



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «РАДИОЛОКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ МАЛОЙ И СВЕРХМАЛОЙ ДАЛЬНОСТИ»



МАТВЕЕВ Владимир Иванович
Канд. техн. наук,
ЗАО «НИИИИ МНПО «Спектр»,
Москва

Очередная XIII научно-техническая конференция «Радиолокационные системы малой и сверхмалой дальности» состоялась 5 февраля 2020 г. в МГТУ им. Н.Э. Баумана. Модератор конференции зав. лабораторией RSLAB, канд. техн. наук С.И. Ивашов. Конференция традиционно включала в себя следующие направления: подповерхностная радиолокация (георадары); радиолокация биологических объектов (медицинские радары); радиолокационные системы безопасности (средства охраны и досмотра);

неразрушающий контроль в СВЧ-диапазоне; свойства и области использования терагерцового диапазона; обследование объектов культурного наследия.

В мероприятии приняли участие представители более 60 организаций России – Москвы и Подмосковья, Санкт-Петербурга, Нижнего Новгорода, Челябинска, Воронежа, а также Беларуси, Болгарии и Украины. Было заслушано и обсуждено 17 докладов, отразивших современные тенденции развития методов и средств ближней радиолокации в указанных направлениях. Непосредственным организатором подобных ежегодных мероприятий является Лаборатория дистанционного зондирования при МГТУ им. Н.Э. Баумана – Лаборатория RSLAB (Remote Sensing Laboratory), организовавшая в том числе Международную школу для молодых ученых «Регистрация подповерхностных объектов радиолокаторами малой дальности» в 2016 г. [1] и Международную школу для молодых ученых «Применение радиолокаторов малой дальности в медицине» в 2017 г. [2].

Данное направление начало развиваться несколько лет назад, многие работы показали серьезные положительные результаты [3, 4] и получили поддержку ряда организаций важнейших отраслей науки и промышленности.

Первый доклад «Оценка возможности применения технологии радиовидения для диагностики объектов культурного наследия на примере пирамиды Хеопса» был представлен группой ученых трех стран: России, США и Италии. Зав. Лабораторией RSLAB канд. техн. наук С.И. Ивашов рассказал о предварительных результатах совместного проведенных исследований состояния древнейшего сооружения с помощью методов ближней радиолокации.

С помощью мюонной томографии (США, Япония) впервые удалось обнаружить некоторые неизвестные ранее полости в стенах пирамиды. Однако примененная аппаратура оказалась не только сложной, но и малопродуктивной. При использовании других методов, например ближней радиолокации, критическим параметром для исследо-



Выступление С.И. Ивашова



Великая пирамида в Гизе (Египет) строилась как гробница для фараона Хуфу почти 20 лет (около 2560 г. до н. э.)

вания пирамиды из-за ее больших размеров является уровень затухания электромагнитных волн в теле пирамиды. При коэффициенте затухания более 2,0–2,5 дБ/м регистрация полезного сигнала практически невозможна из-за недостаточного уровня регистрируемого сигнала. Поэтому потребовалось срочное измерение коэффициента затухания электромагнитных волн в диапазоне до 100 МГц для известняка и гранита в теле пирамиды, чтобы продолжить дальнейшие исследования с использованием предложенного метода.

Даже необработанные предварительные данные измерений позволяют определить положение пустоты, а также оценить ее размер. Реконструкция записанных голограмм даст более точные данные об объектах внутри пирамиды. Исследование поляризационных эффектов может добавить ценную информацию о внутренних объектах пирамиды.

В физических экспериментах с реальной пирамидой целесообразно использовать набор передающих и приемных антенн, с помощью которых можно реализовать некий аналог медицинской томографии. В этом случае записанные радиолокационные данные позволят восстановить распределение элек-

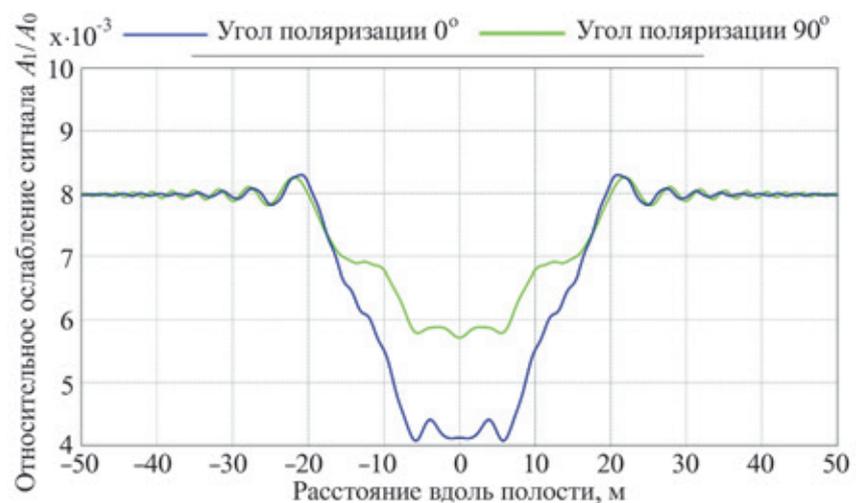
трических свойств среды по внутреннему объему пирамиды, что позволит локализовать внутренние полости пространства и определить их форму с высокой точностью.

Используя программу FEKO, можно построить трехмерную модель реальной пирамиды с учетом уже известных галерей и камер внутри нее, а также смоделировать необходимую антенную систему. Это позволит проверить математическую модель и разработать методы реконструкции радиоголограмм, а также подготовить данные для физических

экспериментов непосредственно на пирамиде.

Предложенный метод радиовидения в неоднородных средах с потерями может быть использован и на других исторических объектах. Примером таких объектов являются крепостные и монастырские стены, стены старинных зданий и храмов, обычно имеющие толщину более 1,5 м.

В следующем докладе «Геофизическое обследование периферии кургана Туннуг» докладчик (И.В. Прокопович, ИЗМИ РАН, г. Троицк) рассказал о комплексных исследованиях строения при-



Запись относительного ослабления сигнала A_1/A_0 на частоте 100 МГц при моделировании прохождения излучения через участок с пустотой на общей толщине 100 м



И.В. Прокопович

поверхностного слоя самого древнего скифского кургана IX в. до н.э., расположенного в Республике Тыва, Россия. Курган является частью так называемой «долины царей», где находится множество курганов скифского времени. Курган стоит на вечной мерзлоте, ученые предполагают, что именно вечная мерзлота помогает сохранить органику — останки людей, животных, ткани, предметы из дерева и кожи.

Специалисты Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова Российской академии наук (ИЗМИ РАН) провели уникальные геомагнитные и георадарные исследования, в результате которых удалось построить трехмерную модель внутреннего строения периферии кургана. 3D-модель показывает локальные аномалии, которые могут указывать на археологические объекты. В частности, геофизики выяснили, где находится каменное кольцо вокруг кургана, не видимое с земли из-за толщины дерна. А значит, стали известны и конечные масштабы Туннуга. Кроме того, были обнаружены места предположительно древних погребений. Из-

вестны их размеры и глубина залегания. Это значительно экономит время и усилия археологов, так как во время раскопок основное внимание они могут уделить обнаруженным при георадарной работе аномалиям. В качестве георадара был использован низкочастотный вариант импульсного георадара «Лоза», укомплектованный антеннами с центральной частотой 25 МГц (длина 600 см), 50 МГц (длина 300 см) и 100 МГц (длина 150 см).

В докладе «Опыт применения георадиолокации при поиске пустот и подземных тоннелей» Н.Г. Пудова (ООО «НПЦ «Геотех») рассказала о практических результатах работ по обнаружению бункеров, подземных пустот и ходов с помощью георадара «ОКО-3», снабженного антенным блоком АБ-150 (150 МГц). В частности, в одном из восстанавливаемых храмов Тульской области был обнаружен неизвестный ранее подземный ход.

Опыт эксплуатации показал широкие возможности успешного применения данных устройств в проведении инженерно-геофизических изысканий и неразрушающего мониторинга среды с высокой детальностью. Особенно четко выявляются подземные тоннели и сооружения, заполненные грунтовыми водами. Применение современного программного обеспечения и алгоритмов обработки позволяют повысить надежность подповерхностного зондирования. Компания оказывает техническую поддержку и предлагает обучение при использовании радиолокационных методов в неразрушающем контроле.

На тему «Влияние свойств среды на восстановление радиолограмм, зарегистрированных подповерхностными радиолокаторами» сделал сообщение В.В. Разевиг (Лаборатория RSLAB). При малых значениях диэлектрических параметров (например, при относительной диэлектрической проницаемости $\epsilon \leq 1,5$ и $\text{tg}(\delta) \leq 10^{-3}$) повышение частоты зондирования улучшает чувствительность метода и разрешение регистрируемых изображений. По итогам экспериментов сделан вывод, что



Курган Туннуг (вид сверху), Республика Тыва, Россия



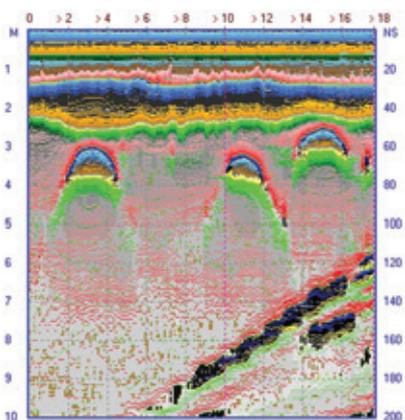
Использование георадара



Н.Г. Пудова



Георадар «ОКО-3»



Пример радиограммы

рассмотренный алгоритм с дополнительными этапами обработки существенно повышает контраст дефектов теплоизоляционных материалов и фона. Использование широкополосных измерений позволяет получать разрешение по дальности и определять глубину расположения дефектов в диэлектрических конструкциях.

Георадарные технологии все большее применение находят при решении практических задач в борьбе с террором. Такие специализированные устройства стали называть стеновизорами. В докладе «Применение сверхширокополосной антенны для обнаружения людей по движению или дыханию за радиопрозрачными преградами» М.П. Ширококов (ООО «НПЦ «Геотех») рассказал о результатах использования радаров РО-400 и РО-900 для обнаружения людей, незаконно находящихся внутри кирпичных и железобетонных помещений.

Данные технологии в последнее время находят применение для обнаружения живых людей под завалами во время чрезвычайных ситуаций после землетрясений, оползней, разрушения зданий. Широкополосные системы с использованием эффекта Доплера позволяют обнаруживать людей не только по дыханию, но и по сердцебиению.

В докладе «Разработка высокопроизводительной и компактной микроволновой системы персонального досмотра в движении, предназначенной для массового использования» А.В. Журавлев (Лаборатория RSLAB) сообщил о возможностях ближней радиолокации при оперативном досмотре пассажиров на конечных пунктах транспортных узлов. Известно применение рентгеновских досмотровых систем на принципе обратно рассеянного излучения с предельно

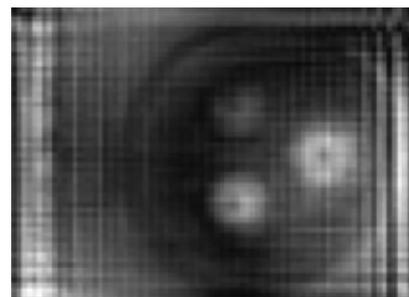
допустимой дозой облучения, многочисленных типов металлодетекторов, тепловизионных систем, а также радиоволновых систем досмотра активного и пассивного типов. В работе исследован новый перспективный досмотровый комплекс на основе принципов ближней радиолокации, позволяющий использовать составляющую сканирования за счет свободного движения людей в контролируемой зоне и построения радиоизображения запрещенных предметов под одеждой пассажиров. Практические исследования проводились на манекенах с применением электромагнитного излучения на частоте 25–26 ГГц с дозой облучения в пределах нормы. Результаты положительные.

При любых исследованиях и измерениях очень важен уровень информационного сигнала и надежность конечного результата. Свой доклад «Алгоритм подавления шума» В.А. Кропотов (ИТЦ «Союз») посвятил исследованию возможности подавления шума и возможности более надежного выявления слабого информационного сигнала. Алгоритм Кропотова (АК) основан на следующей системе уравнений:

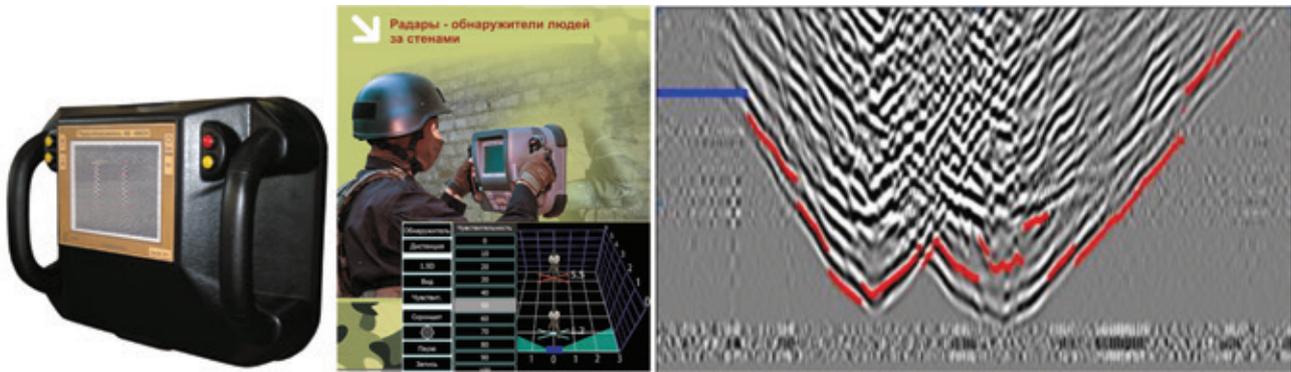
$$\int_0^{\infty} N(t)dt=0;$$

$$\int_0^{\infty} (S(t) + N(t))dt=S(t),$$

где $N(t)$ – шум; $S(t)$ – полезный сигнал.



Сканирование образца теплозащитного материала голографическим радаром «РАСКАН-5/7000» и восстановленная картина заложенных внутренних дефектов



Радар PO-400: типовая радарограмма обнаружения двух движущихся объектов за кирпичной стеной

При решении этой системы уравнений выделится полезный сигнал $S(t)$ независимо от уровня шума $N(t)$ в реальном времени, даже если уровень полезного сигнала в сотни раз меньше шума. При применении АК дальность радиосвязи увеличивается более чем в 30 раз без изменения параметров приемника и передатчика. При использовании АК дальность радиолокации увеличивается более чем в 5 раз без изменения параметров радиолокатора. Целесообразно применение данного алгоритма обработки в радиоприемниках, сотовых телефонах, космических спутниках, системах передачи данных, радарх, измерительных приборах, металлоискателях, приборах для обнаружения взрывчатых и наркотических

веществ. Стеновизоры позволяют быстро и точно определять координаты и размер объекта в пространстве за преградой и максимально достоверно отобразить на мониторе его перемещения в реальном времени. Устройства работают в условиях, когда уровень помех в десятки раз превышает уровень отраженного сигнала. Его невозможно заглушить при РЭБ (радиоэлектронная борьба) и имеет высокую скрытность при работе из-за малой мощности излучения, не более 10 мВт.

Представители компании Rohde & Schwarz сделали два доклада. Один из них «Анализ сигналов РЛС», представленный А.Ю. Агуреевым, содержал ценную информацию о приборах – лучших современных спектроанализаторах

компании, столь необходимых при проведении настроечных операций приемо-передающих трактов радиолокационных станций и особенно при спектральном анализе информационных сигналов. Докладчик предложил апробированные методики анализа непрерывных, импульсных, частотно-перестраиваемых и других более сложных сигналов с помощью предложенных спектроанализаторов. В другом докладе «Портативный измеритель коэффициента отражения покрытий СВЧ-диапазона» С.Е. Просыпкин (Rohde & Schwarz) ознакомил участников конференции с новой разработкой компании, предназначенной для оперативного локального контроля отраженных и рассеянных электромагнитных полей в



В.А. Кропотов



А.Ю. Агуреев



Л.Н. Онищенко



Выступление проф. Н.П. Чубинского (МФТИ)

широком диапазоне частот до 6, 14 и 18 ГГц с более высокой чувствительностью, чем традиционные измерители. Использование данного прибора позволяет повысить надежность специализированных измерений с помощью ближней локации и защищенность конструкций от внешнего воздействия.

Л.Н. Онищенко (Лаборатория RSLAB) в докладе «Портативный биорадиолокатор для выявления нарушений сна и эпизодов падений» рассказала о новом направлении в современной медицине, использующем ближнюю радиолокацию для бесконтактного контроля качества сна (а следовательно, и здоровья) пациентов различного уровня деятельности. Прибор работает на частоте 24 ГГц с дозой облучения менее 3 мкВт/см², что в 3 раза ниже допустимых норм. При этом не требуется, как ранее, применения многочисленных контактных датчиков, весьма неудобных для пациентов. Дистанционно регистрируются нестандартные движения во время сна, параметры дыхания и сердцебиения. Методика согласована со службами Минздрава РФ.

Н.П. Чубинский (МФТИ) в докладе «Перспективная радио-

локационная система ледовой разведки в Арктике» сообщил о новых результатах радиолокационных исследований по изучению структуры и толщины льда, данные о которых весьма необходимы при использовании техники для освоения северных территорий и Арктики в целом. Во время первичных исследований были измерены диэлектрические свойства морского льда, показавшие существенные отличия от свойств пресных льдов: большее поглощение и местами резкие структурные изменения, в том числе связанные с температурой окружающей среды. Данные измерения позволили выбрать схему и основные параметры вертолетного радиолокатора для трассовых испытаний в различных участках Арктического региона.

Необычный доклад на тему «Использование методов георадиолокации при изучении деревьев» сделал А.Ю. Калашников (МГСУ). Автор рассказал о возможностях радиоволновых методов в исследовании расположения корневой системы, профилировании стволов деревьев (на примере дуба, березы и осины), используя принципы томографии и показав радарограммы распределения влаги, воздуха внутри ствола, наличия пустот и рыхлостей. Работа носит сугубо экологический характер и направлена на исследование и сохранение элитных пород деревьев не только в заповедных зонах, но и для восстановления ценных пород семенами качественных деревьев.

Следует отметить ряд специфических докладов, прозвучавших на конференции. В частности, А.В. Крисилов (концерн «Созвездие») в докладе «Исследование метода определения координат источника радиополучения по измерению кривизны волнового фронта антенной решеткой» предложил новый алгоритм эффективного об-

наружения первичного источника радиополучения или местонахождения вторичных отражающих объектов. В другом докладе «Алгоритмы обработки данных радиолокатора предупреждения столкновения транспортных средств» Д.А. Охотников (МАИ) сообщил о результатах использования портативных радаров для анализа дорожной обстановки, границ дороги, наличия транспортных средств, их сближения и предупреждения столкновений. В будущем радары найдут широкое применение в так называемых беспилотных транспортных средствах.

Анализ тем и результатов исследований с использованием достижений ближней радиолокации показал состояние радиоволновых методов и перспективы их развития для решения многих практических задач науки, техники и промышленности.

Библиографический список

1. Матвеев В.И. Международная школа для молодых ученых «Регистрация подповерхностных объектов радиолокаторами малой дальности» // Контроль. Диагностика. 2017. № 5. С. 54–60.
2. Матвеев В.И. Международная школа для молодых ученых «Применение радиолокаторов малой дальности в медицине» // Территория NDT. 2018. № 1. С. 28–35.
3. Лаборатория дистанционного зондирования: сайт организации. URL: www.rslab.ru
4. Биорадиолокация / под ред. А.С. Бугаева, С.И. Ивашова, И.Я. Иммореева. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. 396 с.

В статье используются фотоматериалы с сайта конференции <http://seminar.rslab.ru>