

Bülent Tezkan,<sup>1\*</sup> Johannes B. Stoll,<sup>2</sup> Rainer Bergers<sup>1</sup> and Hannah Großbach<sup>1</sup> представляют результаты опытного проекта, доказывающего применимость беспилотных авиационных комплексов для производства аэромагнитных съемок.

Беспилотный авиационный комплекс (БАК) является экономически эффективным и экологически безопасным инструментом для аэрогеофизических исследований. Большое количество технологических решений, разработанных за последнее десятилетие, позволило этим системам доказать свою эффективность в решении многочисленных гражданских и военных задач. Однако в качестве средства проведения геофизических измерений широкого применения данные системы не получили. В настоящем исследовании описываются потенциальные возможности БАК при проведении магнитометрических измерений.

БАК состоит из воздушного судна (беспилотный вертолет) и наземной системы управления. Последняя содержит ЭВМ управления полетом, средства высокоточной навигации (GPS и внутреннюю измерительную систему), блок электронной аппаратуры управления полетом, низкочастотный двигатель и нагрузку, например, геофизическую измерительную систему. Подобные воздушные суда обладают большой адаптивностью в отношении полезной грузоподъемности. А благодаря высокоточной навигации и компьютерному управлению полетом – возможностью зависать или двигаться с малой скоростью близко к поверхности земли над площадью исследования.

Использование БАК в геофизических исследованиях имеет ряд преимуществ по сравнению с традиционными

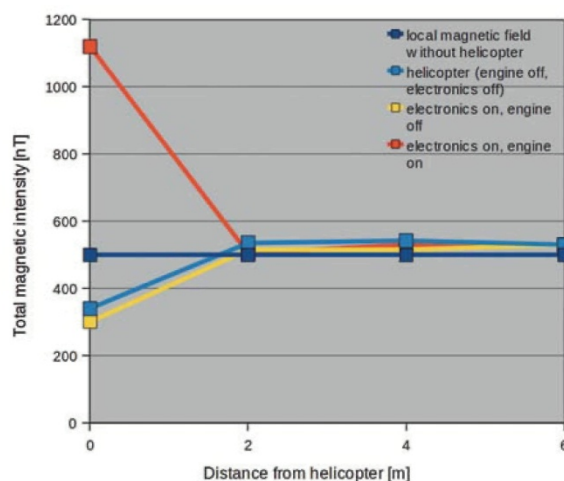
пилотируемыми системами, а также наземными съемками и съемками с морских судов. Нами использовался БАК Scout B1-100, разработанный компанией Aeroscout (Люцерн, Швейцария). Его полезная грузоподъемность при продолжительности полета около 1 часа составляет 15 кг (рис. 1). БАК Scout B1-100 удовлетворяет техническим требованиям для проведения аэрогеофизических исследований. БАК способен совершать автономный полет в соответствии с запланированным точечным маршрутом. Вертолет летит по заданным точкам, в соответствии с заранее определенными характеристиками полета (координатами, курсом, высотой и скоростью).

Производительность геофизических исследований, использующих БАК, значительно превышает производительность наземных съемок и съемок с морских судов. Это делает применение БАК идеальным средством для проведения геофизических съемок среднего масштаба в диапазоне от 0,1 км<sup>2</sup> до 10 км<sup>2</sup>. Для БАК безопасными являются полеты на малых высотах (около 1 м). Это позволяет проводить высокоразрешающее картирование магнитных аномалий почв, а при геофизических исследованиях среднего масштаба стоимость работ оказывается ниже, чем при покупке и использовании пилотируемого летательного аппарата.



Рис. 1 Scout B1-100, разработанный компанией Aeroscout (Люцерн, Швейцария): вес 43 кг; грузоподъемность 15 кг.

Рис. 2 Магнитный шум как функция расстояния между БАК и датчиком. Значения местного нормального магнитного поля Земли вычтены.



<sup>1</sup> Institute of Geophysics and Meteorology, University of Cologne, Germany.

<sup>2</sup> Mobile Geophysical Technologies, Celle, Germany.

Corresponding author, E-mail: tezkan@geo.uni-koeln.de

## EM/Potential Methods

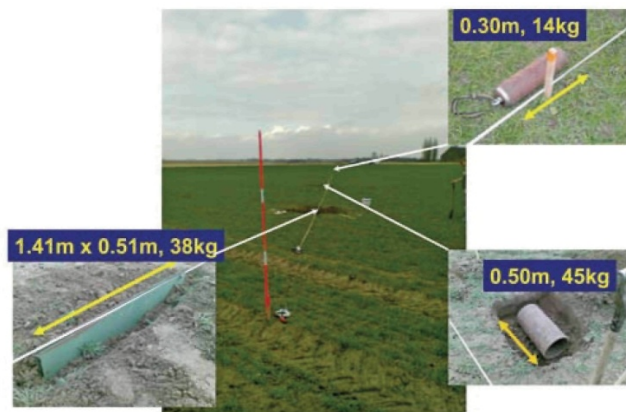


Рис. 3 Вид площади исследования над центральным профилем, включающим три закопанных объекта.

Полет с использованием высокоточной навигации вблизи поверхности позволяет получать геомагнитные данные высокого разрешения по плотной сети наблюдений.

#### Шум от БАК в магнитных данных

К БАК был прикреплен трехкомпонентный феррозондовый магнитометр (разработка Magson, Германия). Вес магнитометра составляет 3,1 кг. Магнитометр включает в себя магнитный датчик, соответствующую электронику, устройство регистрации данных и защитную трубку. Это делает магнитометр подходящим для использования при магнитометрических исследованиях с БАК. Для определения магнитного шума, создаваемого самим БАК, и взаимодействия с магнитометрическими измерениями были произведены измерения шума.

Были выделены следующие источники шума:

- Ферромагнитные части самого БАК
- Шум, вызванный электронной системой управления БАК
- Искра зажигания двигателя внутреннего сгорания БАК

Испытания были проведены для определения интенсивностей различных шумов и требуемого расстояния между датчиком и БАК (рис. 2). Для расстояния, превышающего 4 м, интенсивность магнитного шума меняется в пределах 10 нТл. Кроме магнитного шума влияние на данные оказывает положение датчика над целью. Это означает, что необходимо поддерживать очень стабильную и предсказуемую траекторию полета БАК. Колебания или движения подвешенного к БАК датчика также должны контролироваться. Компания Aeroscout разработала решения, удовлетворяющие этим требованиям.

#### Магнитная съемка с БАК близ Кельна, Германия

В ходе опытного проекта для первого испытания производительности и применимости для аэромагнитных измерений БАК был использован при исследованиях близ Кельна в Германии. Предварительно с интервалом 15 м в почву были закопаны три железных объекта. Размер маленького объекта составлял 0,3 м, большого – 1,4 м (рис. 3).

Геофизическая система, прикрепленная к БАК, состояла из феррозондового датчика, электроники и регистрирующей аппаратуры. Траектория БАК была очень хорошо видна в течение всего автономного полета (параметры ветра: 15-20 км/ч, шквалистый, угол между направлением ветра и линией профиля приблизительно 40-50°), можно было легко контролировать движения датчика под БАК (рис. 4).

Полет над тремя закопанными объектами был произведен по пяти профилям длиной 50 м каждый при расстоянии между профилями 1,5 м. Задачей являлась оценка работоспособности и производительности БАК (рис. 5). Расстояние между магнитометром и поверхностью земли составило около 2 м. Для сравнения с данными БАК была проведена наземная магнитная съемка по тем же профилям с помощью градиентометра Оверхаузера (рис. 6). Все три объекта были уверенно выделены, при этом отмечается отличное совпадение с наземными данными (рис. 7). Амплитуда аномалии от малого закопанного объекта составила 5 нТл (длина 0,3 м, масса 14 кг, см. рис. 3). Так как это меньше аномалии от более крупных металлических объектов, для наглядности данные по профилю в интервале 5 – 15 м были построены в другом масштабе.



Рис. 4 Автономный полет БАК при аэромагнитной съемке близ Кельна.

EM/Potential Methods

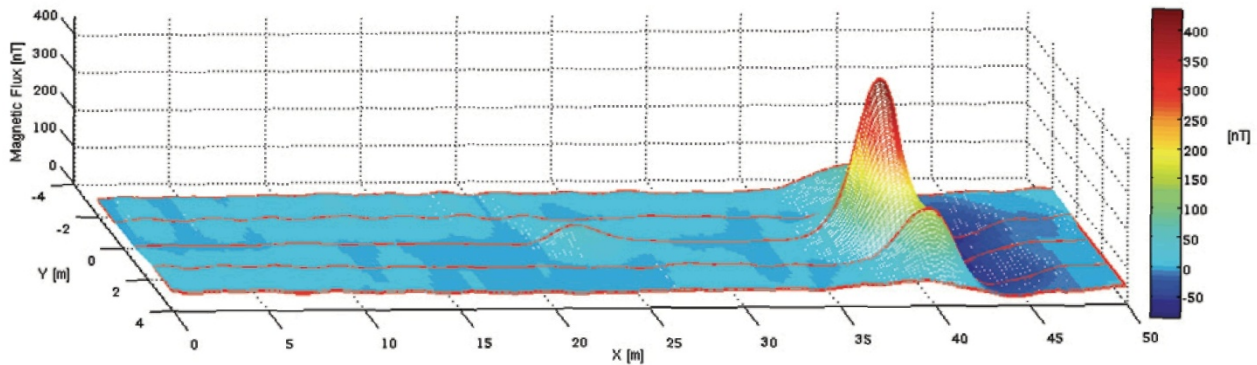


Рис. 5 Полный вектор магнитного поля, измеренный с помощью феррозондового магнитометра, прикрепленного к БАК при автономном полете. Расстояние между профилями 1 м. Высота датчика около 1,8 м. Локальное нормальное магнитное поле (48610 нТл) вычтено.

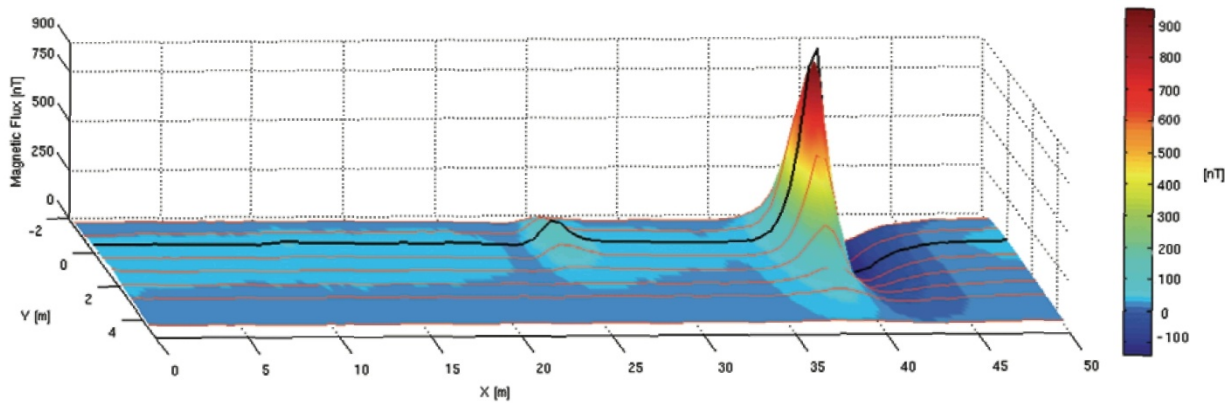


Рис. 6 Полный вектор магнитного поля, по данным наземной съемки с помощью градиентометра Оверхаузера по регулярной сети (расстояние между профилями 0,75 м,  $\Delta x=0,5$  м). Высота датчика 1,4 м. нормальное магнитное поле (48600 нТл) вычтено.

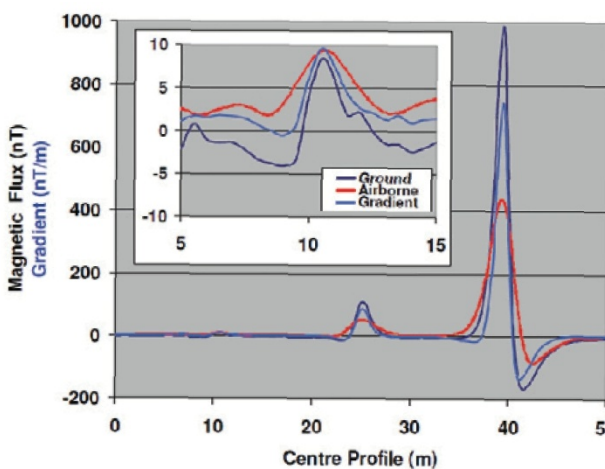


Рис. 7 Результаты измерений полного вектора и вертикального градиента магнитного поля с использованием БАК и в наземном варианте. Измерения по центральному профилю (рис. 3), нормальное поле (48600 нТл) вычтено.

**Выводы**

Проведенные испытания показали, что использование БАК является производительным и экономически эффективным решением для геофизических измерений – высокоразрешающей съемки магнитного поля. Закопанные на испытательной площади железные объекты были четко выявлены по результатам магнитной съемки с БАК. Данные, полученные с помощью БАК, очень хорошо соответствуют данным традиционной наземной магнитной съемки.

**Благодарности**

Финансирование исследований осуществлялось Deutsche Forschungsgemeinschaft TE170/12-1.

Мы благодарим А. Hördt и Р. Hofmeister (Университет Braunschweig) за предоставление трехкомпонентного феррозондового магнитометра. Благодарим команду Aeroscout за инновационные решения, удовлетворяющие нашим требованиям, и безупречное обеспечение полетов.

Также выражаем благодарность фермеру, позволившему проводить исследования на его территории, и студентам Кельнского Университета, принимавшим участие в производстве измерений.