

УДК 550.837.6

ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ АЭРОГЕОФИЗИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ

Д.И. Богатырев

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН
Россия, 117997, Москва, Профсоюзная ул., 65
E-mail: danya.bogatyrev@gmail.com

Е.В. Мойланен

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН
Россия, 117997, Москва, Профсоюзная ул., 65
E-mail: moilanen@mail.ru

И.А. Савинова

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН
Россия, 117997, Москва, Профсоюзная ул., 65
E-mail: siran1981@yandex.ru

Ключевые слова: аэрогеофизика, комплекс ЭКВАТОР, NAVDAT.

Аннотация: В данной статье рассматриваются способы повышения производительности аэрогеофизической съемки. Существенную часть затрат при производстве съемки занимает авиационное обеспечение работ. Мы показываем, как использование автоматизированных средств навигации помогает улучшить качество работ и, одновременно, уменьшает затраты летного времени. Рассмотрены съемки в различных ландшафтно-климатических условиях на территориях России, Европы и Африки за последние 15 лет. Приведены оценки летного времени до начала производства работ. Показано, что расхождение между оценочными и фактически полученными летными часами составляет не более 5%.

1. Введение

Аэрогеофизика успешно используется для решения различных рудных, инженерных, гидрогеологических задач.

На сегодня наиболее полный комплекс аэрогеофизики включает в себя электроразведку, магниторазведку, гамма-спектрометрию. На рис. 1 приведена компоновка комплекса ЭКВАТОР, использующегося нами для аэрогеофизических исследований.

В качестве источников геопозиционной информации в комплексе используются ГНСС приемники на вертолете, в гондоле и нижней точке подвеса – в передатчике аэроразведки, система взаимного позиционирования приемника и передатчика [1], радиовысотометр на передатчике. Этой системой обеспечивается высокоточная прокладка маршрутов и привязка точек геофизических измерений.



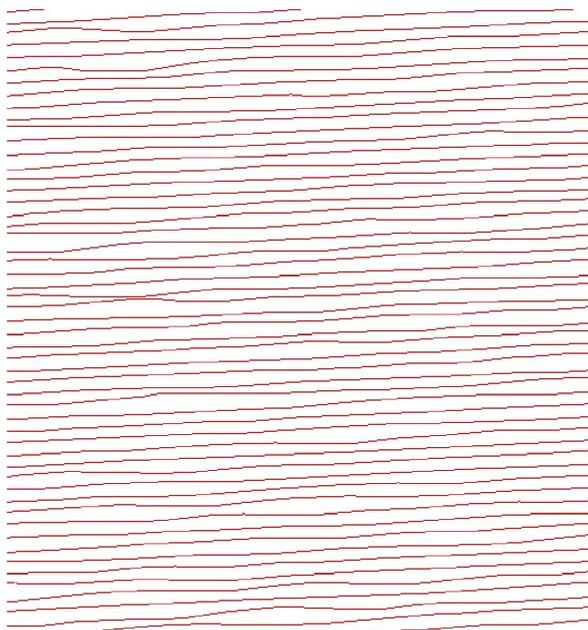
Рис. 1. Компоновка аэрогеофизического комплекса ЭКВАТОР. ЕМ-приемник/передатчик – электромагнитный приемник/передатчик.

За последние 15 лет в лаборатории 1 Динамических информационно-управляющих систем им. Б.Н. Петрова ИПУ РАН были разработаны алгоритмы автоматизированной навигации и управления вертолетом [2]. В частности, в комплексе ЭКВАТОР для регистрации геофизических данных и навигации используется система NAVDAT. Она обеспечивает запись всей регистрируемой информации на бортовой компьютер и взаимодействие с пилотом для точного выполнения полетного задания без присутствия борт-оператора [3].

Регистрация данных производится почти без ограничений по скорости получения, автоматически анализируется структура и качество полученной информации, а также контролируется работа геофизического оборудования. Запись данных происходит непрерывно, а вся полученная информация отображается на экране компьютера в режиме реального времени в удобном для пилота виде.

Система подсказывает пилоту оптимальную траекторию для поворота с одного маршрута на другой, помогает выйти на маршрут с минимальными боковыми и курсовыми отклонениями: на рис. 2 приведены фактические линии по одинаковому полетному заданию по системе NAVDAT (Россия) и системе VTEM (Канада). Производительность с российским комплексом оказалась выше примерно на 30%.

VTEM



NAVDAT

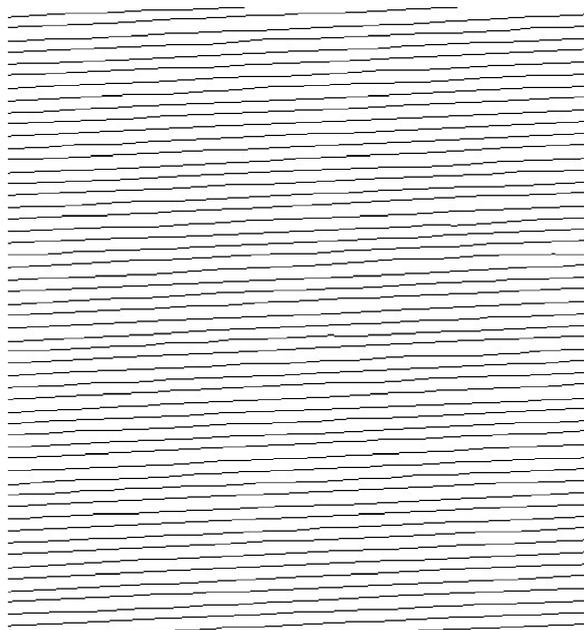


Рис. 2. Сравнение проводок VTEM (слева) и NAVDAT (справа), межмаршрутное расстояние – 50 м.

Предполетная подготовка системы требует введения допустимых значений бокового и вертикального отклонения, некоторых динамических характеристик борта, а также плана полета в виде текстового файла, состоящего из списка маршрутов и географических координат точек этих маршрутов.

2. Статистика съемки

Еще недавно, основным летательным аппаратом для производства детальной аэрогеофизической съемки был вертолет Ми-8. Он потребляет порядка 800 л авиакеросина в час. Однако, на протяжении последних лет, нами используется экономичный вертолет Eurocopter AS350, потребляющий порядка 160 л авиакеросина в час. Также, использование алгоритмов автоматизированной навигации предоставило возможность производить съемку без участия штурмана. В результате можно заправить вертолет дополнительно на 80 кг авиакеросина, увеличивая летное время примерно на 30 минут.

Кроме вышеописанных факторов, на производительность съемки также оказывает влияние рельеф местности. Ниже приведена статистика по работам, проводившимся на площадях с разными перепадами высот.

Работы на равнине проводились в Архангельской области в 2010 году [4]. Перепады высот на местности составили не более 50 м, а средняя высота генератора над поверхностью рельефа во время полета – 50 м. Съемка проводилась с использованием вертолета Ми-8 с двумя внешними и одним внутренним дополнительными баками. Каждый «рабочий вылет» включал две зоны компенсации ЭКВАТОРа. В таблице 1 приедены длины рядовых и опорных маршрутов. Общее время работ составило 32 часа. Также на равнинной местности проводились работы в Якутии в 2014-2015 годах [5].

Таблица 1. Данные съемочных работ масштабом 1:5000, максимальное удаление от границы площади – 10,5 км.

Маршруты	Кол-во	Всего, км	Сред. дл., км	Макс. дл., км	Мин. дл., км
Рядовые (сетка через 50 м)	212	1961,24	9,25	11,62	4,28
Опорные (сетка через 500 м)	27	206,71	7,66	10,71	1,16
Итого	241	2193,98	9,1	14,59	1,16

- средняя производительная скорость съемки составила $2193,98/32 = 69$ км/ч;
- средняя рабочая скорость съемки $\sim 2138/25 = 85$ км/ч (без учета времени на контрольно-настроечные вылеты и повторных маршрутов);
- средняя скорость на маршруте – 140 км/ч, при среднем времени разворота 1,5 мин.

Значительный объем работ был выполнен на пересеченной местности (Ангола 2013 г. [6], Сухой Лог 2019 г. [7], Хорватия 2021 г. [8], Италия 2023 г.). Перепады высот на местности составляли – до 500 м, средняя высота полета вертолета над поверхностью рельефа – 100 м, производительность съемки – 80 км/ч

Съемка в горных условиях (Руанда 2016-2017 гг. [9], Камчатский край 2021 г. [10], Хабаровский край 2023 г.) осложняется большими перепадами высот – до 2000 м, что приводит к уменьшению производительности съемки, но не более, чем на 15%. На рис. 3 приведена схема полета в горной местности, на которой разноцветными линиями помечены траектории следования разных компонентов комплекса ЭКВАТОР.

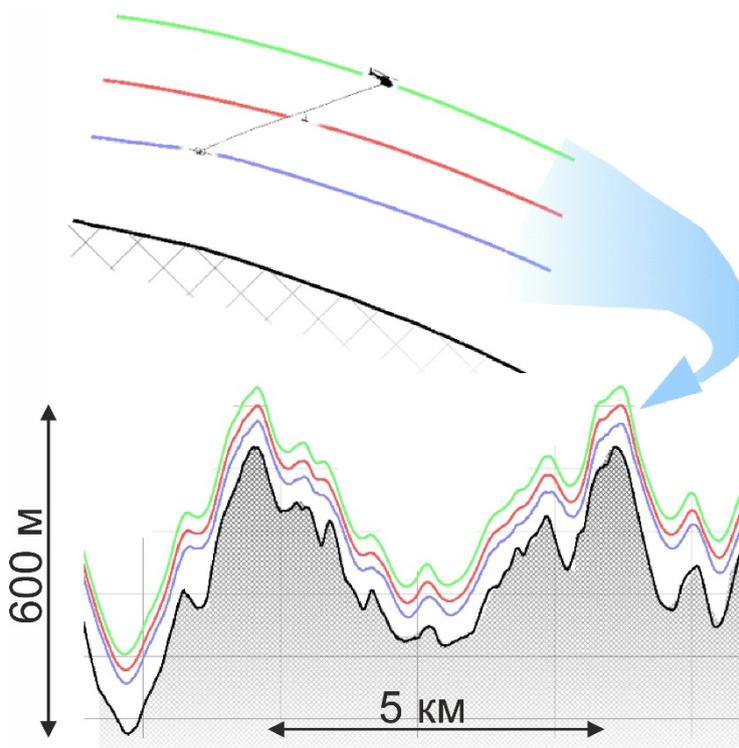


Рис. 3. Картинка-схема полета в горной области, цветами отмечены траектории движения разных компонентов комплекса ЭКВАТОР: зеленым – вертолет, красным – ЕМ-приемник, синим – ЕМ-передатчик. Черным цветом отмечена граница рельефа.

3. Заключение

При производстве аэрогеофизической съемки авиационное обеспечение работ занимает значительную часть затрат. На производительность аэрогеофизической съемки влияет тип летательного аппарата, удаленность точки базирования от площади работ, длина маршрутов, ландшафтно-климатические условия съемки.

Сегодня применяются алгоритмы автоматизированной прокладки маршрутов летательного аппарата. Благодаря оптимизации навигационного алгоритма, а также исключению штурмана из процесса съемки, производительность аэрогеофизической съемки, учитывая время полета и отлета от площади работ, возросла на 30%.

Список литературы

1. Pavlov B.V., Volkovitsky A.K., Karshakov E.V. Low Frequency Electromagnetic System of Relative Navigation and Orientation // *Gyroscope and Navigation*. 2010. Vol. 1, No. 3. P. 201-208.
2. Подмогов Ю.Г., Каршаков Е.В., Керцман В.М., Мойланен Е.В. Применение современных аэрогеофизических технологий для детальных инженерно-геологических изысканий // *Материалы 7-й Всероссийской школы-семинара по электромагнитным зондированиям земли имени М.Н. Бердичевского и Л.Л. Ваньяна*. Иркутск, 2015. Иркутск: ИВТ СО РАН, 2015. С. 1-5.
3. Волковицкий А.К., Гаракоев А.М., Гладышев А.И., Каршаков Е.В. Программный комплекс для информационной поддержки пилота при аэрогеофизической съемке // *Датчики и Системы*. 2023. № 5. С. 35-42.
4. Каршаков Е.В., Керцман В.М., Подмогов Ю.Г., Мойланен Е.В. Возможности аэроэлектроразведки при детальных поисках кимберлитов // *Материалы 8-й Всероссийской школы-семинара по электромагнитным зондированиям Земли имени М.Н. Бердичевского и Л.Л. Ваньяна (ЭМЗ-2021, Москва)*. М.: ИФЗ РАН. 2021. С. 251-256.
5. Ageev V.V., Karshakov E.V., Moilanen E.V. Using Airborne Electromagnetic Survey to Solve Hydrogeological Problems // *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*. 2022. Vol. 58, No. 5. P. 765-771.
6. Karshakov E.V., Podmogov Y.G., Kertsman V.M., Moilanen E.V. Combined Frequency Domain and Time Domain Airborne Data for Environmental and Engineering Challenges // *Journal of Environmental and Engineering Geophysics*. 2017. Vol. 22, No. 1. P. 1-12.
7. Керцман В.М., Мойланен Е.В., Подмогов Ю.Г. Применение аэрогеофизики в зоне Центрально-Африканского разлома, на золоторудных месторождениях в Иркутской области (Сухой Лог, Урях) и в Якутии // *Золото и технологии*. 2020. Т. 50, № 4. С. 74-80.
8. Volkovitskiy A.K., Karshakov E.V. Adaptive correction for airborne electromagnetic measurements // *Short abstracts of the 8th Workshop on Airborne Electromagnetics*. Australian Society of Exploration Geophysicists. Fitzroy Island, 2023. Vol. 2023, Is. 3. P. 285-288.
9. Мойланен Е.В., Гаракоев А.М., Каршаков Е.В. Аэрогеофизическая съемка республики Руанда (26 000 км²) с помощью системы ЭКВАТОР // *Материалы 10-й Международной конференции «Управление развитием крупномасштабных систем» MLSD '2017*. Москва, 2007 г. М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2017. Т. 2. С. 154-157.
10. Богатырев Д.И., Керцман В.М., Мойланен Е.В., Подмогов Ю.Г. Электроразведочная система комплекса ЭКВАТОР, ее возможности и результаты применения // *Материалы научно-практической конференции «Электроразведка-2022»*. М.: Издательский дом Академии Естествознания, 2023. С. 265-271.