

А. М. Соков

# РАСЧЕТ АНТЕНН ЗЕМНЫХ СТАНЦИЙ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ

*Допущено УМО по образованию в области  
информационной безопасности  
в качестве учебного пособия для студентов (слушателей),  
обучающихся по специальности «Информационная  
безопасность телекоммуникационных систем»*

Москва  
Горячая линия – Телеком  
2011

УДК 621.396.67  
ББК 32.845  
С61

**Сомов А. М.**

**С61** Расчёт антенн земных станций спутниковой связи. Учебное пособие для вузов. — М.: Горячая линия–Телеком, 2010. — 290 с.; ил. **ISBN 978-5-9912-0158-2.**

Изложены методы расчёта и оптимизации шумовой добротности антенн земных станций спутниковой связи. Рассмотрены особенности расчёта направленных свойств, шумовой температуры и шумовой добротности зеркальных антенн, лучеводов, антенных решёток. Для повышения точности расчётов вместо яркостной шумовой температуры используется её действующее значение. Шумовая температура окружающей среды определяется в той же системе координат, что и диаграмма направленности антенны. Обсуждаются пути повышения эффективности зеркальных антенн спутниковой связи. Разработанные автором и представленные в книге соотношения, выводы, рекомендации, программы могут быть использованы при работе над курсовыми и дипломными проектами, при подготовке диссертаций, разработке, промышленном производстве зеркальных антенн спутниковой связи, а также усовершенствовании готовых антенн, находящихся в эксплуатации.

Для студентов и слушателей, обучающихся по специальности 090106 — «Информационная безопасность телекоммуникационных систем», будет полезна специалистам в области спутниковой связи и антенной техники.

**ББК 32.845**

ISBN 978-5-9912-0158-2

© А. М. Сомов, 2010

© Издательство «Горячая линия–Телеком», 2010

# Введение

Антенно-фидерные устройства СВЧ диапазона в настоящее время применяются не только в профессиональных нуждах в земных станциях спутниковых систем связи, но также используются во всё возрастающих масштабах в быту для приёма ретранслируемых геостационарными спутниками отечественных и зарубежных телепрограмм. В связи с этим необходимо расширять подготовку специалистов, которые могли бы выполнять проектирование, техническое обслуживание и модернизацию антенно-фидерных устройств. А это, в свою очередь, возможно при наличии учебных пособий по расчету и проектированию подобных устройств.

Необходимо также учитывать, что продолжают успешно развиваться системы спутниковой связи, через которые передаются большие объёмы информации в цифровой форме. Спутники-ретрансляторы таких систем располагаются на геостационарной орбите, включая её районы над Атлантическим, Тихим и Индийским океанами. Информация, передаваемая этими спутниками, может приниматься и передаваться потребителям при помощи телепортов, работающих как в режиме передачи, так и в режиме приёма.

Ретрансляторы обеспечивают глобальное обслуживание всей видимой со спутника земной поверхности благодаря бортовым антеннам с широкой диаграммой направленности, а также зональное обслуживание при помощи узконаправленных антенн с более высокой плотностью потока мощности.

Необходимость приёма и последующей передачи информации от спутниковых систем связи требуют создания и совершенствования технических средств, используемых для этой цели. Эффективность применяемого оборудования в большой степени зависит от эффективности применяемых в его составе антенных устройств.

Особенностями спутниковой связи являются низкий уровень сигналов, принимаемых от ИСЗ, наличие помех в виде тепловой радиации внешней среды, влияние конструкций помещения телепорта и радиопрозрачного укрытия (РПУ) при размещении в нём антенн, поэтому приёмные системы земных станций должны обладать повышенной эффективностью, определяемой шумовой добротностью [1, 2]. Наиболее эффективными типами антенн, используемых в составе земных

станций спутниковой связи, являются зеркальные антенны различного конструктивного оформления: одно- и двухзеркальные, с коаксиальной симметрией (осесимметричные) и с облучателем, вынесенным из центра зеркала (осенесимметричные типа офсет).

К настоящему времени достаточно подробно исследованы вопросы повышения коэффициента использования поверхности (КИП) [3] осесимметричных [4–6] и неосесимметричных [7–10] зеркальных антенн земных станций спутниковой связи. Эти особенности известны и обычно учитываются при расчёте электрических параметров антенн земных станций спутниковой связи в режиме передачи. Однако такой путь максимизации КИП не является оптимальным с точки зрения обеспечения максимальной шумовой добротности, имеющей существенное значение в режиме приёма при заданных размерах антенны.

Для достижения максимума шумовой добротности должны быть учтены такие факторы [11–14], как:

- затенение части раскрыва антенны [15–17];
- поляризация принимаемого сигнала [7, 18, 19];
- точность изготовления поверхности зеркал [20, 21];
- амплитудные и фазовые распределения поля в раскрыве [2, 5];
- дифракция поля на кромках зеркал [22–24];
- электрические затухания в РПУ [25] и фидерном тракте [2];
- воздействие тепловых шумов окружающей среды.

Для оптимизации шумовой добротности необходим метод расчёта шумовой температуры антенны повышенной точности, который и предлагается к рассмотрению и освоению в представленном учебном пособии, в противовес ранее используемым известным оценочным методам [26, 27]. Таким образом, предлагаемый труд посвящается методам расчёта антенн земных станций спутниковой связи в режиме приёма.

Разработанные автором и представленные ниже соотношения, выводы и рекомендации могут быть использованы при работе над курсовыми и дипломными проектами, при подготовке диссертаций, разработке, промышленном производстве зеркальных антенн спутниковой связи, а также усовершенствовании готовых антенн, находящихся в эксплуатации.

# Оглавление

Введение.....	3
<b>Глава 1. Постановка задачи .....</b>	<b>5</b>
1.1. Характеристики излучения шума .....	5
1.2. Базовые формулы для расчета интенсивности теплового излучения .....	8
1.3. Различие подходов при разработке методов расчета шумов параметров радиотелескопов и антенн спутниковых систем связи .....	11
1.3.1. Особенности расчёта радиотелескопов .....	11
1.3.2. Особенности расчета антенн спутниковой связи .....	13
1.4. Температура шума приёмной антенны .....	14
1.5. Шумовые параметры согласованного фидера .....	15
1.6. Шумовая температура несогласованного фидера .....	17
1.7. Шумовая температура собственного теплового излучения антенны .....	19
1.8. Тепловое радиоизлучение космических тел .....	20
Вопросы к главе 1 .....	21
<b>Глава 2. Влияние окружающей среды на шумовую температуру антенн .....</b>	<b>22</b>
2.1. Яркостная шумовая температура окружающей среды .....	22
2.2. Учет воздействия шумов окружающей среды на шумовую температуру антенн. Действующая шумовая температура среды .....	25
2.3. Возможность упрощения расчета теплового излучения среды .....	35
2.4. Усреднение ДШТ среды по пространству .....	44
2.5. Шумовая температура для «неровной диффузной» почвы ...	48
Вопросы к главе 2 .....	49
<b>Глава 3. Особенности расчета направленных свойств зеркальных антенн .....</b>	<b>51</b>
3.1. Методы расчета направленных свойств зеркальных антенн ..	51
3.2. Уточнение методов расчета зеркальных антенн .....	52
3.3. Учет дифракционных эффектов на кромках зеркал антенны ..	59
3.4. Особенности расчета направленных свойств антенн с коническим раскрытием .....	63
3.5. Особенности конструкции антенн .....	70
3.6. Диаграмма направленности рупорного облучателя .....	72
3.7. Расчет рабочей поверхности зеркал антенны модифицированной формы .....	75
Вопросы к главе 3 .....	78
<b>Глава 4. Направленные свойства антенны и шумовая температура .....</b>	<b>80</b>

4.1. Шумовая температура антенн с осесимметричной диаграммой направленности. Метод фрагментации окружающего пространства .....	80
4.2. Шумовая температура антенн при различии диаграмм направленности в ортогональных наклонных плоскостях .....	82
4.3. Шумовая температура приемных антенн СВЧ, расположенных над водной поверхностью .....	89
4.4. Шумовая температура антенн с квадратной формой раскрыва .....	96
4.5. Шумовая температура антенн с прямоугольной формой раскрыва .....	101
4.6. Расчет шумовой температуры антенны .....	108
Вопросы к главе 4 .....	116
<b>Глава 5. Расчет шумовой температуры антенн на основе действующей шумовой температуры окружающей среды и коэффициентов передачи .....</b>	<b>117</b>
5.1. Вывод общих соотношений .....	117
5.2. Влияние апертурной части диаграммы направленности на шумовую температуру антенн .....	121
5.3. Влияние коэффициентов передачи на шумовую температуры антенны с осесимметричной диаграммой направленности ....	129
5.4. Учет влияния на ШТ антенны дополнительных факторов ..	136
5.5. Результаты расчетов .....	140
Вопросы к главе 5 .....	142
<b>Глава 6. Влияние условий размещения антенн на шумовые параметры .....</b>	<b>143</b>
6.1. Особенности размещения антенных устройств в жилых помещениях и телепортах .....	143
6.2. Влияние теплового радиоизлучения окружающих предметов на шумовую температуру антенн .....	146
6.3. Влияние радиопрозрачного укрытия на шумовую температуру антенн .....	150
6.4. Влияние силовых конструкций РПУ на электрические параметры антенн .....	152
6.5. Соотношения для расчета шумовой температуры антенны, размещаемой в помещении с радиопрозрачным укрытием ....	154
6.6. Расчет шумовой добротности при размещении антенны в помещении .....	158
Вопросы к главе 6 .....	162
<b>Глава 7. Оптимизация шумовой добротности земных станций спутниковой связи .....</b>	<b>163</b>
7.1. Основные параметры, влияющие на шумовую добротность ..	163
7.2. Оптимизация шумовой добротности земной станции с однозеркальной антенной .....	168

7.3. Оптимизация шумовой добротности земной станции с двух-зеркальной антенной .....	174
7.4. Оптимизация шумовой добротности приемника ЗС при размещении антенны в помещении .....	178
Вопросы к главе 7 .....	180
<b>Глава 8. Особенности расчета и оптимизации фазированных антенных решеток .....</b>	<b>181</b>
8.1. Требования, предъявляемые к антеннам, размещаемым в теплоротах .....	181
8.2. Особенности применения и расчета фазированных антенных решеток .....	182
8.3. Особенности построения волноводных трактов фазированных антенных решеток .....	189
8.4. Шумовая добротность типовых фазированных антенных решеток .....	192
Вопросы к главе 8 .....	195
<b>Глава 9. Увеличение эффективности антенн земных станций спутниковой связи .....</b>	<b>196</b>
9.1. Возможности увеличения шумовой добротности земных станций .....	196
9.2. Применение экранов и лучеводов .....	202
9.3. Увеличение шумовой добротности при размещении антенн в помещении .....	208
9.4. Размещение антенных устройств на отдельных опорно-поворотных устройствах .....	220
Вопросы к главе 9 .....	223
<b>Глава 10. Перспективные виды антенн .....</b>	<b>224</b>
10.1. Антенны на основе отражателей с линейной образующей ....	224
10.2. Антенны с кольцевым контррефлектором .....	228
10.3. Многолучевые антенны .....	240
Вопросы к главе 10 .....	248
<b>Глава 11. Результаты проверки разработанных методов расчета .....</b>	<b>249</b>
11.1. Конструктивные особенности антенн земных станций .....	249
11.2. Результаты измерений основных параметров антенн земных станций .....	254
11.3. Результаты измерений основных параметров макетов антенн земных станций, размещаемых в помещениях .....	256
<b>Литература .....</b>	<b>261</b>
<b>Приложение .....</b>	<b>268</b>