

## Проблема точности в науке

*Навигацию у нас в мореходном училище преподавал Христофор Бонифатьевич Врунгель.*

*- Навигация, сказал он на первом уроке, - это наука, которая учит нас избирать наиболее безопасные и выгодные морские пути, прокладывать эти пути на картах, и водить по ним корабли... Навигация, - добавил он напоследок, - наука не точная. Для того, чтобы вполне овладеть ею, необходим личный опыт продолжительного практического плавания...*

*(А. Некрасов. Приключения капитана Врунгеля.)*

**Наука** — область человеческой деятельности, направленная на выработку и систематизацию объективных знаний о действительности. Основой этой деятельности является сбор фактов, их постоянное обновление и систематизация, критический анализ и, на этой основе, синтез новых знаний или обобщений, которые не только описывают наблюдаемые природные или общественные явления, но и позволяют построить причинно-следственные связи с конечной целью прогнозирования. Те теории и гипотезы, которые подтверждаются фактами или опытами, формулируются в виде законов природы или общества.

В науке (естествознании), как и в религии, существуют такие безусловные положения - "догматы" - которые не доказываются (и не могут быть доказаны), но принима-

ются в качестве исходных, поскольку являются необходимыми для построения всей системы знания. Такие положения называются в ней постулатами или аксиомами. Естествознание базируется, по меньшей мере, на следующих двух основных положениях: признании, во-первых, реальности бытия мира и, во вторых, закономерности его устройства и познаваемости человеком.

**Аксио́ма** (др.-греч. ἀξίωμα — утверждение, положение), **постула́т** — исходное положение какой-либо теории, принимаемое в рамках данной теории истинным без требования доказательства и используемое при доказательстве других её положений, которые, с свою очередь, называются теоремами.

Необходимость в принятии аксиом без доказательств следует из индуктивного соображения: любое доказательство вынуждено опираться на какие-либо утверждения, и если для каждого из них требовать своих доказательств, цепочка получится бесконечной. Чтобы не уходить в бесконечность, нужно где-то эту цепочку разорвать — то есть какие-то утверждения принять без доказательств, как исходные. Именно такие, принятые в качестве исходных, утверждения и называются аксиомами.

В современной науке вопрос об истинности аксиом, лежащих в основе какой-либо теории, решается либо в рамках других научных теорий, либо посредством интерпретации данной теории.

**Геометрия Лобачевского (гиперболическая геометрия)** — одна из неевклидовых геометрий, геометрическая теория, основанная на тех же основных посылах, что и обычная евклидова геометрия, за исключением аксиомы о параллельных прямых, которая заменяется её отрицанием.

*Евклидова аксиома о параллельных (точнее, одно из эквивалентных ей утверждений) может быть сформулирована следующим образом:*

*В плоскости через точку, не лежащую на данной прямой, можно провести одну и только одну прямую, параллельную данной.*

*В геометрии Лобачевского, вместо неё принимается следующая аксиома:*

*Через точку, не лежащую на данной прямой, проходят по крайней мере две прямые, лежащие с данной прямой в одной плоскости и не пересекающие её.*

*Аксиома Лобачевского является точным отрицанием аксиомы Евклида (при выполнении всех остальных аксиом), так как случай, когда через точку, не лежащую на данной прямой, не проходят ни одной прямой, лежащей с данной прямой в одной плоскости и не пересекающей её, исключается в силу остальных аксиом (аксиомы абсолютной геометрии). Так, например, геометрия Римана, в которой любые две прямые пересекаются, и следовательно, не выполнена ни аксиома о параллельных Евклида, ни аксиома Лобачевского, не является абсолютной геометрией.*

*Геометрия Лобачевского имеет обширные применения как в математике, так и в физике. Историческое и философское её значение состоит в том, что её построением Лобачевский показал возможность геометрии, отличной от евклидовой, что знаменовало новую эпоху в развитии геометрии, математики и науки вообще.*

*(Из Википедии)*

Я не думаю, что Христофор Бонифатьевич Врунгель, говоря о неточности навигации как науки, имел ввиду глобальные ее проблемы, такие, как, например, аксиому о параллельности Евклида, метрику пространства или рефрак-

цию света в атмосфере при наблюдении звезд. Скорее всего, он имел ввиду самые обычные вещи, влияющие на точность определения координат корабля, которые нами не учитываются, иногда по незнанию, а иногда по халатности и разгильдяйству: к окуляру прилип комар, прибор упал и оптическая ось сместилась, покрылся изморозью объектив и исказил изображение, забыли завести пружину хронометра.

Часто происходят события, хорошо объяснимые старой поговоркой «Благими намерениями ад вымощен», которой Виктор Черномырдин придал новое звучание с оттенком безнадежности и с намеком на Рок, Долю и Судьбу: «Хотели как лучше, а получилось как всегда».

Моя самая первая научная статья называлась:  
Алебастров В.А., Афанасьев В.В., Белкина Л.М., Бочаров В.И., Копейкин В.В., Наумов А.Ф., Соколовский В.И., Черкашин Ю.Н. Многочастотное усреднение как метод повышения точности оценок параметров сигналов ВНЗ. – В кн.: Распространение декаметровых радиоволн. М., ИЗМИРАН, 1980, с. 75-78.

В то время я работал по распределению в Николаевском филиале НИИ Дальней радиосвязи (НФ НИИДАР). Среди прочих задач мне вменялась в обязанность контактировать с Институтом земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн АН СССР (ИЗМИРАН) со стороны филиала по договорной теме «Топаз».

Основная моя производственная тема была связана с алгоритмами обработки сигналов на коротковолновом

радиолокаторе станции обзора трасс (СОТ). Она придавалась загоризонтному радиолокатору (ЗГ РЛС) 5Н32 для оперативного наблюдения за ионосферой методом возврата – наклонного зондирования (ВНЗ).

СОТ работала в диапазоне частот от 3 до 30 МГц. Приемная позиция представляла собой решетку широкополосных вертикальных штырей, расположенных по кругу, обеспечивая круговую диаграмму направленности. Передатчик находился в 30 км и управлялся по каналу телеметрии.

Время, когда ионосферная обстановка может заметно измениться – 15 минут, поэтому СОТ, обычно с темпом 5 минут, снимала ионограммы ВНЗ.

Ионограмма ВНЗ – это зависимость задержки всех импульсных радиолокационных сигналов, отраженных от поверхности земли и прошедших двойной путь через ионосферу (эффект Кабанова), в зависимости от частоты, изменяемой во всем диапазоне коротких (декаметровых) волн.

Сигналы ВНЗ принимались уверенно, с хорошим соотношением сигнал/шум, поскольку конкретная рабочая частота станции выбиралась по данным УПРК (устройства поиска рабочих каналов) – совсекретного коротковолнового спектроанализатора.

Хорошую рабочую частоту в нужном диапазоне выбрать не просто – короткие волны собираются ионосферой со всего Земного шара и этот диапазон сильно перегружен. Кроме того, на излучение наложена «маска» - перечень запрещенных частот, на которых передаются сигналы бедствия, правительственные сообщения, идет радиовещание.

Сигналы ВНЗ подвержены случайным флуктуациям, поэтому мы, для увеличения точности оценок, обычно усредняли значения амплитуды по нескольким реализациям на одной частоте.

По теме «Топаз» пришло предложение внедрить многочастотный режим усреднения (МЧР). Алгоритм отличался от нашего тем, что проводить усреднение следует не на одной частоте, а на целом ряде частот, последовательно «перескакивая» с одной на другую.

Мы задумались, а для чего? Ведь ионограмма ВНЗ – это частотная зависимость, а усредняя сигналы на ряде частот, мы ухудшаем разрешение, «смазываем» его по времени задержки – по нашему основному рабочему параметру. Обратились за разъяснениями в ИЗМИРАН.

Ответ был следующим:

- Вы же знаете, что при усреднении важную роль играет корреляция между соседними выборками. Когда корреляция нулевая, т.е. измерения независимы, усреднение эффективно, если корреляция близка к единице, т.е. изменения плавные и значения в соседних выборках еще не сильно изменились, то такое усреднение не эффективно.

- Наше предложение – соседние выборки брать на разных частотах, расположенных через интервал частотной корреляции, обеспечивая статистическую независимость соседних измерений.

На вопрос, а как же быть со «смазыванием» ионограмм, ответ был такой:

- Ну, вы сильно-то не отклоняйтесь от центральной частоты, чтобы не было заметной потери точности ионограм-

мы. Нужно найти компромисс, пройти между Сциллой и Харибдой.

Нам была дана команда запрограммировать режим МЧР.

В результате первых же экспериментов выяснилось, что многочастотное усреднение не только не уменьшает случайные флуктуации параметров, а значительно их усиливает.

Все начинается с выбора рабочего канала. Обычно нами выбирался один, самый «чистый», свободный от помех канал, и он назначался рабочим. Теперь требовались десятки каналов, которых просто нет в эфире, везде «сидят» помехи, которые значительно усиливают случайные флуктуации сигнала. Кроме этого, при смене частоты меняется мощность излучения передатчика и усиление приемника, которые тоже вносят свой отрицательный вклад в оценки параметров.

Но, самое главное, просто «взвыли» инженеры, обслуживающие аппаратуру! Передать команды за 30 км на перестройку передатчика в течение миллисекунды почти невозможно. Телеметрическая аппаратура давала сбои и выходила из строя.

Я доложил по инстанциям, что многочастотный режим значительно ухудшает все параметры регистрации сигналов и делает СОТ практически не работоспособным.

Начальство приняло следующее решение:

- Да, мы отменим МЧР в алгоритмах. Но исполнители темы «Топаз» от ИЗМИРАН оценивают его как свой серьезный вклад в загоризонтную радиолокацию! Недавно сообщили, что нам неплохо было бы написать статью об этом

в их сборник. Для поднятия престижа филиала научные статьи нам очень нужны!

- Неужели у тебя нет ни одной реализации, когда МЧР дает уменьшение флюктуаций? Найди их и напиши нужную статью.

С большим трудом удалось найти несколько реализаций, и в сборнике ИЗМИРАН появилась наша статья.

История с МЧР – мелкий эпизод, не повлиявший на развитие загоризонтной радиолокации. Под это направление в самом НИИДАР была заложена куда более серьезная мина.

До победы НИИДАР в конкурсе на разработку загоризонтного радиолокатора считалось, что его дальность равна 3000 км – расстоянию первого скачка декаметровых радиоволн при отражении от ионосферы. Возможны и многочисленные кратные скачки, но их энергетика не достаточна для работы локатора.

НИИДАР гарантировал обнаружение на дальности в 8000 км! За основу был взят другой механизм распространения волновой энергии в ионосфере – «скользящий мод». В транскрипции НИИДАР термин «мода» стал мужского рода, это еще одна новация института, уже языковая! Суть этого волнового механизма в том, что волна «прилипает» к ионосфере и «скользит» вдоль нее, не падая на землю, отражение от которой сильно гасит энергию. Этот механизм хорошо известен в акустике как «Волны шепчущей галереи».

Были проведены многочисленные расчеты в самых разных моделях ионосферы с использованием геометриче-



ской оптики. Они показали, что ниже МПЧ (максимально-применимой частоты) существует диапазон ОРЧ (оптимальных рабочих частот), в котором захват в «скользящий мод» происходит всегда!

Однако проведенные на локаторе 5Н32 эксперименты опровергли этот теоретический вывод и показали, что «скользящий мод» при излучении с поверхности Земли даже при нулевом угле возвышения луча практически никогда не возникает. Изредка его можно наблюдать при прохождении линии терминатора «день-ночь» через вершину первого скачка, когда ночная ионосфера выше и на переходе возникает ее наклон, что уменьшает угол падения волны на ионосферные слои для настильной траектории.

Обнаружение пусков ракет на первом скачке по ближнему полигону «Капустин Яр» было стопроцентным, а обнаружение по дальнему полигону «Байконур» на «скользящем моде» практически всегда отсутствовало.

Причина несоответствия теории и практики заключалась в том, что для теоретических расчетов использовались формулы геометрической оптики на основе уравнения эйконала – первого из бесконечного лучевого ряда. Этот лучевой ряд асимптотически сходится к эйконалу только для волнового уравнения без учета дисперсии. Ионосфера принципиально диспергирующая среда, и для нее неучтенная сумма бесконечного ряда при увеличении расстояния не стремится к нулю, а по порядку величин соизмерима с уравнением эйконала!

Это приводит к большой погрешности лучевых расчетов, когда величина рефракции имеет систематическую ошибку, завышающую ее значения. Реально, ионосфера не

канализирует энергию радиоволны в «скользящий мод», как показывали расчеты, а пропускает его (ее) в космос.

Проверить это совсем не сложно - нужно подставить полученное геометрическое решение в уравнение Клейна-Гордона и убедиться, что его ошибка по величине соизмерима с самим решением!

Предупреждение о том, что «о сходимости лучевого ряда в общем случае ничего не известно» неоднократно звучало в научной литературе. Например, я нашел его в диссертации С.М. Рытова «Модулированные колебания и волны», опубликованной в 1940 г. Но никто из привлеченных к теме «скользящего мода» радиофизиков не усомнился в справедливости приближения и не оценил его ошибку.

Радиолокатор не мог обеспечить заявленные параметры по обнаружению на 8000 км, хотя на первом скачке до дальностей 3000 км работал неплохо. «Хотели как лучше, а получилось как всегда.»

Если Вас интересуют проблемы применимости геометрической оптики, посмотрите монографию: В.В. Копейкин. Рефракция волн в линейных средах с частотной дисперсией. - М: Наука, 2007. – 142 с.

Если Вам по душе более легкое чтение, почти без формул, ознакомьтесь с научно-популярной книжкой: В. Копейкин. Загадка загоризонтного радиолокатора 5Н32, или как я защищал докторскую диссертацию. Троицк, «Тро-вант», 2011. – 88 с.

Некоторые научные заблуждения развенчиваются довольно просто и быстро, без больших потерь времени и средств.

Юрий Михайлович Смолянов рассказал:

- Этот студент выделялся среди остальных, недавно окончивших среднюю школу. Он был начальником СМУ, и ему для продолжения карьеры потребовалось высшее образование.
- Он обратился ко мне с просьбой принять экзамен отдельно, вне общей массы студентов, и я пригласил его в свободную аудиторию.
- Знания его были, прямо скажем, не очень, а еще я заподозрил, что он не умеет складывать дроби.
- Тогда я задал ему вопрос: «Сколько будет, если одну вторую сложить с одной второй?»
- Он ответил: «Одна четвертая.»
- Как же так, сказал я, ведь если взять одну поллитру водки и еще одну, то получится целый литр, а по-вашему всего лишь четвертинка!
- Неопровержимость представленного довода заставила студента задуматься, и он, кажется, осознал свою ошибку.
- Потом эта история с водкой вошла в анналы кафедры под названием «Контр-пример Смолянова.»

Во время работы в НФ НИИДАР у нас практиковалось еще одно изыскание Юрия Михайловича Смолянова в области математики – «сложение по-Смолянову». Если назывались количественные варианты возможных покупок в магазине или пивном баре, Юрий Михайлович, строго смотря через толстые линзы очков, выносил окончательное

решение, которое составляло сумму всех вариантов. Если кто-то, например, советуясь, спрашивал, берем одну бутылку или две, он заключал: «Берем три». Если кто-то сомневался, брать две, три или четыре, то результат сложения по-Смолянову составлял девять единиц покупаемой продукции.

## Заключение

Этой книжкой я хочу сказать, что в 70-х годах прошлого века радиоголографию похоронили преждевременно. Но поскольку проблемой занимались отнюдь не дилетанты, то должна быть для этого объективная причина. Такой причиной я вижу уровень развития СВЧ и вычислительной техники того времени.

Интроскопия в радиодиапазоне связана с сильным затуханием радиоволн. Это требует использования чувствительных приемников, эффективных антенн и стабильных передатчиков. В 70-х годах такой техники не было. О каких результатах можно говорить, если фиксация радиоволн происходит на термочувствительную бумагу? Здесь речь идет даже не об энергетическом потенциале прибора, низкую чувствительность приемника всегда можно компенсировать большой мощностью передатчика, что тогда и делали, применяя мощные магнетроны, отсутствия которых в НИИ Приборостроения не наблюдалось. Ведь именно там создали А-50 - аналог американской радиолокационной станции «Авакс» на борту самолета.

*Интересная деталь. Когда индусы задумали приобрести самолет-радиолокатор у нас или у американцев, неожиданно появился третий конкурент – Израиль. Они тоже были в состоянии произвести такой прибор, поскольку значительная часть НИИ Приборостроения оказалась в этой стране.*

Самый основной параметр, определяющий возможность радиоголографического радара быть интроскопом - это его динамический диапазон. Он должен работать одновременно и с сильными сигналами, и со слабыми.

Сейчас наблюдаются признаки возрождения радиоголографии. Уже существуют и используются спецслужбами приборы доплеровской радиоголографии для обнаружения людей через стену в закрытых помещениях.

Из этой книжки Вы поймете, что интроскопия статических, неподвижных объектов с помощью радиоголографии также возможна. Уже сейчас разработанные нами приборы и математическое обеспечение позволяют решать практические задачи интроскопии. Одна из них, которая первой приходит в голову – контроль наличия, количества и качества арматуры в железобетоне.

По приведенным в тексте рисункам Вы, очевидно, поняли, что иногда представить себе все хитросплетения арматурных конструкций по трем ортогональным проекциям просто невозможно. По крайней мере, у меня пространственного воображения не хватает. Здесь оператору может прийти на помощь стереовидение через шлем виртуальной реальности или стереоочки.

Мы еще не приступали к решению задачи, послужившей первопричиной - поиску мин.

Также мы не приступали к исследованию многочастотного режима, который позволяет определять свойства

среды, например, диэлектрическую проницаемость бетона. Или дистанционно, не подходя к прилавку, измерять крепость напитка в бутылке. Но последнее можно рассматривать уже как конечный этап предпринимаемых исследований.

# Оглавление

1. Введение	3
2. Историческая справка	5
3. Радиоголография	9
4. Наша история голографического радара	11
5. Построение изображения по голограмме	18
6. Функции окон	24
7. Расширение динамического диапазона	29
8. Доплеровская радиоголография	37
9. Кроссполяризация	44
10. К вопросу о торговле	47
11. Проблема точности в науке	56
12. Заключение	68



**В. Копейкин**

# **Тень за стеной**

Подписано в печать 25.12.2015 г.  
Формат 60х84/16. Печ. л. 6,25.  
Тираж 200 экз. Заказ 10605.

Издательство «Тривант»  
ЛР 071961 от 01.09.1999 г.

Отпечатано с готового оригинал-макета  
в типографии издательства «Тривант».  
142191, г. Москва, г. Троицк, м-н «В», д. 52.  
Тел. (495) 775-43-35, (495) 850-21-81  
E-mail: trovant@trtk.ru, <http://www.trovant.ru/>