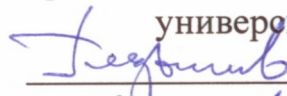
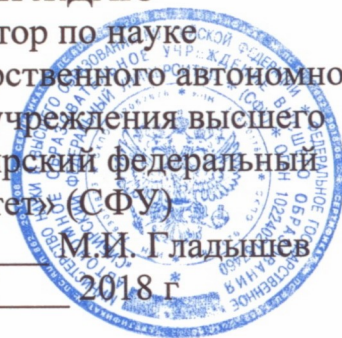


УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по науке  
Федерального государственного автономного  
образовательного учреждения высшего  
образования «Сибирский федеральный  
университет» (СФУ)



«03» 12 2018 г.



## ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу

Доманова Сергея Константиновича «Влияние технологических факторов на радиотехнические характеристики антенн космических аппаратов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.07 – «Антенны, СВЧ устройства и их технологии».

Развитие антенно-фидерных устройств космических аппаратов (КА) современных систем спутниковой связи характеризуется повышением рабочих частот, усложнением конструкций, применением новых материалов для решения всё большего количества задач и обеспечения высоких скоростей передачи информации. Достижению этих целей способствует развитие средств наземной экспериментальной отработки, в частности спецоборудования по измерению антенных радиотехнических характеристик (РТХ). Несмотря на то, что методы измерений антенн развиваются с первой половины прошлого века, идеология современных автоматизированных измерительных комплексов (АИК) получила своё развитие сравнительно недавно, и требует проведения локальных экспериментальных исследований. Особенно это актуально для антенн КА, в связи со спецификой решаемых задач. Помимо этого, на настоящий момент метрологический стандарт, применяющийся в области ближнеполевых измерений, является устаревшим, что определяет актуальность проведения исследований на каждом конкретном измерительном комплексе. Поэтому актуальность темы диссертационного исследования, выбранного Домановым С.К., не вызывает сомнений.

Автором выполнен ряд экспериментальных исследований, направленных на количественную и качественную оценку влияния различных факторов на измеренные РТХ антенн КА, в том числе и в перспективных  $Ka$ - и  $Q$ -диапазонах частот.

В первой главе диссертации приводится обзор современных методов измерения РТХ антенн. Наибольшее внимание при этом уделяется амплифазометрическим методам. Описываются АИК предприятия АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнёва» (АО «ИСС»), с помощью которых проводились исследования. Отмечается, что в литературе приводятся различные трактовки для определения ближнего

излученного поля антенн. Также автор отметил роль ведущих отечественных предприятий в развитии теории и техники антенных измерений. На основе проведенного автором аналитического обзора формулируются цель и задачи диссертационного исследования.

Вторая глава посвящена исследованиям влияния технологических особенностей антенн КА на результаты измерений в ближней зоне (БЗ). Сравниваются измеренные диаграммы направленности (ДН) многолучевой антенны  $Q$ -диапазона, расположенной на сотопанели КА и технологическом стенде с результатами численного моделирования. Выявлено, что панель КА оказывает негативное влияние на результаты измерений, в то время как результаты измерений на технологическом стенде, укрытом специальным радиопоглощающим материалом, хорошо согласуются с расчетами. Приводятся количественные оценки несогласованности результатов измерений. Помимо этого, проведены сравнительные измерения офсетных антенн  $Q$ -диапазона, в состав которых включались рефлекторы из композиционного материала, прошедшие технологический ремонт и не требующие ремонта. Установлено, что при практически полном взаимном соответствии геометрии рефлекторов, поврежденные участки негативно влияют на результирующие ДН. В тоже время отмечается, что подобные по размерам участки, подвергшиеся ремонту не оказывают заметного влияния в более низкочастотном  $K$ -диапазоне частот. Приводятся количественные оценки влияния проведенного технологического ремонта на характеристики направленности исследуемой антенны (ИА).

В третьей главе приводятся результаты экспериментальных исследований по оценке влияния различных средств измерений на результирующие характеристики антенн. Проведены сравнительные измерения на АИК БЗ и в в дальней зоне (ДЗ). Показано, что измеренные ДН зеркальных антенн  $Ku$ - и  $K$ -диапазонов хорошо согласуются в пределах основного и ближайших к нему боковых лепестков ДН. Следующим этапом диссертант приводит экспериментальные оценки согласованности результатов измерений при двух схемных измерительных решениях: с использованием внешних генератора и смесителей, а также с использованием оптических устройств. Установлено, что оба подхода позволяют получать практически идентичные результаты, однако решение с использованием оптического оборудования является более надежным и при этом позволяет практически полностью компенсировать ошибки измерения фазы. Автор выполнил также сравнительные эксперименты по измерению коэффициента усиления (КУ) рупорной антенны с использованием частотного и времяимпульсного методов с различной длительностью временного окна. Дается заключение о возможности применения этих вариантов при измерении КУ с точностью до 0,6 дБ. Также в главе представлены сравнительные результаты измерений кросс-поляризационной развязки (КПР) ИА  $Ka$ -диапазона с помощью зондовых антенн (ЗА) различных производителей. Отмечается, что сверхширокополосная ЗА вносит большую априорную погрешность, вследствие низкой собственной КПР, в то время как ЗА, выполненные в виде открытого конца прямоугольного волновода, позволяют измерять более слабые сигналы. Отмечается также, что вклад ЗА в

результаты измерений может быть сведен к минимуму путем математического учета их РТХ.

Четвертая глава посвящена экспериментальным исследованиям, связанным с особенностями методик измерений. Приводятся сравнительные измерения ДН зеркальной антенны  $Ku$ -диапазона при различных расстояниях от ЗА. Установлено, что до уровней порядка минус 20 дБ согласованность полученных ДН не превышает инструментальной погрешности используемого АИК. Приводятся подробные оценки согласованности ДН. Указывается так же, что результаты измерений получены с учетом погрешности ограничения области сканирования. Помимо этого в главе проводится сравнение значений отклонений электрических осей офсетной антенны  $Q$ -диапазона с эллиптической поляризацией для трех случаев: на основе аналитического выражения, на основе численно-модельной оценки и на основе измерений с учетом отклонения оси зондовой антенны от нормали к плоскости сканирования. Установлено, что несогласованность результатов на порядок меньше инструментальной погрешности АИК,. Далее автор проводит сравнение результатов измерений ДН осесимметричной двухзеркальной антенны  $K$ -диапазона с эллиптической поляризацией при различных углах отклонения оси ЗА от нормали к плоскости сканирования. Для привязки к длинам волн автор использует не угловое значение отклонения ЗА, а линейное, т.е. проекцию оси отклоненной ЗА на поверхность сканирования. Из результатов экспериментов видно, что увеличение отклонений оси ЗА не приводит к ошибкам определения значений отклонений электрической оси ИА, однако приводит к ошибкам восстановления ДН в области дальних боковых лепестков. Приводятся количественные оценки: при отклонении проекции оси ЗА более, чем на 3 длины волны, что приводит к ошибкам восстановления ДН на уровнях не выше минус 23 дБ в относительной амплитуде ДН. В заключительном подразделе на примере той же антенны приводятся особенности методики измерений коэффициента эллиптичности во время автоматизированных измерений объемной ДН в ДЗ. Описана корректная методика проведения данных измерений. Приведены количественные оценки, позволяющие оценить важность следования корректной методике.

В пятой главе диссертации автором рассмотрены способы уменьшения времени процесса измерений при сохранении необходимой точности. Приведены количественные и качественные оценки при проведении сравнительных измерений с разным шагом дискретизации измеряемого ближнего поля на примере двухзеркальной осесимметричной антенны  $Ka$ -диапазона, а также при использовании однопортового и двухпортового режимов работы векторного анализатора цепей при измерении амплитудно-фазового распределения (АФР) ближнего поля многолучевой антенной решетки  $Q$ -диапазона. Даются оценки, позволяющие для некоторых практических задачкратно сократить время измерений.

Достоверность результатов, полученных в диссертационной работе, обусловлена применением поверенного сертифицированного оборудования, физически обоснованных методик измерений, согласованности результатов компьютерного моделирования и экспериментальных исследований,

воспроизводимостью полученных результатов, верификацией измерений путем применения различных измерительных средств.

Новизна полученных автором результатов обусловлена тем, что впервые показана согласованность измеренных в БЗ значений электрических осей бортовых зеркальных антенн  $Q$ -диапазона с результатами моделирования при отклонении ЗА от нормали к поверхности сканирования.

Также для излучателя облучающей решетки впервые подтверждено совпадение результатов измерений КУ многолучевой антенны  $Q$  диапазона в БЗ с одним и двумя приёмниками.

Результаты, полученные в ходе диссертационного исследования, используются в производственных процессах в АО «ИСС» и ООО «НПП «ТРИМ СШП измерительные системы», о чем свидетельствуют акты внедрения. По результатам диссертации опубликовано 15 работ, в том числе 4 публикации в журналах из перечня ВАК. Результаты диссертационных исследований докладывались на 3 международных и 2 всероссийских конференциях. В автореферате достаточно полно отражено основное содержание диссертации.

#### Замечания по работе

1. В диссертации проводятся оценки влияния различных факторов преимущественно на результаты измерений ДН по основной поляризации, однако мало внимания уделяется влиянию данных факторов на измерение кросс-поляризационной составляющей поля исследуемых антенн.

2. Результаты экспериментов сопоставляются с результатами расчета только одного программного пакета, использующего приближенные методы расчета характеристик зеркальных антенн.

3. Достаточно слабо освещены вопросы метрологии проведенных экспериментальных исследований.

4. В п. 2.2 главы 2 говорится о том, что в случае антенн, работающих в  $K$ -диапазоне, поврежденные участки рефлекторов не оказывали заметного влияния на результаты измерений ДН, однако результаты измерений не приводятся.

#### Заключение

Диссертационная работа Доманова Сергея Константиновича соответствует требованиям Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемых к кандидатским диссертациям, является научно-квалификационной работой, в которой решены актуальные практические задачи по определению качественной и количественной оценок факторов, влияющих на результаты измерений радиотехнических характеристик антенн КА, а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.07 – Антенны, СВЧ устройства и их технологии.

Отзыв на диссертационную работу обсуждён на семинаре кафедры радиотехники « 14 » ноября 2018 г., протокол № 3

Заместитель директора по науке и развитию  
Института инженерной физики и радиоэлектроники  
ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»,  
канд. техн. наук, профессор

Ю. П. Саломатов

Наименование организации	Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский федеральный университет» (ФГАОУ ВО СФУ), г. Красноярск
Почтовый адрес	660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79
E-mail	ysalomatov@sfu-kras.ru
Телефон	+7 (391) 291-22-78
Должность, степень	Заведующий кафедрой Радиотехники, к.т.н., профессор
Ф И О	Саломатов Юрий Петрович