

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ)

---

О.И. КРАХИН, Б.А. ЛЕВИТАН, А.П. КУЗНЕЦОВ

# СТАЦИОНАРНЫЕ АНТЕННЫ РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ

*Под редакцией профессора  
Доктора техн. наук О. И. Крахина*

Допущено Учебно-методическим объединением вузов РФ по образованию в области авиации, ракетостроения и космоса (УМО АРК), в качестве учебника для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 160400 «Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов» направления 160400 «Авиационная и ракетно-космическая техника»



---

МОСКВА  
«МАШИНОСТРОЕНИЕ»  
2014

УДК 621.396.676:629.7,001.2(075.8)

ББК 32.845

К78

*Рецензенты:*

Д-р техн. наук, профессор Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана *А.В. Вершинский*;

д-р техн. наук, профессор Московского энергетического института (НИУ) *Б.Л. Коган*, д-р физ.-мат. наук, профессор Московского энергетического института (НИУ) *В.А. Пермяков*

**Крахин О.И., Левитан Б.А., Кузнецов А.П.**

К78      Стационарные антенны. Расчет и проектирование конструкций: учебник — М.: Машиностроение, 2014. — 240 с.: ил.

ISBN 978-5-94275-743-4

Изложены основы конструктивных решений линейных антенн, их токонесущих и силовых частей, апертурных, зеркальных, линзовых и рупорных антенн и ФАР. Даны типовые конструктивные решения опор, башен, мачт. Приведены оценки видов воздействий на стационарные антенны: ветровые, климатические, температурные, гололедные, гравитационные, сейсмические, эксплуатационные и др. Рассмотрены методы расчета элементов и узлов антенн на прочность и жесткость на этапах проектирования. Даны рекомендации по оценке и выбору рациональных конструкций и технических решений.

Для студентов, обучающихся по специализации «Проектирование конструкций и систем радиотехнических информационных комплексов» может быть полезен аспирантам и специалистам, занимающихся вопросами проектирования антенных конструкций, а также других радиотехнических систем.

УДК 621.396.676:629.7,001.2(075.8)

ББК 32.845

ISBN 978-5-94275-743-4

© Авторы, 2014

© ООО «Издательство Машиностроение», 2014

Перепечатка, все виды копирования и воспроизведения материалов, опубликованных в данной книге, допускаются только с разрешения издательства и со ссылкой на источник информации.

# Оглавление

Введение .....	5
<b>Глава 1. Классификация конструкций антенн .....</b>	<b>8</b>
1.1. Конструкции линейных антенн .....	11
Токонесущие части линейных антенн .....	11
Силовые части линейных антенн .....	16
Конструкции опор .....	23
Конструкции башен .....	24
Конструкции мачт .....	25
1.2. Методы расчета элементов (частей) опор линейных антенн .....	29
Расчет токонесущих конструкций проволочных антенн .....	29
Неподвижное крепление с термокомпенсатором .....	33
Расчет рей .....	36
Расчет башен .....	37
Расчет мачт .....	38
Особый случай расчета опор .....	47
<b>Глава 2. Конструкции апертурных антенн .....</b>	<b>50</b>
2.1. Конструкции зеркальных (рефлекторных) антенн .....	51
Расчет точности изготовления рефлектора .....	60
Несущие конструкции антенн .....	60
Схемы и типы соединения элементов ферменных конструкций .....	65
2.2. Конструкции линзовых антенн .....	75
2.3. Конструкции рупорных антенн .....	78
2.4. Расчет конструкций крупногабаритных апертурных антенн .....	80
2.5. Конструкции опор апертурных антенн .....	84
2.6. Нагрузки и воздействия на апертурные антенны .....	87
<b>Глава 3. Фазированные антенные решетки .....</b>	<b>91</b>
3.1. Основные свойства ФАР .....	92
3.2. Схемы построения ФАР .....	94
Фазовращатели ФАР .....	97
Излучатели ФАР .....	99

3.3. Тепловые режимы ФАР . . . . .	102
Охлаждение ФАР. . . . .	102
Системы отвода тепла ФАР . . . . .	105
Расчет тепловых режимов. . . . .	108
<b>Глава 4. Расчет нагрузок и эксплуатационно-метеорологических воздействий на стационарные антенны . . . . .</b>	<b>111</b>
4.1. Общие сведения о ветре . . . . .	111
Статистические закономерности распределения воздушных пото- ков у поверхности земли. . . . .	113
Вертикальные профили воздушных потоков . . . . .	117
Порывистость ветра . . . . .	119
4.2. Расчет ветровой нагрузки . . . . .	121
Ветровой резонанс . . . . .	125
Галопирование . . . . .	129
4.3. Гололедная нагрузка . . . . .	133
4.4. Температурные климатические воздействия . . . . .	135
4.5. Сейсмическое воздействие . . . . .	137
Строительство в сейсмических районах . . . . .	137
Расчетные нагрузки . . . . .	138
4.6. Воздействие ударной волны. . . . .	144
Параметры ударной волны. . . . .	144
Взаимодействие ударных волн с преградой . . . . .	145
Воздействие взрывных волн в грунте . . . . .	156
4.7. Совместное действие нагрузок на антенносооружения . . . . .	159
Коэффициенты сочетания нагрузок . . . . .	159
Расчет усилий и деформаций при совместном действии нагрузок . . . . .	161
<b>Приложение 1. Элементы технической аэродинамики . . . . .</b>	<b>166</b>
Уравнение состояния газов . . . . .	166
Уравнение неразрывности . . . . .	169
Уравнение Бернулли . . . . .	173
Приложения уравнения неразрывности и уравнения Бернулли. . . . .	175
Распределение давления по поверхности тела. . . . .	176
Пограничный слой. . . . .	177
Законы подобия в аэромеханике . . . . .	183
Оси координат. Аэродинамические коэффициенты . . . . .	188
Установки для экспериментальных исследований . . . . .	190
Измерение аэродинамических сил весовым способом . . . . .	192
<b>Приложение 2. Аэродинамические коэффициенты апертурных антенн . . . . .</b>	<b>193</b>
Параболические отражатели со сплошной поверхностью. . . . .	193
Параболические отражатели с решетчатой поверхностью . . . . .	208
<b>Приложение 3. Аэродинамические коэффициенты элементов антенных конструкций . . . . .</b>	<b>213</b>

---

<b>Приложение 4. Расчет мачты. Алгоритм расчета .....</b>	<b>219</b>
Первый этап. Расчет оттяжек .....	221
Второй этап. Расчет ствола мачты .....	224
Расчет мачты на устойчивость .....	227
Уравнения устойчивости .....	229
<b>Приложение 5. Расчет гибких нитей. ....</b>	<b>230</b>
Гибкая нить под действием распределенной нагрузки .....	230
Гибкая нить под действием сосредоточенных сил .....	235
Расчет проводов и канатов .....	237

# Введение

Бурное развитие средств связи и телекоммуникаций обуславливает необходимость создания, развития и совершенствования антенн различного функционального назначения. Широкое применение антенн в различных условиях эксплуатации требует от проектантов обеспечения их прочности, надежности и эффективности в различных условиях взаимодействия с возмущающими факторами и нагрузками, а также сохранения при этом работоспособности и долговечности. Все это приводит к достаточному разнообразию конструкций, узлов и механизмов антенн, а при их проектировании требует обоснованных методов расчета во всем многообразии доминирующих силовых, тепловых, динамических и других нагрузок, в том числе и при воздействии окружающей среды, например, ветровые нагрузки, температурные и климатические, гололедные и др.

Принципы классификации антенн различны (по диапазонам радиоволн, применению, принципу действия и др.), однако при конструировании наиболее удобной является их классификация по функциональным признакам (принцип действия, способ формирования диаграммы направленности) и условиям эксплуатации.

По условиям размещения и эксплуатации антенные устройства делятся на стационарные, мобильные и устанавливаемые на летательных аппаратах.

Конструкции стационарных антенн различаются повторяемостью однотипных видов элементов конструкций, большими апертурами (раскрывом). Кроме этого, при их монтаже и сборке требуется, как правило, большой объем строительных и монтажных работ. К таким

антеннам предъявляются высокие требования по надежности и долговечности.

Разнообразие функционального назначения и широкий диапазон условий эксплуатации обуславливают для каждого вида стационарных антенн свой диапазон требований при их проектировании и, соответственно, множество исходных требований для расчета деталей, элементов и конструкций.

В работе рассмотрены основы проектирования и расчета стационарных конструкций антенных устройств всех классов (линейных антенн, апертурных и антенных решеток). Приведены методики определения нагрузок и воздействий на стационарные конструкции антенных устройств.

Настоящее учебное издание базируется на многолетнем опыте работы и преподавания рассматриваемых вопросов и будет полезно для студентов, аспирантов и специалистов, занимающихся вопросами проектирования антенных конструкций, а также других радиотехнических систем.