

Нижегородский научно-исследовательский радиофизический институт

Министерстве науки, высшей школы и технической политики
Российской Федерации

П р е п р и н т № 357

РАЗВИТИЕ И РАЗРАБОТКА
РАДИОАСТРОНОМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ
АНТЕННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ
В НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОМ
РАДИОФИЗИЧЕСКОМ ИНСТИТУТЕ (НИРФИ)

Н.М.Цейтлин

Ц е й т л и н Н. М.

РАЗВИТИЕ И РАЗРАБОТКА РАДИОАСТРОНОМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ АНТЕННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОМ РАДИОФИЗИЧЕСКОМ ИНСТИТУТЕ (НИРФИ)//Препринт № 357. - Нижний Новгород: НИРФИ, 1993. - 14 с.

УДК 523.164:621.396.67

В работе дан исторический обзор развития методов антенных измерений в Нижегородском научно-исследовательском радиофизическом институте (НИРФИ). Рассматриваются методы измерения параметров антенн с помощью источников космического радиоизлучения, радиоизлучения Земли, атмосферы, а также искусственных эталонов - "черных" дисков. Анализируется современное состояние антенных измерений и перспективы их развития.

Возможность использования радиоизлучения Солнца и дискретных источников для измерения диаграмм направленности антенн радиотелескопов стала очевидной с самого начала развития радиоастрономии. Первые измерения диаграммы направленности по радиоизлучению Солнца были проведены Ааронсом /1/ в США и Молчановым /2/ в СССР в начале пятидесятых годов. В нашей стране в 1950-55 гг. измерения параметров антенн радиотелескопов проводились на радиоастрономических станциях в Пулково под Ленинградом (С.Э.Хайкин, Н.Д. Кайдановский и др.), в Пушкино под Москвой (В.В.Виткевич, А.Д. Кузьмин, А.Е.Саломонович, Р.Л.Сороченко и др.) и в Зименях под Горьким (В.С.Троицкий, В.А.Разин, Н.М.Цейтлин, Б.П.Забродин и др.). В эти годы были предложены методы измерения потерь в антенно-фидерных (антенно-волноводных) системах по собственным шумам поглощающего материала в волноводе (Кайдановский, Турусбеков, Хайкин /3/) и по собственным шумам антенны и тракта (Разин /4/). Последний метод затем был развит в НИРФИ /5/ и получил весьма широкое распространение. Существенное развитие радиоастрономических методов исследования антенн как самостоятельная область получили начиная с 1956 года, когда в Горьком М.Т.Греховой был создан Научно-исследовательский радиофизический институт. Это и понятно, так как методы эти, по существу, радиофизические ("физика для радио"), а радиофизическая культура в НИРФИ весьма высокая.

Первой работой, положившей начало целенаправленным исследованиям в этой области, был обзор Троицкого /5/.

В НИРФИ эти методы развивались в трех направлениях: создание физических основ методов, разработка новых методов, их практичес-

кая реализация.

Что касается первого направления, то основным здесь являлось получение соотношений для температуры антенны с учетом влияния космического радиоизлучения, радиоизлучения атмосферы Земли и собственно антенны. Основой для получения этого соотношения явились работы Позы и Брейсуэлла /6/ и Левина /7/, показавших что "отклик" антенны на радиоизлучения каких-либо тел определяется долей мощности этой же антенны, поглощаемой в теле при работе антенны на излучение. Отсюда, в частности, стало ясно, что коэффициент полезного действия (КПД) приемной антенны есть по определению КПД той же антенны, но работающей на передачу (естественно, при отсутствии взаимных элементов).

Соотношение для температуры антенны с учетом излучения, падающего в главный и боковые лепестки, впервые было получено в 1959 г. автором этой статьи /8/, введшим понятие коэффициента рассеяния (КР), то есть доли мощности, излучаемой антенной в некоего-либо телесного угла диаграммы направленности (в частности, главного лепестка). Использование КР позволило корректно учитывать влияние космического радиоизлучения, радиоизлучения атмосферы и земли при радиоастрономических измерениях. Это влияние применительно к крупным антеннам, для которых основная толща атмосферы расположена в френелевой зоне и даже в зоне "прожекторного луча", было исследовано в работе /9/. Коэффициент рассеяния отражает то очевидное обстоятельство, что в боковые и задние лепестки диаграммы направленности антенны излучается (или поступает) существенная доля мощности, излучаемой антенной. Это связано с тем, что боковые и задние лепестки, уровень которых весьма мал, "размазаны" по всему пространству 4π (≈ 40000 кв.град), значительно превышающему область пространства, занимаемую главным лепестком. Так, например, если главный лепесток занимает телесный угол 1 кв.град. (для крупных антенн на коротких волнах этот угол значительно меньше), а средний уровень бокового и заднего излучения порядка 10^{-5} , то вне главного лепестка излучается до 40% всей мощности. Это очевидное обстоятельство, однако, не учитывалось до начала 60-х годов, когда антенны использовались, в основном, в радиолокационных станциях (РЛС) не слишком дальнего обнаружения и системах связи, а сами антенны были средних размеров. С развитием

радиолокации, связи и особенно космической связи, пассивной радиолокации и радиостроении, созданием крупных антенн и малочувствительных приемных систем это обстоятельство стало необходимо учитывать. Тогда и появился коэффициент рассеяния, пришедший в антенную технику из радиостроения. Радиостроения же и предоставила возможности для измерения этого коэффициента.

Дело в том, что если для измерения диаграммы направленности и усиления антенны требуются источники "точечные" (то есть много меньшие угловых размеров главного лепестка диаграммы направленности), то для измерения КР требуются источники с конечными угловыми размерами, сравнимыми или превышающими угловые размеры главного лепестка. К таким источникам прежде всего относится Луна, угловой диаметр которой составляет $30'$, а яркостная температура равна ≈ 225 К в дециметровом-метровом диапазонах волн (на волнах сантиметрового и особенно миллиметрового диапазонов необходимо учитывать фазовый ход радиоизлучения Луны). Яркостная температура Луны в мм-дм диапазонах известна с погрешностью порядка 5% благодаря работам В.С.Троицкого и его сотрудников (А.Г.Кисляков, В.Д.Кротилов и др.). Именно поэтому метод измерения КР по радиоизлучению Луны был предложен и разработан в НИРФИ (см., например, /10/). Рассеяние измеряется вне угловых размеров Луны, то есть метод применим для достаточно остронаправленных антенн, ширина главного лепестка которых порядка $30'$ (пересчет в пределах главного лепестка очевиден и не вносит существенных погрешностей).

Возможно было бы использовать для измерения КР радиоизлучение Солнца, угловой диаметр которого примерно равен лунному, однако радиотемпература Солнца нестабильна и, главное, неравномерно распределена по его диску из-за нестационарных процессов на Солнце. Поэтому говорить о какой-либо приемлемой точности здесь не приходится. В метровом диапазоне яркостная температура распределенного космического радиоизлучения составляет сотни и тысячи градусов Кельвина. Поэтому в этом диапазоне измерения по радиоизлучению Луны невозможны (здесь Луна выглядит темной "дыркой" на ярком фоне). В этом диапазоне, однако, можно измерять коэффициент рассеяния по самому распределенному космическому радиоизлучению, имеющему на небосводе ряд областей, резко отличающихся по яркостной температуре. При этом возможно измерение рассеяния, но не вне главного лепестка, а вне так называемого "полного луча", включаю-

щего главный лепесток и наиболее существенную неизотропную часть диаграммы направленности. Этот метод также был предложен в НИРФИ /11/, но пока не получил распространения.

В качестве источников с конечными угловыми размерами можно использовать также атмосферу Земли и саму Землю, тепловое излучение которых достаточно хорошо изучено, в частности, также в работах сотрудников НИРФИ. Эти измерения наиболее перспективны в см-ди диапазонах, когда еще несущественно распределенное космическое радиоизлучение. Метод измерения КР по радиоизлучению атмосферы и земли также был предложен в НИРФИ /12/. Заметим, что коэффициент рассеяния является более общим энергетическим параметром антенны, чем коэффициент усиления, поскольку последний может быть получен из КР, если известна диаграмма направленности в пределах соответствующих углов. Зная КР, можно также оценить средний уровень бокового излучения.

В качестве распределенных источников можно использовать и наземные источники, например, срез почвы, наблюдаемый на вертикальной поляризации под углом Брюстера, когда яркостная температура почвы практически равна окружающей температуре (почва при угле Брюстера "черная"). Этот метод был предложен в НИРФИ /13/.

Наиболее точным методом, позволяющим измерять КР антенн с небольшими и средними электрическими размерами, оказался предложенный в НИРФИ /10, 14/ метод, использующий в качестве источника так называемый "черный" диск. Это - диск, покрытый поглощающим материалом, яркостная температура которого равна окружающей, с погрешностью, определяемой коэффициентом поглощения материала и дифракционной поправкой, связанной с излучением земли, попадающим в антенну из-за дифракции на диске. Для уменьшения дифракционной поправки необходимо наблюдать диск под достаточно большим углом к горизонту (больше $15-20^\circ$) и на достаточно большом расстоянии (в дальней зоне исследуемой антенны). При этом диск сравнительно большого диаметра (до нескольких метров) необходимо устанавливать на большей высоте относительно антенны, что технически бывает сложно. Можно, конечно, использовать рельеф местности, устанавливая диск на вершине горы, как это сделано на радиоастрономической станции НИРФИ в районе Кара-Дага. Однако это лишает метод универсальности. Поэтому в НИРФИ был предложен метод /15/, состоящий из измерения по диску с фокусировкой антенны на диск. Этот

метод позволяет располагать "черные" диски на расстояниях и высотах в десятки раз меньших, чем при расположении их в дальней зоне. При исследованиях НИРФИ "черные" диски расположены соответственно в дальней зоне на вершине горы в районе Кара-Дага и вблизи антенны на РАС НИРФИ "Старая Пустынь" на 25-метровой вышке. Измерения по "черным" дискам возможны с погрешностью, не превышающей 5%.

Использование метода "черного" диска позволило реализовать программу радиоастрономических исследований, предложенную в 1960 году В.А.Разиным и автором этой статьи. Эта программа состояла в систематически и многократно повторяющихся в течение многих лет точных абсолютных измерениях потоков наиболее мощных дискретных источников — Кассиопея-А, Лебедь-А, Телец-А, Дева-А в широком диапазоне длин волн от сантиметров до метров. Упомянутая программа была осуществлена на РАС НИРФИ в районе Кара-Дага (В.С.Троицкий, В.А.Разин, Н.М.Цейтлин, К.С.Станкевич и их сотрудники; "черный" диск в дальней зоне) и в "Старой Пустыне" (В.А.Разин, Н.М.Цейтлин и их сотрудники; "черный" диск в зоне Френеля). За 25 лет реализации программы были получены существенные астрофизические результаты, в частности, впервые в мире обнаружены: вековой ход радиоизлучения Тельца-А /16/ и частотная зависимость векового хода радиоизлучения Кассиопеи-А /17/. Полученные прецизионные спектры потоков мощных дискретных источников (погрешность порядка 3-5%) явились эталонными для построения шкал потоков дискретных источников и в то же время обеспечили точные измерения усиления антенн по радиоизлучению этих источников. Таким образом, в НИРФИ была создана эталонная система потоков мощных дискретных источников для антенных измерений.

Весьма полезен для измерения параметров крупных антенн созданный в НИРФИ Дугиным и Кузнецовой /18/ подробный каталог дискретных источников малых угловых размеров.

В последние 15 лет в НИРФИ развивались методы измерения предельно низких уровней бокового радиоизлучения антенны и методы точного измерения электрических длин без малобазовых радиометер-ферометров.

Развитие в НИРФИ известного корреляционного метода антенных измерений и разработка соответствующей корреляционной аппаратуры (Беагон, Рсманьчев /20/, Коротков, Турчин /19/ и др.) позволяла и

измерять диаграмму направленности крупных антенн с диаметром раскрытия в несколько десятков метров до уровней -70 дБ (А.В.Келин и н, В.С.Коротков, Г.А.Кисляков /19, 33/). Этот метод позволил также осуществлять оперативный контроль возможных деформаций поверхности крупных зеркальных антенн с погрешностью до долей волны /33/.

Разработанный Дугиным /20/ метод измерения параметров базиса радиointерферометра по радиоизлучению ряда внеземных источников весьма перспективен в геодезии, геодинاميке и других прикладных областях науки и техники.

Внедрение радиоастрономических методов антенных измерений осуществлялось в НИРФИ начиная с 1959 г. В 1959-66 гг. в НИРФИ были предложены и разработаны радиоастрономические методы измерения параметров радиолокационных станций дальнего обнаружения метрового диапазона волн. Практическая реализация этих методов начала осуществляться в 1959 году в НИРФИ вместе с горьковскими предприятиями и радиотехническими войсками ПВО страны и продолжается в настоящее время (Н.М.Цейтлин, В.И.Овсянников, Ю.В.Кротов, В.Б.Дружинин, В.И.Игнатьев, В.Т.Ермолаев, Ю.В.Сысоев и др.). Использование этих методов в процессе разработки, производства и эксплуатации всего лишь нескольких типов РЛС позволило получить многомиллионную экономию за счет резкого сокращения самолетовылетов при испытаниях РЛС.

Применительно к РЛС в эти годы разработка и внедрение радиоастрономических методов проводились также в Московской организации (Н.Г.Орлов, Г.М.Ткачев, И.Е.Гольберг и др.).

В 60-70^х годах осуществлялось внедрение разработанных в НИРФИ радиоастрономических методов применительно к РЛС сантиметровых и дециметровых диапазонов совместно с рядом Московских организаций (Н.М.Цейтлин, Д.А.Дмитренко, А.А.Романчев, А.Л.Фогель, Л.Н.Захарьев, К.С.Щеглов и др.).

Методы "черных" дисков получили распространение в антенных измерениях благодаря работам НИРФИ и группы Московских исследователей (Л.Д.Бахрах, В.И.Андрянов, О.В.Владимирова, В.И.Волков и др.).

Корреляционный метод был практически реализован в 70-80^х годах (В.И.Турчин, В.С.Коротков, А.Л.Фогель, А.В.Калинин, Г.А.Кисляков, С.П.Скулкин и др.) совместно с рядом Московских организаций (К.С.Щеглов, В.П.Мальцев, А.Г.Козлов, Б.Г.Сергеев, Б.А.Попер-

ченко, Э.П.Горбатов и др.).

Результаты разработки радиоастрономических методов антенных измерений суммированы в монографиях /21-23/.

Развитие и разработка радиоастрономических методов в НИРФИ стимулировали исследования в другой весьма перспективной области антенных измерений, а именно: измерения в ближней зоне. Еще в 60-е годы в НИРФИ был развит предложенный Ченгом /24/ и независимо Ксепяиной /25/ метод фокусировки зеркальных антенн при измерениях в зоне Френеля исследуемой антенны. Затем в НИРФИ Снегиревой /26/ был разработан метод фокусировки антенных решеток.

Однако радикальным решением проблемы антенных измерений в ближней зоне явился предложенный Бахрахом и Курочкиным /27/ в 1967 году голографический метод. Этот метод, заключающийся в приеме сигнала на опорную и исследуемую антенны, получении голограммы и последующем преобразовании ее в двумерную диаграмму направленности, впервые в мире был реализован на 7-метровой антенне на РАС НИРФИ "Старая Пустынь" /28/. При этом использовалась оптическая обработка информации.

Однако с развитием вычислительной техники становилась все более очевидной ее предпочтительность перед оптической обработкой. Поэтому в 1971 году в /29/ было предложено использование ЭВМ для обработки голографических антенных измерений (см. также /30/). С этого времени в отделе Прикладной радиоастрономии и голографии НИРФИ, наряду с радиоастрономическими, стали активно развиваться радиоголографические (амплифазометрические) методы антенных измерений (Н.М.Цейтлин, В.И.Турчин, А.Л.Фогель, В.С.Коротков, Ю.И.Белов, А.И.Кнафель, А.В.Калинин, С.П.Скулкин, Л.Р.Семенова, Д.Е.Емельянов). Эти исследования проводились, естественно, не только в НИРФИ, но и в ряде других организаций страны, главным образом, в коллективах Л.Д.Бахраха (А.П.Курочкин, Ю.А.Каплун, В.И.Летвинов и др.), Г.Г.Бубнова (Г.М.Ткачев, И.Е.Гольберг, В.Н.Гармаш и др.), Д.Б.Зимина, Ф.Н.Петросяна и П.М.Герунки.

Вклад НИРФИ в эти исследования весьма существен. Здесь необходимо отметить предложенный и созданный в НИРФИ уникальный стенд для планарных антенных измерений в ближней зоне, необходимый, в частности, для исследования обезвешенных космических антенн /31, 32/.

Рассмотренная область исследования далеко не исчерпана. Необ-

ходими создание и разработка радиоастрономических методов измерения параметров неполноповоротных и механически неповоротных антенн, в частности, многолучевых сканирующих антенных решеток. Здесь возможно последовательное использование нескольких внеземных источников. Необходимо дальнейшее развитие корреляционного метода, главным образом, с точки зрения повышения стабильности линий связи между опорной и исследуемой антеннами и оптимального расположения опорной антенны, в частности, вблизи фокуса исследуемой антенны.

Весьма актуальной является проблема наземной калибровки космических антенн, находящихся в обезвешенном состоянии. До сих пор практически не исследованы вопросы калибровки крупных космических антенн непосредственно в космосе. Здесь могут оказаться полезными достижения не только радиоастрономии, но и пассивной локации, когда источниками калибровочного сигнала являются не только наземные генераторы, но и, например, контрастные в радиодиапазоне естественные земные объекты (границы рек, озер и т.п.).

Необходимо создание так называемых "горячих" дисков, то есть эталонных излучателей с конечными угловыми размерами и яркостной температурой, существенно превышающей окружающую. Использование и подобных дисков в сочетании с обычными ("черными") позволит размещать их на малых высотах и расстояниях.

В радиолокации по-прежнему остается актуальной задача радиоастрономического измерения зоны обнаружения РЛС на предельно низких углах и горизонту, где существенно влияние рефракции. Здесь исключительно важен экспериментальный учет влияния рельефа местности.

Остается актуальной проблема автономной географической привязки антенных систем радиоинтерферометрическим методом по радиоизлучению внеземных источников. Здесь особенно перспективны "бесфазовые" методы.

Необходимо создание достаточно универсальной, в том числе передвижной, полностью автоматизированной измерительной аппаратуры и разработка соответствующих математических программ.

Требует разработки проблема учета влияния на характеристики антенны различных ее конструктивных элементов, а также окружающих объектов. Это особенно важно для корабельных, самолетных и ракетных антенн. Для последних существенна проблема влияния плазмы на

характеристики антенны. Здесь могут оказаться полезными многочастотные и время-импульсные методы измерения (время-импульсные методы, естественно, могут использовать лишь наземные источники).

Следует отметить необходимость создания регулярных служб прецизионного измерения потоков радиоизлучения Солнца и дискретных источников в широком диапазоне длин волн специально для антенных измерений.

Проводимые исследования будут не только способствовать существенному повышению качества существующих и вновь создаваемых антенных систем, но могут также стимулировать достижения в таких областях науки, как радиастрономия, радиоголография, радиофизические методы в медицине, геодезии и геодинамике.

ЛИТЕРАТУРА

1. Lyons // J. Proc. IRE. - 1953. - V.41, №3. - P.403.
2. Бегуславцев С.А., Молчанов А.П., Оляник И.В., Пономаренко Л.М. Исследование антенных устройств по космическим источникам радиоизлучения с конечными размерами//Радиотехника и электроника. - 1956. - Т.1, № 6. - С.873.
3. Кайдановский Н.Л., Турусбеков М.Т., Хайкин С.Э. Тепловое радиоизлучение Луны. - В кн.: Труды 5-го совещания по вопросам космогонии. - М.: Изд.АН СССР. - 1956. - С.347.
4. Разин В.А., Плечков В.М.//Труды 5-го совещания по вопросам космогонии. - М.: Изд.АН СССР. - 1956. - С.430.
5. Троицкий В.С. Радиоастрономические методы исследования антенн//Радиотехника и электроника. - 1956. - Т.1, № 5. - С.601.
6. Позн Д.Л., Брейсуэлл Р.Н. Радиоастрономия./Пер. с англ. -М.: ИЛ, 1958.
7. Левин М.Л. Наведенные тепловые шумы в антеннах//ЭТФ. - 1955, Т.25, № 13. - С.2313.
8. Фэйтлин Н.М. Об измерении интенсивности дискретных источников на метровых волнах//Изв.вузов. - Радиофизика. - 1960, Т. 3, № 2. - С.334.
9. Разин В.А., Фэйтлин Н.М. К вопросу об измерении радиоизлучения атмосферы и поверхности Земли//Изв.вузов. - Радиофизика. - 1962. - Т.5, № 1. - С.21.

10. Троицкий В.С., Цейтлин Н.М. Радиоастрономические методы абсолютных измерений интенсивности сигнала, калибровки антенн и радиотелескопов на сантиметровых волнах//Изв.вузов. - Радиофизика. - 1961. - Т.4, № 3. - С.393; Использование абсолютного радиоастрономического метода для калибровки небольших антенных систем на сантиметровых волнах//Изв.вузов. - Радиофизика. - 1962. - Т.5, № 4. - С.623.
11. Цейтлин Н.М. Об измерениях КНД и КЩД антенн на метровых волнах по внеземному радиоизлучению//Изв.вузов. - Радиофизика. - 1958. - Т.1, № 5-6. - С.
12. Дмитренко Д.А. Метод измерения коэффициентов рассеяния по излучению Земли и атмосферы//Радиотехника и электроника. - 1971. - Т.16, № 8. - С.1323.
13. Троицкий В.С., Цейтлин Н.М. Метод измерения коэффициента рассеяния и фоновых шумов антенн. Абсолютные измерения яркости фона на СВЧ//Изв.вузов. - Радиофизика. - 1960. - Т.3, № 4. - С.667.
14. Цейтлин Н.М. К методике прецизионных измерений с помощью "черного" диска//Изв.вузов. - Радиофизика. - 1963. - Т.6, № 6. - С.1265.
15. Цейтлин Н.М. К вопросу об измерении параметров антенн по радиоизлучению "черного" диска, расположенного в зоне Френеля. //Изв.вузов. - Радиофизика. - 1964. - Т.7, № 3. - С.571.
16. Вивяйкин Е.Н., Разин В.А. О вековом уменьшении плотности и потоков радиоизлучения остатков сверхновых Кассиопея-А и Тельца-А на частоте 927 МГц//Астрономический журнал. - 1979. - Т.56, Вып.5. - С.913-917.
17. Дмитренко Д.А., Цейтлин Н.М., Виноградова Л.В., Гитермах Х.Ф. Абсолютные измерения интенсивности излучения Кассиопея-А, Лебедя-А, Тельца-А в диапазоне 3-15 см//Изв.вузов. - Радиофизика. - 1970. - Т.13, № 6. - С.823.
18. Кузнецова Н.А., Дугин Н.А. Каталог радиисточников для антенных и интерферометрических измерений. - Горький: НИРФИ. - 1988. - 445 с.
19. Векслер Н.В., Калинин А.В., Коротков В.С., Турчин В.И. Измерение поляризационных и фазовых диаграмм направленности антенн и амплитудно-фазового распределения корреляционным методом с использованием внеземных источников радиоизлучения//

- Изв.вузов. - Радиофизика. - 1984. - Т.27, № 3. - С.341-349.
20. Беагон В.С., Дугин Н.А., Романовичев А.А. и др. Двухэлементный радиоинтерферометр НИРФИ, предназначенный для работы в системе апертурного суперсинтеза//Препринт № 143. - Горький : НИРФИ. - 1980. - 56 с.
 21. Цейтлин Н.М. Применение методов радиоастрономии в антенной технике. - М.: Сов.радио, 1966.
 22. Цейтлин Н.М. Антенная техника и радиоастрономия. - М.: Сов. радио, 1976.
 23. Захарьев Л.Н., Леманский А.А., Турчин В.И., Цейтлин Н.М., Щеглов К.С. Под ред.Н.М.Цейтлина - Методы измерения характеристик антенн СВЧ. - М.: Радио и связь, 1985.
 24. Ченг Д. Испытание антенн сантиметрового диапазона при уменьшенных расстояниях//Вопросы радиолокационной техники. - 1957. - № 2(38). - С.62.
 25. Есепкина Н.А. Об одном методе измерения диаграмм направленности радиотелескопов с высокой разрешающей способностью // ДАН СССР. - 1957. - Т.113, № 1. - С. ; ПТЭ. - 1959. - № 2. - С.24.
 26. Снегирева В.В. К вопросу о влиянии взаимной связи элементов антенной решетки на точность измерения ее параметров методом фокусировки//Радиотехника и электроника. - 1979. - Т.24, № 3. - С.620-623.
 27. Бахрах Л.Д., Курочкин А.П. Об использовании оптических систем и методов голографии для восстановления диаграмм направленности антенн СВЧ по измерениям поля в зоне Френеля// ДАН СССР. - 1966. - Т.171, № 6. - С.1309.
 28. Бахрах Л.Д., Дмитренко Д.А., Курочкин А.П., Цейтлин Н.М., Аутынян Д.А. Об измерении диаграммы направленности приемной антенны по источнику в зоне Френеля с использованием голографии и оптической обработки//ДАН СССР. - 1971. - Т.201, № 3. - С.580.
 29. Турчин В.И., Цейтлин Н.М. К вопросу об измерении диаграмм направленности антенн в зоне Френеля//ДАН СССР. - 1972. - Т.205, № 4. - С.280.
 30. Турчин В.И., Цейтлин Н.М., Чандаев А.К. Об измерении диаграмм направленности антенны по излучению источника в зоне Френеля с помощью голографии на СВЧ и обработки на ЭВМ//Ра -

диотехника и электроника. - 1973. - Т.18, № 4. - С.725.

31. Бажарев Н.В., Белов Ю.И., Корелов В.Т., Коротков В.С., Моса - лов И.В., Турчин В.И., Фогель А.А., Цейтлин Н.М. Сканирующее устройство измерителя волнового поля. - А.с.№ П23383 (СССР) с приоритетом от 01.02.82. Опубл. в БИ № 15, 1987.
32. Антонец М.А., Бажарев Н.В., Белов Ю.И. и др. Автоматизированный стенд НИРФИ для измерения параметров СВЧ антенн в ближней зоне//Препринт № 279. - Горький: НИРФИ. - 1989. - 67 с.
33. Емельянов Д.Е., Калинин А.В., Кисляков Г.А., Мальцев В.П., Семенов А.Р., Щеглов К.С. Методика и результаты измерения характеристик крупногабаритной зеркальной антенны корреляционным методом//Тезисы докладов ВКАИ-5. - Ереван. - 1990. - С.67-68.

Дата поступления статьи
27 января 1993 г.

Наум Моисеевич Цейтлин
РАЗВИТИЕ И РАЗРАБОТКА
РАДИОАСТРОНОМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ
АНТЕННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ
В НАУЧНО - ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОМ
РАДИОФИЗИЧЕСКОМ ИНСТИТУТЕ (НИРФИ)

Подписано в печать 30.03.93 г. Формат 60 x 84/16.
Бумага писчая. Печать офсетная. Объем 0,95 усл. п. л.
Знак 5303. Тираж 100.

Отпечатано на ротапринтере НИРФИ