанию структуры технологического и производственного процессов, а также изучению организационно-технологических и технико-экономических критериев построения технологических процессов и производственных систем. В четвер-

той главе обсуждаются методические основы проектирования технологических процессов изготовления деталей РКТ. В пятой главе рассмотрены общие принципы оценки точности параметров изделия в проектируемом и действующем производстве. Шестая глава посвящена изложению теоретических основ технологических процессов сборки изделия. В седьмой главе обсуждаются общие вопросы создания систем качества производства ракетной техники.

При изложении материала предполагается, что читатель владеет основами математического анализа, физики и теоретической механики, прослушал курсы лекций по деталям машин, технологии конструкционных материалов и материаловедению.

В формировании окончательной редакции учебного пособия важную роль сыграли дискуссии о проблемах производства РКТ на факультетах СМ, ИБМ и МТ МГТУ им. Н.Э. Баумана. За конструктивные замечания и полезные советы авторы благодарят профессоров МГТУ им. Н.Э. Баумана В.С. Зарубина, М.И. Киселева, А.Г. Григорьянца, Ю.А. Абрамова и С.Г. Фалько.

Полезной была поддержка и внимание со стороны руководителя НУК СМ МГТУ им. Н.Э. Баумана В.В. Зеленцова, президента Российской академии ракетных и артиллерийских наук, профессора В.П. Киреева, генеральных директоров корпорации «Компомаш», профессоров В.А. Моисеева и С.П. Половникова.

Авторы считают своим долгом выразить благодарность рецензентам книги: члену-корреспонденту Российской Академии наук, профессору В.А. Барвинку, вице-президенту Российской Академии космонавтики, профессору В.В. Булавкину.

# ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Предисловие . . . . .</b>	<b>5</b>
<b>1. Фундаментальные свойства технических систем в производстве ракетно-космической техники . . . . .</b>	<b>8</b>
1.1. Системный подход к производству ракетно-космической техники . . . . .	8
1.2. Основные понятия теории технических систем . . . . .	10
1.3. Понятие о качестве технической системы и его составляющих . . . . .	13
1.3.1. Качество технических систем . . . . .	13
1.3.2. Свойства и показатели свойств продукции . . . . .	14
1.4. Математическое описание точности параметров технической системы . . . . .	20
1.5. Математическое описание показателей надежности технической системы . . . . .	26
1.5.1. Классификация отказов . . . . .	27
1.5.2. Оценка безотказности технической системы . . . . .	31
1.5.3. Оценка долговечности технической системы . . . . .	34
1.5.4. Оценка ремонтопригодности технической системы . . . . .	35
1.5.5. Оценка сохраняемости технической системы . . . . .	35
1.6. Понятие о жизненном цикле технической системы . . . . .	36
<b>2. Ракетно-космическая система как объект производства . . . . .</b>	<b>42</b>
2.1. Общие принципы конструктивно-технологического членения технических систем . . . . .	42
2.2. Конструктивно-технологическая характеристика элементов ракетно-космических систем . . . . .	47
2.2.1. Действие, составные части и эффективность ракетно-космических систем . . . . .	47
2.2.2. Конструктивно-технологические особенности ракетных блоков . . . . .	61

<b>2.3. Конструктивно-технологические принципы определения свойств поверхностей элементов конструкций ракетно-космических систем . . . . .</b>	<b>69</b>
2.3.1. Функции поверхностей конструкций ракетно-космических систем . . . . .	69
2.3.2. Аналитические и графические методы определения свойств поверхностей на стадии разработки конструкции . . . . .	70
2.3.3. Отображение реальных поверхностей . . . . .	76
<b>2.4. Базирование и базы элементов конструкций технических систем . . . . .</b>	<b>79</b>
2.4.1. Исходные понятия . . . . .	79
2.4.2. Базирование и базы при изготовлении . . . . .	86
<b>3. Процессы производства технической системы на машиностроительном предприятии . . . . .</b>	<b>95</b>
3.1. Производственный процесс . . . . .	95
3.1.1. Структура производственного процесса . . . . .	95
3.1.2. Структура технологического процесса . . . . .	96
3.1.3. Структура технологической операции . . . . .	101
3.2. Производственное предприятие и его элементы . . . . .	105
3.2.1. Производственная структура рабочего места . . . . .	105
3.2.2. Производственная структура цеха . . . . .	106
3.2.3. Производственная структура машиностроительного предприятия . . . . .	114
3.3. Технико-экономические показатели производственной системы . . . . .	117
3.3.1. Производственный цикл . . . . .	118
3.3.2. Трудоемкость технологического процесса и объекта производства . . . . .	128
3.3.3. Себестоимость объекта производства . . . . .	130
3.4. Принципы организации и типы производства . . . . .	132
3.4.1. Типы производственных систем . . . . .	133
3.4.2. Тakt и ритм производства . . . . .	135
3.4.3. Понятие о планировании и управлении работами технологической подготовки производства . . . . .	138
3.5. Технологичность конструкции изделия . . . . .	148
3.5.1. Оценка технологичности конструкций изделий . . . . .	149
3.5.2. Обеспечение технологичности на разных стадиях проектирования . . . . .	153
<b>4. Технологические основы производства деталей ракетно-космической техники . . . . .</b>	<b>156</b>
4.1. Основы формирования свойств материала деталей . . . . .	156

4.1.1. Формирование свойств исходных заготовок деталей, полученных методами литья и обработки давлением . . . . .	156
4.1.2. Формирование свойств композиционных материалов в конструкциях ракетно-космической техники . . . . .	165
<b>4.2. Формирование свойств поверхностного слоя деталей ракетно-космической техники . . . . .</b>	<b>172</b>
4.2.1. Физическая сущность и режимы процесса резания . . . . .	172
4.2.2. Силы и тепловые явления процесса резания . . . . .	175
4.2.3. Поверхностный слой деталей и его параметры . . . . .	178
4.2.4. Технологические факторы шероховатости поверхности слоя . . . . .	187
<b>4.3. Принципы разработки технологических процессов изготовления деталей ракетно-космической техники . . . . .</b>	<b>190</b>
4.3.1. Анализ технических требований и условий изготовления деталей ракетно-космической техники и установление типа производства . . . . .	191
4.3.2. Выбор конфигурации заготовки и метода ее получения . . . . .	192
4.3.3. Составление маршрута изготовления детали . . . . .	212
4.3.4. Основные стадии разработки операционной технологии . . . . .	221
4.3.5. Проектирование инструментальных наладок . . . . .	222
4.3.6. Выбор станочного приспособления . . . . .	222
4.3.7. Выбор варианта технологического процесса и оформление технологической документации . . . . .	225
<b>5. Точность технологических процессов . . . . .</b>	<b>227</b>
5.1. Технический контроль параметров объекта производства . . . . .	227
5.1.1. Применение математической статистики при анализе законов формирования технологических погрешностей . . . . .	227
5.1.2. Понятие точности и стабильности технологического процесса . . . . .	230
5.1.3. Виды технического контроля параметров машиностроительной продукции . . . . .	237
5.2. Проектная оценка точности технологического процесса (прямая задача технологического проектирования) . . . . .	244
5.2.1 Метод статистического моделирования погрешностей технологического процесса . . . . .	244
5.2.2 Верхняя оценка интервала рассеяния погрешности выходного параметра . . . . .	248
5.2.3. Вероятностная оценка интервала рассеяния погрешности выходного параметра . . . . .	250
5.3. Технологические факторы образования погрешности размерной обработки деталей . . . . .	252

5.3.1. Способы обеспечения точности размерной обработки деталей . . . . .	252
5.3.2. Классификация факторов погрешности размерной обработки . . . . .	256
5.4. Обоснование допусков на параметры технологических процессов (обратная задача технологического проектирования) . . . . .	271
<b>6. Точность геометрических параметров ракетно-космической техники при агрегатной и общей сборке . . . . .</b>	<b>277</b>
6.1. Принципы согласования размеров, формы и взаимного расположения поверхностей сборочных единиц . . . . .	277
6.1.1. Требования к геометрическим параметрам сборочных единиц . . . . .	277
6.1.2. Точность увязки сопрягаемых поверхностей как основа взаимозаменяемости конструкций . . . . .	280
6.1.3. Применение системы допусков и посадок как общемашиностроительный принцип согласования геометрических параметров поверхностей . . . . .	284
6.1.4. Принцип использования общих жестких носителей информации о геометрических параметрах поверхностей . . . . .	284
6.1.5. Принципы компенсации погрешностей при сборке узлов и агрегатов . . . . .	287
6.2. Плазово-шаблонный метод связанного производства деталей и узлов и перспективы перехода к их независимому производству . . . . .	289
6.2.1. Теоретический плаз . . . . .	292
6.2.2. Методы построения контуров поверхностей на плазе . . . . .	293
6.2.3. Конструктивный плаз и основные производственные шаблоны . . . . .	296
6.2.4. Калибры разъемов . . . . .	299
6.2.5. Монтажные эталоны агрегатов . . . . .	300
6.2.6. Инструментальные стенды для сборочных приспособлений . . . . .	301
6.2.7. Плазово-шаблонный метод производства конструкций . . . . .	306
6.2.8. Перспективы применения метода независимой увязки геометрических параметров конструкций . . . . .	306
6.3. Методы формирования геометрических параметров при агрегатной и общей сборке . . . . .	306
6.3.1. Сборка жестких элементов конструкции по базовой детали . . . . .	309
6.3.2. Сборка по разметке . . . . .	310
6.3.3. Сборка по сборочным отверстиям . . . . .	312
6.3.4. Сборка жесткого каркаса с применением сборочного приспособления . . . . .	314

6.3.5. Сборка нежестких элементов конструкции . . . . .	315
6.3.6. Преимущества и недостатки различных методов базирования и сборки . . . . .	322
<b>7. Управление качеством производства ракетно-космической техники . . . . .</b>	<b>324</b>
7.1. Квалиметрия и методы квантификации (оценивания) качества машиностроительной продукции . . . . .	324
7.2. Система качества предприятий . . . . .	329
7.2.1. Документальное оформление системы качества предприятия . . . . .	330
7.2.2. Стандарты системы качества . . . . .	337
7.3. Сертификация системы качества предприятия . . . . .	340
7.3.1. Сущность, история и перспективы развития . . . . .	340
7.3.2. Российская система сертификации . . . . .	341
<b>Список литературы . . . . .</b>	<b>344</b>