

ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора технических наук, профессора

Гетманова Виктора Григорьевича

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»

В представленной докторской диссертации Волковицкого А.К. содержится решение значимой проблемы, имеющей большое научно-техническое и народно-хозяйственное значение и направленной на создание методов и алгоритмов повышения эффективности аэроэлектроразведочных измерительных систем и комплексов с разнесенными электромагнитными устройствами, для которых реализовано относительное угловое и пространственное позиционирование. Полученные диссертантом результаты являют собой весомый теоретический и практический вклад для предметной области аэроэлектроразведки.

Следует отметить несомненный докторский уровень работы; для данной диссертации характерен комплексный подход, состоящий в том, что докторант сформулировал общий критерий эффективности аэроэлектроразведки, включающий составляющую, связанную с оптимизацией точностных параметров, а также составляющую, связанную с оптимизацией параметров полетных разведочных траекторий, и на основе данного критерия реализовал рассмотрение указанных систем и комплексов в целом.

Материалы диссертации полностью удовлетворяют общепринятым критериям актуальности, научной новизны и практической значимости.

Актуальность темы предлагаемой докторской диссертации обусловлена исключительной важностью для современной народно-хозяйственной практи-

ки необходимости совершенствования технологий поиска месторождений полезных ископаемых.

Аэроэлектроразведка представляет собой достаточно распространенную технологию по отношению ко множеству существующих методов. Аэроэлектроразведка на основе применения разнесенных электромагнитных устройств с предложенным в работе относительным позиционированием, которой посвящена настоящая диссертация, является в существенной степени эффективной. Системы относительного позиционирования отличаются тем, что положение объектов в них определяется относительно в локальной области, требует высокоточных измерений пространственных и угловых координат. Точные определения относительного взаимного положения отдельных частей зондирующих установок важны для задач геофизики, используются в настоящее время и будут востребованы в будущем.

Вполне можно утверждать, что актуальность представленной диссертационной работы имеет место в существенной степени.

Научная новизна полученных результатов в предлагаемой диссертации состоит в том, что:

1. Разработана методология создания перспективных комбинированных аэроэлектроразведочных систем и комплексов с разнесенными зондирующими устройствами, объединяющих преимущества частотных методов зондирования и метода переходных процессов; предложена система методов и алгоритмов, обеспечивающих реализацию данной методологии.
2. Разработана технология последовательности спектрально-временных преобразований для рассматриваемых систем и комплексов аэроэлектроразведки.
3. Разработан метод оценки чувствительности различных аэроэлектроразведочных систем и комплексов к полю отклика, позволяющий сравнивать системы с различной геометрией.
4. Разработан метод решения задачи стабилизации измерительных систем аэроэлектроразведочных установок, реализующий непрерывный контроль частотных характеристик, основанный на введении дополнительных источников эта-

лонных воздействий; предложен алгоритм адаптивной коррекции, позволяющий определить параметры спектральной и временной характеристик среды в процессе зондирования.

5. Разработан метод и базовый алгоритм относительного позиционирования и определения пространственных и угловых координат приемной системы относительно возбуждающей на основе измерения параметров переменного магнитного поля набора компактно размещенных дипольных излучателей.

6. Разработан алгоритм, позволяющий определить спектр и временную форму поля отклика в широком диапазоне свойств зондируемой среды, особо актуальный для разнесенных зондирующих систем.

7. Разработаны алгоритмы калибровки разнесенных зондирующих устройств, включающие калибровку системы относительного позиционирования.

8. Разработаны методы и алгоритмы информационной системы поддержки навигационных режимов аэросъемочных полетов.

Практическая значимость результатов, полученных в предлагаемой диссертации состоит в том, что:

* предложенные научно обоснованные методы формирования структур технических и программных средств аэроэлектроразведочных систем и комплексов эффективно применены в широком диапазоне условий зондирования на принципах частотного и временного представления геофизической информации;

* предложенные в работе 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; данные метод и алгоритм могут быть успешно использованы в ряде других измерительных систем, например, в системах автоматической посадки;

* предложенные алгоритмы относительного позиционирования в ближней зоне могут быть использованы при разработке систем контроля взаимодействия подвижных объектов.

* предложенный метод и алгоритм определения полного значения вектора поля отклика от зондируемой среды открывает новые возможности интерпретации результатов зондирования с применением аэроэлектроразведочных разнесённых устройств.

* предложенные алгоритмы информационной поддержки навигационных режимов аэросъёмочного полета, основанные на взаимодействии информационной системы с пилотом, эффективно использованы во внедрённых аэроэлектроразведочных системах; данные алгоритмы могут быть применены для управления движением автономных беспилотных аппаратов.

Практическая значимость работы подтверждена тем, что предложенные методы и алгоритмы составили основу технических решений, позволивших создать две принципиально новые аэроэлектроразведочные системы – ЕМ4Н и «Экватор», в реальных аэросъёмочных работах демонстрирующие высокие показатели эффективности, как в части полноты и достоверности результатов зондирования, так и в части технологичности, производительности и экономической эффективности применения, что подтверждается актами внедрения.

Содержание диссертации. Работа состоит из введения, шести глав, заключения, списка публикаций, списка литературы и приложения. Работа изложена на 304 страницах, содержит 83 иллюстрации, 8 таблиц. Список цитируемой литературы включает 69 наименований.

Введение посвящено обоснованию актуальности темы, научной новизны и практической значимости исследования. Дан краткий очерк истории аэроэлектроразведки. Формулируются цель и задачи исследования, изложена структура, основные положения работы и краткое содержание ее разделов.

Первая глава посвящена рассмотрению основных принципов функционирования аэроэлектроразведочных систем, особенностям структуры получаемой геофизически значимой информации, ее информативности и удобства интерпретации при различных формах представления.

Вторая глава посвящена оценке требуемой точности и стабильности измерений сигналов зондирующего устройства (предложен критерий оценки чув-

ствительности зондирующего устройства к полю отклика) и разработке метода и алгоритма непрерывного контроля и адаптивной частотной коррекции, обеспечивающих стабильность при измерениях параметров квазистационарных периодических процессов.

Третья глава посвящена разработке метода и алгоритма определения геометрических параметров условий зондирования для установок разнесенного типа. Теоретически показана возможность одновременно углового и пространственного позиционирования векторного измерителя поля относительно сосредоточенной системы трех дипольных излучателей, предложен алгоритм формирования и решения соответствующей нелинейной системы уравнений, представлена модель измерительных искажений, обусловленных несовершенством реальных измерительных систем, предложены методы калибровки и коррекции этих искажений. На практических примерах показана эффективность предложенных метода и алгоритма.

Четвертая глава посвящена разработке метода и алгоритма определения полного значения поля отклика в системах разнесенного типа во временном и частотном представлениях. Рассмотрены традиционные методы получения геофизически значимой информации в ныне существующих системах, показана их ограниченность. Особо рассмотрена сложность определения параметров поля отклика в системах с пространственным разнесением измерителя и источника поля их свободным перемещением друг относительно друга. Предложен метод и алгоритм обработки измерительной информации для определения поля отклика на фоне непосредственного воздействия первичного возбуждающего, основанные на особенностях вырождения формы спектра при зондировании существенно изолирующих и существенно проводящих геологических структур. На примерах показана эффективность предложенного метода и алгоритма.

В пятой главе представлены результаты разработки алгоритмов информационной поддержки навигационных режимов аэросъемочного полета, целью которой является создание технологических возможностей повышения эффективности использования летного времени при выполнении аэроэлектроразве-

дочных исследований при одновременном повышении точности покрытия исследуемых территорий точками зондирования. Рассмотрены вопросы формирования управляющей информации для пилота при полетах в особо сложных условиях на предельно малой высоте. Предложены алгоритмы расчета управляющего параметра для режима стабилизации движения относительно заданной линии съёмочного маршрута и режима приведения к входному ориентиру с заданным путевым углом. На практических примерах показана эффективность предложенных алгоритмов.

Шестая глава посвящена рассмотрению практической реализации предложенных методов и алгоритмов в структурах используемых на практике аэроэлектроразведочных комплексов ЕМ4Н и «Экватор», особенностям технической реализации и оценке их поисковой и производственной эффективности. Дано описание технического устройства зондирующих систем обоих комплексов, приведены технические характеристики. Даны примеры успешно решенных геологических задач.

В Заключение представлены выводы по работе, кратко отражена успешность решения поставленных задач.

В Приложении приведены справки о внедрении 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 рецензируемых научных журналах, 22 работы в сборниках трудов российских и международных конференций, научно-технических журналах.

Замечания по диссертационной работе. Диссертация Волковицкого А.К. содержит важные теоретические и практические результаты в области обработки информации для задач аэроэлектроразведки. Результаты подтверждаются актами внедрения, отмечается высокая эффективность их применения.

Однако, в предлагаемой диссертации имеются отдельные недостатки:

- 1) При формировании критерия чувствительности аэроэлектроразведочной зондирующей системы (Глава 2) дан лишь метод оценки влияния геометрических параметров установки к амплитуде поля отклика, однако недостаточно детально рассмотрены вопросы чувствительности зондирующей системы к структуре геоэлектрического разреза.

- 2) В структуре модели измерительных искажений для задачи калибровки системы относительного позиционирования (Глава 3) не приведена оценка степени влияния нелинейности измерительных преобразований.

- 3) В Таблице 2.2 ошибочно указаны значения параметра главного динамического отношения для систем ЕМ4Н и «Экватор», также в Таблице 2 авторефе-

рата ошибочно указаны значения дипольного момента возбуждающей системы для комплекса EM4H.

Отмеченные недостатки, тем не менее, не снижают достоинств диссертационной работы Волковицкого А.К., которая выполнена на высоком 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 получено решение значимой проблемы повышения эффективности методов и алгоритмов 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,

главный научный сотрудник Геофизического центра РАН (ГЦ РАН)

Гетманов Виктор Григорьевич

18.08.2022

Почтовый адрес: Геофизический центр РАН г.Москва, 119296, ул. Молодежная,3, т.8-495-930-05-46, e-mail: v.getmanov@gcras.ru

Подпись д.т.н., проф., г.н.с.Гетманова В.Г. заверяю.

Главный специалист по кадрам ГЦ РАН

Дасаева В.П.

