

ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора технических наук, профессора

Тригубовича Георгия Михайловича

на диссертационную работу Волковицкого Андрея Кирилловича **«Методы и алгоритмы повышения эффективности аэроэлектроразведочных измерительных систем и комплексов»**, представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.3.1 – «Системный анализ, управление и обработка информации»

Актуальность темы исследований. Известно, что аэрогеофизика является одним из наиболее эффективных средств оценки сырьевых ресурсов значительных труднодоступных территорий для решения задач региональной и поисковой стадий исследований. Комплексные аэрогеофизические исследования, включающие современную электроразведку, магниторазведку, гамма-спектрометрию, теплотрию и др. методы, составляют надежную основу опережающих исследований и поиска важных полезных ископаемых. Достаточно сказать, что большая часть прироста разведанных запасов никеля, меди, цинка, свинца в Северной Америке получают уже долгие годы из месторождений, прогнозируемых с помощью современной аэрогеофизики. В начале нулевых в области современных аэрогеофизических систем на территории РФ доминировали западные компании, предлагающие высокоэффективные электромагнитные системы в режиме становления поля. В середине двадцатых годов, в результате конкурентных предложений российских компаний, зарубежные компании были потеснены с российского и некоторых зарубежных рынков аэрогеофизических услуг.

Диссертационная работа Волковицкого А.К. как раз и посвящена созданию новых высокоэффективных решений, методов и алгоритмов, обеспечивающих технологические преимущества аэро-электроразведки в частотной и временной области. На основе системного подхода созданы необходимые предпосылки и

базовые принципы построения современных аэрогеофизических систем, которые обеспечивают увеличение эффективности поисково-оценочных исследований различных видов полезных ископаемых.

Актуальность представленной диссертационной работы несомненна, поскольку, выполненные автором исследования и опытно-конструкторские разработки, по предложенной автором концепции, позволили создать оригинальную и эффективную технологическую систему с очевидными конкурентными преимуществами перед существующими аналогами.

Научная новизна проведенных автором исследований и полученных результатов:

1. Разработана концепция и методология создания аэроэлектроразведочных систем и комплексов, объединяющих преимущества электроразведки в частотной и временной областях.
2. Разработана многоуровневая система алгоритмов обеспечения комплексной аэрогеофизической съемки, в том числе в варианте проведения съемки без оператора.
3. Разработана технология последовательного и согласованного применения технических и алгоритмических решений, оптимизации аэрогеофизических исследований.
4. Разработан новый подход к решению задачи стабилизации измерительных систем аэроэлектроразведочных установок, найден метод непрерывного контроля частотных характеристик, основанный на введении дополнительных источников эталонных воздействий, предложен алгоритм адаптивной коррекции, позволяющий определить параметры спектральной и временной характеристик среды в процессе зондирования.

5. Предложен оригинальный алгоритм расчета спектра и временного аналога отклика исследуемой среды для разнесенной приемно-генераторной конструкции зондирующей системы.
6. Сформулирован новый оригинальный критерий оценки чувствительности аэроэлектроразведочных систем к особенностям электрофизических моделей геологической среды.
7. Разработана структура, методы и оригинальные алгоритмы информационно-измерительной системы поддержки навигационных режимов аэросъемочного полета

Практическая значимость результатов диссертации:

- спроектирован и создан современный информационно-измерительный комплекс для высокопроизводительных аэрогеофизических технологий, отличающийся высокой производительностью, конкурентоспособностью и достоверностью получаемых данных. Создана принципиально новая аэроэлектроразведочная система «Экватор»;

- научно обоснованы методы формирования программно-технических и аппаратурных средств аэроэлектроразведочных систем, что позволяет оперативно развивать сформулированные концепции в сфере развития технических средств и математическом обеспечении, особенно в области БПЛА-технологий;

- метод и алгоритм контроля частотной характеристики зондирующего устройства и адаптивной коррекции результатов измерений эффективно использованы для обеспечения стабильности функционирования во внедрённых аэроэлектроразведочных системах и комплексах;

- метод определения полного вектора поля отклика геологической среды открывает новые возможности повышения достоверности результатов электро-

магнитных зондирований с применением приемно-генераторных устройств сложной конфигурации;

- алгоритмы информационной поддержки навигационных режимов аэро-съёмочного полета, основанные на взаимодействии информационной системы с пилотом, эффективно использованы во внедрённых аэроэлектроразведочных системах и управлении БПЛА.

Практическая значимость работы подтверждена также реализованными техническими решениями подтвержденными соответствующими актами внедрения. Диссертация Волковицкого А.К. содержит важные научно-практические результаты в области создания аэрогеофизических систем нового типа.

Цели, задачи, содержание диссертации

Целью диссертационной работы является разработка методов и алгоритмов проектирования и функционирования аэроэлектроразведочных систем и комплексов. Для достижения цели диссертантом поставлены и решены следующие задачи:

- 1) На основе системного подхода исследованы базовые принципы функционирования аэроэлектроразведочных установок и основные факторы, влияющие на их поисковую и производственную эффективность, определены пути их совершенствования.
- 2) Исследованы методы обработки информации, получаемой при зондировании, сформулирован единый критерий оценки чувствительности аэроэлектроразведочных зондирующих систем к полю отклика от зондируемой среды.
- 3) Разработаны методы и алгоритмы стабилизации параметров зондирующей установки путем непрерывного контроля частотных характеристик зондирующей системы и адаптивной коррекции результатов измерений.

- 4) Разработан метод и алгоритмы, повышающие поисковую эффективность путем контроля условий зондирования за счет определения взаимного пространственного и углового расположения возбуждающей и приемной систем.
- 5) Разработан метод и алгоритм определения полного значения комплексного вектора поля отклика от проводящей зондируемой среды на фоне непосредственного воздействия на датчики приемной системы первичного зондирующего поля.
- 6) Разработана структура, схема вычислительной обработки и алгоритмы функционирования разнесенных аэроэлектроразведочных зондирующих систем с комбинированным (одновременно частотным и временным) представлением геофизически значимой информации.
- 7) Разработана структура и алгоритмы информационной системы поддержки навигационных режимов аэросъемочных полетов, обеспечивающие повышение точности соответствия движения летательного аппарата-носителя заданным линиям пути и экономию летного времени.
- 8) Разработанные методы и алгоритмы применены в структурах производственных аэроэлектроразведочных комплексов, на практике показана их эффективность.

Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, заключения, списка публикаций, списка литературы и приложения. Текст - на 304 страницах, содержит 83 иллюстрации, 8 таблиц. Список литературы - 69 наименований.

Введение посвящено актуализации темы диссертации, теоретической и практической значимости исследования. Сформулированы: цель и задачи исследования, основные положения работы.

Первая глава посвящена рассмотрению основных принципов и функциональных особенностей аэро-геофизических систем, структуры геофизической информации.

Вторая глава - оценка требуемой точности и стабильности измерений сигналов зондирующей установки (предложен критерий оценки чувствительности зондирующей системы к полю отклика) и разработке метода и алгоритма непрерывного контроля и адаптивной частотной коррекции, обеспечивающих стабильность при измерениях параметров квазистационарных периодических процессов.

Третья глава - разработка методологии и алгоритмов определения геометрических параметров зондирования для разнесенных приемно-генераторных установок. Продемонстрирована возможность пространственно-углового позиционирования системы трех дипольных излучателей, предложен алгоритм формирования и решения соответствующей нелинейной системы уравнений, предложены методы калибровки и коррекции возможных искажений. На примерах показана эффективность предложенного метода.

Четвертая глава - разработка метода определения полного значения поля отклика геологической среды в много разносных системах в частотно-временной областях. Рассмотрены особенности параметризации геологической среды в системах для пространственно-разнесенной приемно-генераторной конструкцией, в том числе при расфиксации геометрии. Предложен метод определения отклика на фоне прямого поля, основанный на особенностях вырождения формы спектра в особых условиях. Показана эффективность метода и алгоритма.

В пятой главе - результаты разработки алгоритмов информационной поддержки навигационных режимов полета с целью повышения эффективности использования летного времени. Проведена оценка формирования управляющей информации для пилота при полетах в особо сложных условиях на предельно малой высоте. Предложены алгоритмы стабилизации движения относительно линии маршрута и режима приведения к ориентиру с заданным путевым углом. На примерах показана эффективность алгоритмов.

Шестая глава - рассмотрена практическая реализации разработанных методов в практике аэроэлектроразведочных комплексов ЕМ4Н и «Экватор», осо-

бенностям технической реализации и эффективности. Приведены технические характеристики и описание двух разработанных комплексов с примерами решаемых геологических задач.

В Заключении представлены выводы по работе и приведены справки о внедрении основных результатов представленной диссертационной работы.

Соответствие работы паспорту специальности

Работа соответствует специальности 2.3.1 – «Системный анализ, управление и обработка информации» в части обработки информации по пунктам:

1. Теоретические основы и методы системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации.
2. Разработка критериев и моделей описания и оценки эффективности решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации.
3. Разработка методов и алгоритмов решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации.
4. Разработка специального математического и программного обеспечения систем анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации.

Достоверность и апробация полученных результатов

Достоверность полученных результатов обеспечивается строгостью применяемого математического аппарата, результатами математического и компьютерного моделирования, подтверждается при анализе результатов обработки данных аэроэлектроразведочных измерений, полученных в процессе испытательных и производственных работ.

По теме диссертации всего опубликовано 42 работы, в том числе: две монографии, глава в книге (в соавторстве с Р. Смитом и А.А. Кауфманом), пять статей и докладов из перечня Web of Science/Scopus, 12 статей в ведущих рецензи-

руемых научных журналах, 22 работы в сборниках трудов российских и международных конференций, научно-технических журналах.

Замечания по диссертационной работе

1) В п. 4.1.2 приводится анализ «Off-Time» систем. Вызывают вопросы следующие заявления:

- «не мгновенное выключение тока по сути разрушает стройную простоту метода поисковой интерпретации». Да, форма и длительность выключения тока в индукторе играет огромную роль в возможности адекватной реконструкции строения верхней части разреза. Современные аэроэлектроразведочные системы, работающие во временной области, имеют аппаратные средства регистрации формы выключения тока, а программные комплексы интерпретации данных могут учитывать произвольную форму импульса тока.

- «влияние вихревых токов, возникающих в элементах несущей конструкции дипольной возбуждающей системы, является неустранимой помехой». Да, в пространственно-сосредоточенных приемно-генераторных системах такая проблема существует, но, как правило, при продуманной архитектуре конструкции значительная доля этой помехи (собственного процесса) является постоянной и в сочетании с применяемыми системами компенсации прямого поля - исключается. Однако использование разнесенной конструкции в значительной степени снимает эту проблему за счет увеличения летно-эксплуатационных проблем.

- «Приемная система по самой своей природе не вполне равномерно движется в естественном магнитном поле земли. При этом, в спектре сигнала на выходе приемной системы неизбежно наблюдается влияние низкочастотной помехи, амплитуда которой весьма велика». Да - это также справедливо для всех динамических систем, в том числе и частотных, как ЕМ4Н и «Экватор». В диссертации этот весьма важный аспект технологии измерения слабых ЭМ-откликов на фоне высоких внешних помех не вполне раскрыт.

2) Эффективность процедуры адаптивной коррекции на примере реальных данных иллюстрирует Рис. 2.16. Утверждается, что применение адаптивной коррекции избавляет от появления весьма локальной «ложной» аномалии обратного знака. В этой связи требуется пояснение как работает процедура в условиях присутствия в измеряемых сигналах поляризационной моды, информация о которой может быть потеряна в результате применения этой коррекции.

3) Не описана техническая реализация расширения спектра зондирующего импульса тока системы «Экватор» дополнительными импульсами с большей крутизной по отношению к основному импульсу в виде полусинуса.

4) Не показаны преимущества расширения спектра зондирующего импульса тока системы «Экватор» по сравнению с полусинусом во временной области.

Настоящие замечания и возникшие вопросы не снижают достоинств диссертационной работы Волковицкого А.К., которая выполнена на высоком научно-техническом уровне, написана понятным языком, содержит убедительные примеры применения полученных результатов на практике.

Заключение

Диссертация Волковицкого А.К. на соискание ученой степени доктора технических наук является законченной научной квалификационной работой, в которой на основе разработанной автором концепции получено решение значимой проблемы повышения эффективности метода аэроэлектроразведки, что соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание степени доктора наук.

Считаю, что Волковицкий Андрей Кириллович, заслуживает присуждения ему степени доктора технических наук по специальности 2.3.1 – «Системный анализ, управление и обработка информации».

Официальный оппонент
доктор технических наук, профессор,



31.08.2022

Георгий Михайлович Тригубович

Почтовый адрес: Акционерное общество «ЕМ-Разведка», Октябрьская магистраль 4, офис 1207, г. Новосибирск, 630099, тел. +7 905 946 2525, e-mail: info@aerosurveys.ru

(Подпись Г.М. Тригубовича заверяю, печать)

Директор АО «ЕМ-РАЗВЕДКА»
Черных А.Н.

