

## Программа ReinMag. Описание.

## Оглавление

1. Общие положения.....	2
Требования к магнитной компенсации.....	2
Источники магнитных влияний.....	2
Основы компенсации.....	3
Этапы компенсации.....	4
Получение данных компенсации.....	4
2. Рекомендации по установке датчика квантового магнитометра.....	5
Метод I.....	6
Метод II.....	7
Метод II.a, вариант с ограничениями.....	8
Метод III.....	8
Границы для выбора метода.....	9
Рекомендации по установке датчика.....	10
3. Описание программы ReinMag.....	11
Порядок работы и интерфейс программы ReinMag.....	11
Оценка качества компенсации.....	15

## 1. Общие положения

Данная программа была разработана для расчета набора коэффициентов, который используется для компенсации влияния поля самолета-носителя на показания скалярного магнитометра, измеряющего модуль вектора магнитной индукции. Компенсация осуществляется в программе Geosoft Oasis Montaj.

### **Требования к магнитной компенсации**

Современные магнитометры обладают очень высокой чувствительностью при большой частоте дискретизации и широком диапазоне измерений. Магнитное влияние корпуса самолета-носителя, которое также называют девиацией, изменяется при изменениях пространственного положения намного больше, чем разрешающая способность магнитометрической системы. Кроме того, возможно влияние ориентационной погрешности самого магнитного датчика. Тем самым, девиация измерений магнитного поля является фактором, ограничивающим чувствительность аэромагнитной съемки.

Одним из важных аспектов, учтенных при разработке, является возможность контролировать качество компенсации в полете в процессе съемки. Это зачастую позволяет вовремя заметить изменение параметров девиации и выполнить компенсацию заново. Для этой цели параметры компенсации могут быть использованы программой NavDat.

Для обеспечения надлежащей точности компенсации рекомендуется осуществлять измерения всех параметров магнитного поля с частотой дискретизации 100 Гц или выше.

Алгоритм компенсации чисто математический, никакие дополнительные источники поля не применяются. Поэтому одни и те же данные могут быть скомпенсированными с использованием различного набора параметров. Это означает, что если после вылета обнаружено, что параметры девиации изменились, т. е. он «испорчен», можно произвести компенсацию в одном из следующих вылетов и применить новые параметры при компенсации «испорченного» вылета.

### **Источники магнитных влияний**

Магнитное влияние самолета может исходить от нескольких источников. К ним относятся:

- постоянная составляющая, источником которой являются двигатели и «жестко» намагниченные части фюзеляжа, близкие к датчику; это влияние в точке расположения датчика описывается неизменным относительно самолета вектором;
- индуктивная составляющая, источником которой также являются двигатели и «мягко» намагниченные части фюзеляжа, близкие к датчику; это влияние в точке расположения датчика можно выразить матрицей  $3 \times 3$ , которая при умножении на вектор магнитной индукции даст вектор влияния в этой точке при данной ориентации внешнего поля;
- вихревая составляющая, связанная с движением проводящих частей фюзеляжа в магнитном поле; это влияние в точке расположения датчика можно выразить матрицей  $3 \times 3$ , которая при умножении на производную по времени вектора магнитной индукции даст вектор влияния в этой точке;
- девиация самого датчика магнитометра;
- дополнительное влияние движущихся поверхностей, таких как рули направления или высоты, а так же изгибные деформации корпуса;
- электрические и механические влияния в полосе пропускания системы.

Характерные величины этих влияний зависят от летательного аппарата и метода установки. Обычно в авиационной магнитометрии постоянная составляющая может давать магнитную помеху порядка 10 нТл, индуктивную составляющую порядка 5 нТл и вихревую составляющую порядка 2 нТл. Девиация современных датчиков магнитного поля может достигать 0,5 нТл.

Для обеспечения достаточной точности компенсации необходимо, чтобы влияние движущихся частей, а также механические и электрические воздействия не превышали 1 нТл. Это можно протестировать на земле в спокойном с точки зрения изменений магнитного поля месте. Данные источники помех не оцениваются и обусловят остаточную девиацию, поэтому их влияние должно быть минимизировано.

Как было сказано выше, оцениваемые параметры девиации задаются векторами. В скалярных измерениях их влияние описывается скалярным произведением на вектор направления индукции магнитного поля. Данный вектор получается по измерениям дополнительного векторного магнитометра, который обязательно должен входить в аэромагнитный комплекс.

Стоит отметить, что поле источников, не вошедших в модель девиации, тем не менее, также имеет линейную составляющую, и будет частично скомпенсировано.

Не смотря на кажущуюся простоту модели, задача оценивания ее параметров не может быть решена выделением соответствующей движению самолета части в спектре измеренного магнитного поля. В реальных условиях самолет движется через изменяющееся магнитное поле: даже высоко над уровнем земли нельзя пренебречь градиентом поля. Изменение скорости, высоты полета — все это приводит к изменению измеренного значения магнитного поля в той же полосе частот, в которой находится влияние девиации, и величины этого изменения сопоставимы с величиной девиации.

### **Основы компенсации**

По сути девиация магнитных измерений — это величина, которая известным образом зависит от текущей ориентации самолета по отношению к магнитному полю Земли и от скорости изменения этой ориентации. Данная зависимость определяется набором постоянных коэффициентов. Если эти коэффициенты заданы, исходя из текущих параметров движения самолета можно вычислить значение девиации и вычесть ее из показаний магнитометра.

Девиацией нельзя пренебречь, поскольку ее величина может превосходить величину аномалий магнитного поля на высоте съемки. Ее также нельзя исключить фильтрацией, поскольку характерное время изменения девиации, от одной до нескольких секунд, соответствует расстоянию от десятков до сотен метров. Таким образом фильтрация приведет к потере детальности измерений аномального магнитного поля.

Чтобы вычислить коэффициенты зависимости девиации от параметров движения самолета, необходимо выполнить калибровочный полет на большой высоте — желательно выше двух тысяч метров над землей. Основная цель подъема на такую высоту — исключение высокочастотной составляющей в аномальном магнитном поле. Тогда все изменения измеренного магнитного поля с характерными временами порядка нескольких секунд обусловлены либо изменением ориентации самолета относительно вектора индукции магнитного поля, либо движением самолета в градиентном магнитном поле. Поскольку параметры движения — координаты и скорость, — измеряются при помощи спутниковой навигационной системы, а параметры ориентации — при помощи векторного магнитометра (обычно это трехкомпонентный феррозонд), задача оценивания параметров девиации становится разрешимой.

Традиционно магнитная съемка выполняется серией параллельных маршрутов какого-то определенного направления, их называют рядовыми. Помимо этого, методика съемки предполагает полеты по опорным маршрутам в направлении, перпендикулярном направлению рядовых маршрутов. Чтобы обеспечить максимальное качество компенсации, калибровочный полет необходимо выполнить в этих четырех направлениях. Главным образом это связано с нелинейностью ориентационной погрешности датчика. Кроме того, важно, чтобы калибровочные маршруты имели одну точку пересечения (см. рис. 1). Это позволяет наилучшим образом оценить составляющую девиации, зависящую от курса.

**Замечание.** Если по каким-то причинам калибровочный полет включал менее четырех маршрутов, полученные параметры компенсации могут использоваться только для направлений, в которых выполнялась калибровка.

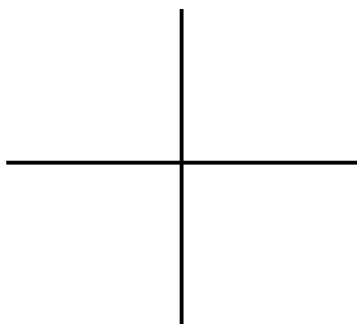


Рис. 1. Маршруты калибровочного полета

Теоретически, полученные параметры компенсации по четырем направлениям калибровочного полета применимы для маршрутов любого направления, например, для текущих маршрутов. Однако, необходимо учитывать работоспособность магнитного датчика при данном направлении полета. Подробнее об этом написано в разделе 2.

В процессе калибровочного полета в каждом направлении выполняется серия движений по тангажу, крену и рысканью. Полученные данные обрабатываются программой ReinMag с целью получения устойчивого набора коэффициентов модели девиации.

Вычисленные коэффициенты могут использоваться в реальном времени программой NavDat для визуализации качества компенсации, и в режиме постобработки.

### **Этапы компенсации**

Процесс компенсации проходит в четыре этапа:

1. получение данных компенсации (калибровочный полет);
2. обработка данных и получение коэффициентов компенсации;
3. производственное использование этих коэффициентов в режиме реального времени;
4. постобработка данных с полученными наборами коэффициентов компенсации.

### **Получение данных компенсации**

Процедура получения данных компенсации, или калибровочный полет, занимает примерно 20 минут. Набор маршрутов для компенсации может быть задан заранее или создан в программе NavDat.

Установите все оборудование в обычные условия эксплуатации. Режим работы магнитометрического комплекса должен быть как при съемке. Если самолет оснащен автопилотом, то он должен быть выключенным и самолет должен управляться вручную. Системы самолета, потребляющие больше всего энергии, такие как обогреватель или

кондиционер, должны быть либо выключены и остановлены, либо переставлены в режим, в котором работа компрессора и системы вентиляции непрерывна. При этом надо иметь в виду, что такой режим должен быть в процессе всей съемки, а не только в калибровочном полете. Следует отметить, что все системы самолета, которые будут включены при съемке, должны быть включены во время компенсации на протяжении всего полета. Несоблюдение этих правил приведет к плохим результатам компенсации.

Компенсация должна проводиться в магнитно спокойных условиях на большой высоте, подальше от влияния земли, на высоте как минимум 2000-2500 метров над землей. Во время каждого из четырех маршрутов самолет должен выполнить три полных колебания по крену, тангажу и рысканью. Они должны быть гладкими и симметричными, насколько это возможно, с периодом примерно 5-10 секунд.

Интенсивность движений должна быть согласована с режимами полета во время съемки. Маневры крена должны быть +/-10 градусов; маневры тангажа +/-5 градусов, при этом изменения высоты не должны превышать 50 м; маневры рысканья должны быть +/-5 градусов. Для изменения положения самолета должны использоваться только элементы управления самолета, которые используются на съемочном маршруте, например, не стоит чрезмерно использовать руль направления, если он не используется обычно на прямолинейном маршруте. Порядок движений может быть любым. При прохождении центральной точки маневрирование следует на время прекратить для максимально точного прохождения.

**Замечание.** Рекомендуется выполнять калибровочный полет в начале каждой съемки, каждые две недели, и всякий раз, когда изменяется магнитная обстановка на борту.

**Замечание.** Необходимо перед каждым вылетом проверять, что весь инвентарь находится на положенном месте, все двери закрыты или открыты и зафиксированы также, как это было при выполнении компенсации.

**Замечание.** Любое изменение положения магнитного датчика, скалярного или векторного, требует определения коэффициентов компенсации заново.

Дополнительную информацию, касающуюся теории магнитной компенсации, можно получить на сайте <http://www.geotechnologies-rus.com/> в разделе материалы.

## 2. Рекомендации по установке датчика квантового магнитометра

Квантовые магнитные датчики, такие как Cs-3, имеют так называемую ориентационную погрешность. В области оптической оси датчика и его экваториальной плоскости датчик теряет работоспособность. Зона, где зависимость от ориентации поля пренебрежимо мала, ограничивается двумя конусами с образующими, направленными под углами  $0^\circ \pm \alpha$  к экваториальной плоскости датчика — экваториальная зона,  $90^\circ \pm \alpha$ ,  $-90^\circ \pm \alpha$  к экваториальной плоскости датчика — полярная зона (см. рис. 2). Для датчиков Cs-3 раствор этих конусов составляет примерно  $30^\circ$  для полярной зоны и  $150^\circ$  для экваториальной, т. е.  $\alpha = 15^\circ$ .

Традиционно площадь покрывается сетью параллельных рядовых маршрутов, проходимых в прямом и обратном направлении. Снимается также серия опорных маршрутов, ориентированных перпендикулярно основной сетке. Таким образом, возможны четыре направления преимущественной ориентации поля относительно датчика, соответствующие четырем направлениям полета. Эти направления, при рассмотрении в осях датчика, лежат на поверхности конуса, ось которого совпадает с местной вертикалью  $z$ , а раствор определяется углом наклона  $\beta$  вектора магнитного поля относительно горизонта (Рис. 3). Угол  $\gamma$  между направлениями поля для перпендикулярных маршрутов связан с углом наклона магнитного поля  $\beta$  соотношением  $\cos \gamma = \sin^2 \beta$ .

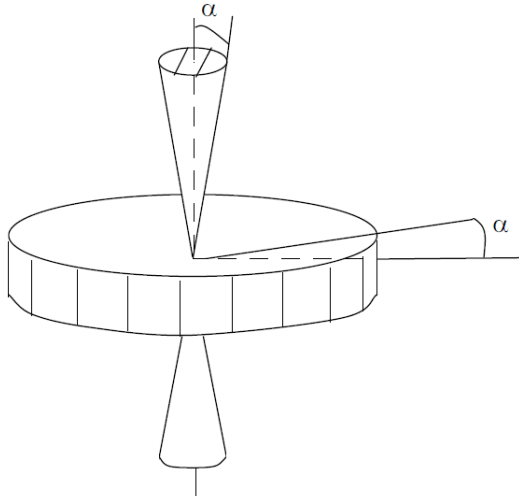


Рис. 2. Рабочие зоны квантового датчика

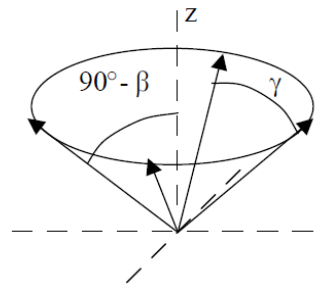


Рис. 3. Конус расположения вектора индукции магнитного поля

Возможны также секущие маршруты с произвольным азимутом. Вектор, соответствующий этим направлениям, также будет лежать на поверхности этого конуса. В качестве критерия для оптимизации угла установки датчика выберем следующий: потребуем одинаковой удаленности направления магнитного поля от границ зоны работоспособности датчика для четырех основных направлений съемки. Результат решения задачи оптимизации зависит от угла наклона вектора индукции магнитного поля. Можно выделить три основные зоны.

### **Метод I**

Этот метод следует применять в диапазоне углов наклона вектора магнитного поля  $\beta_1 < \beta < \beta_0$ . В этом диапазоне угла наклона (величины  $\beta_0 \approx 63^\circ$  и  $\beta_1 \approx 35^\circ$  описаны далее) оптическая ось датчика должна совпадать с местной вертикалью (Рис. 4). В этой ситуации все направления маршрутов приводят к одинаковой удаленности вектора поля от области ориентационной погрешности на угол  $75^\circ - \beta$  от полярной зоны и  $\beta - 15^\circ$  от экваториальной. Он минимален при  $\beta = \beta_0$  и равен  $12^\circ$ .

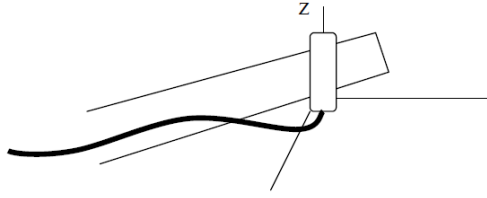


Рис. 4. Вертикальное расположение датчика

## Метод II

Этот метод следует применять в диапазоне углов наклона вектора магнитного поля  $\beta_0 < \beta < 90^\circ$ . При углах наклона  $\beta$ , близких к  $90^\circ$ , ось конуса, образуемого вектором магнитного поля Земли, должна быть направлена под углом примерно  $45^\circ$  к оптической оси датчика (Рис. 5). При оптимальном угле возвышения оси датчика четыре основных направления магнитного поля будут отстоять от границ зоны на угол  $\delta$ , определяющийся соотношением:

$$\sin(2\delta + 30^\circ) = (4 \sin^4\beta / (3 \sin^2\beta - 1)) - 1.$$

При изменении угла  $\beta$  от  $90^\circ$  до  $\beta_0$  оптимальный угол оптической оси датчика с горизонтом  $\nu$  изменяется от  $45^\circ$  до, примерно,  $49^\circ$ . Кроме того, максимальный угол с границей зоны ориентационной погрешности для основных направлений достигается при условии, что вертикальная плоскость, проведенная через оптическую ось датчика, составляет  $45^\circ$  с направлением горизонтальной проекции вектора магнитного поля. Таким образом, горизонтальная проекция магнитного поля должна составлять  $45^\circ$  с горизонтальной проекцией оптической оси датчика. Это значит, что при установке датчика необходимо учитывать не только наклонение, но и склонение вектора индукции магнитного поля. При  $\beta = \beta_0$  четыре основных направления вектора магнитного поля отстоят от экваториальной и полярной зон на угол  $10-13^\circ$ , что накладывает определенные ограничения на допустимые эволюции. Минимальный угол вектора магнитного поля с границей при описанном способе установки составляет  $\beta = 15^\circ - \nu \approx \beta = 60^\circ$  и достигается, когда ось датчика и вектор магнитного поля лежат в одной вертикальной плоскости. Сложная ситуация возникает при углах  $\beta$ , близких к  $\beta_0$ . Если возвышение оси датчика  $\nu$  составит  $49^\circ$ , то для ориентации поля, близкой к оси датчика, вектор поля выходит на границу полярной зоны, но на курсах основных маршрутов он отстоит от границ зоны работоспособности почти на  $13^\circ$ . Если возвышение оси датчика  $\nu = 45^\circ$ , то для направления, когда угол между осью датчика и магнитным полем минимален, вектор поля отстоит от границы зоны на  $3^\circ$ , а для пары основных направлений вектор поля отстоит от экваториальной зоны только на  $10^\circ$ . Максимальный угол с границей,  $20-40^\circ$ , достигается, когда горизонтальные проекции магнитного поля и оптической оси датчика составляют  $90^\circ$ .

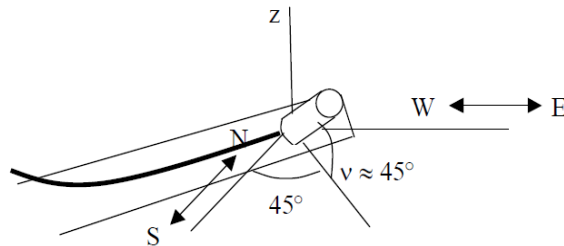


Рис. 5. Наклонное расположение датчика



### Метод II.а, вариант с ограничениями

Это модификация метода II. Если есть возможность летать по маршрутам только одного направления (туда и обратно), то датчик можно установить в плоскости восток-запад (с учетом угла склонения магнитного поля) с углом возвышения оптической оси датчика  $\nu$ , определяемым формулой

$$\sin \beta \sin \nu = \cos 45^\circ = 1/2$$

или

$$\nu = \arcsin [1/(2 \sin \beta)].$$

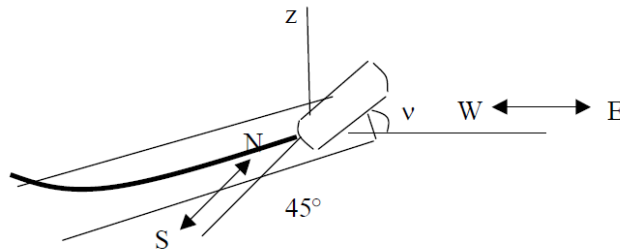


Рис. 6. Наклонное расположение датчика в плоскости, ортогональной горизонтальной проекции вектора индукции магнитного поля

Для  $\beta \in \beta_0$  угол  $\nu$  составит примерно  $53^\circ$ , для  $\beta \in 60^\circ$  он составит  $55^\circ$ , а для  $\beta \in 70^\circ - 48^\circ$ . Минимальный угол с горизонтом получается для вертикального направления поля –  $45^\circ$ .

### Метод III

Этот метод следует применять в диапазоне углов наклона вектора магнитного поля  $0^\circ < \beta < \beta_1$ . В этом диапазоне углов  $\beta$  следует устанавливать ось датчика в горизонтальной плоскости под углом  $45^\circ$  к направлению горизонтальной проекции вектора магнитного поля (Рис. 7). При такой установке появляются недопустимые направления полетов. При приближении вектора поля к экваториальной зоне датчика угол  $\delta$  до границы определяется из соотношения

$$\cos(\delta + 15^\circ) = \sin^2 \beta + \cos \epsilon \cos^2 \beta,$$

где  $\epsilon$  – угол горизонтальной проекции вектора поля до плоскости экватора датчика.

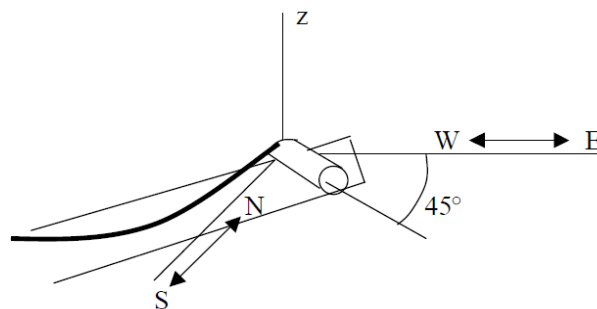


Рис. 7. Горизонтальное расположение датчика

Таким образом, минимально допустимый угол  $\epsilon_0$  горизонтальной проекции вектора поля до экваториальной плоскости датчика определяется соотношением

$$\cos \epsilon_0 = (\cos 15^\circ - \sin^2 \beta) / \cos^2 \beta \approx (0,966 - \sin^2 \beta) / \cos^2 \beta,$$

а максимальное допустимое отклонение магнитного поля от основного направления для текущего маршрута в сторону экваториальной плоскости датчика  $45^\circ - \epsilon_0$ . При  $\beta \in \beta_1$ ,  $\epsilon_0 \in \epsilon_1$ ,  $\epsilon_1 \approx 18,5^\circ$ , максимальное допустимое отклонение в сторону экваториальной зоны  $\approx 26,5^\circ$ . При  $\beta \in 0$  максимальное допустимое отклонение  $30^\circ$ . При приближении вектора поля к полярной зоне датчика угол  $\delta$  до границы определяется из соотношения

$$\cos(\delta + 15^\circ) = \sin \theta \cos \beta,$$

где  $\theta$  – угол между горизонтальной проекцией поля и оптической осью датчика. Очевидно, при  $\beta > 15^\circ$  вектор магнитного поля не попадает в полярную зону неработоспособности. В остальных случаях минимальный угол  $\theta_0$  горизонтальной проекции поля с оптической осью определяется соотношением  $\sin \theta_0 = \cos 15^\circ / \cos \beta$ , а максимальное допустимое отклонение от маршрута в сторону полюсов датчика  $45^\circ - \theta_0$ .

При  $\beta = 0$  максимальное допустимое отклонение  $30^\circ$ .

### Границы для выбора метода

Значение угла наклона  $\beta$ , при котором следует переходить от способа I к способу II,  $\beta_0 \approx 63^\circ$ . Значение угла  $\beta$ , при котором следует переходить от способа I к способу III, определяется соотношением  $\text{tg}^2 \beta_1 = 1/2$ ;  $\beta_1 \approx 35^\circ$ . Эту границу целесообразно уменьшать до тех пор, пока не возникает риск попадания в экваториальную зону неработоспособности датчика при эволюциях. Это полезно, так как для способа I нет ограничений на направления секущих маршрутов.

**Замечание.** При углах наклона вектора индукции магнитного поля  $\beta$ , близких к  $\beta_0 \approx 63^\circ$ , следует внимательно отнестись к ограничениям на угловые эволюции при списании девиации. Приближение к зоне неработоспособности может существенно повлиять на результат компенсации.

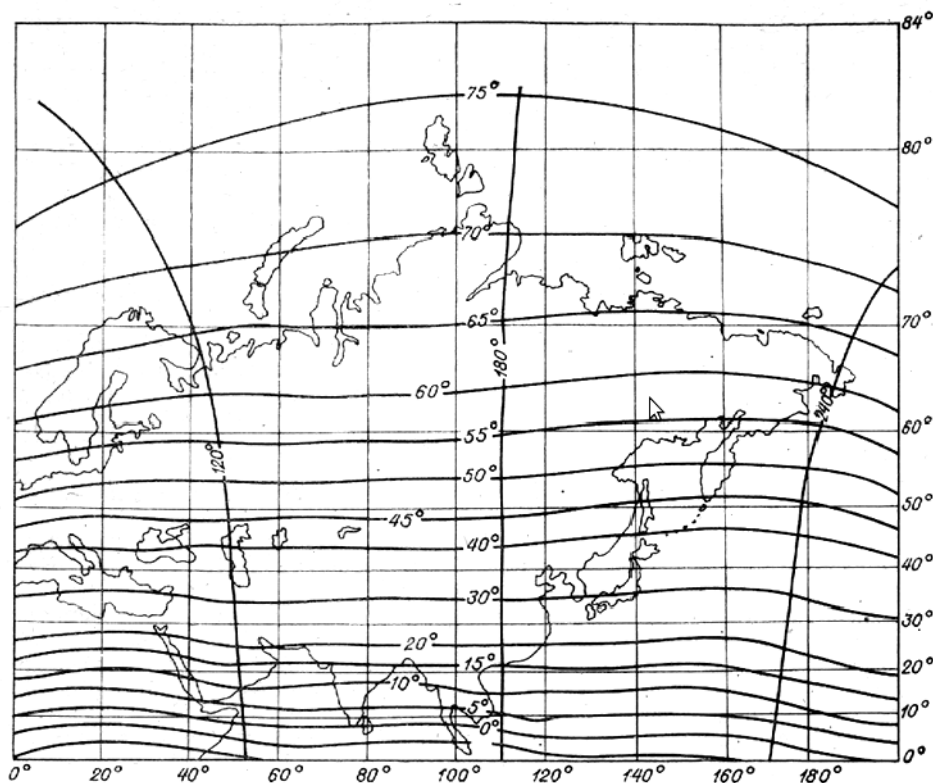


Рис. 8. Линии геомагнитной широты

Угол  $\beta$  может быть приблизительно вычислен из соотношения  $\text{tg } \beta = 2 \text{ tg } \varphi_m$ , где  $\varphi_m$  – геомагнитная широта места. Соотношение географических координат и геомагнитной широты для некоторых областей приведены на рисунке 8.

### **Рекомендации по установке датчика**

Учитывая приведенные соотношения, для средней части карты, показанной на рис. 8 (долгота от  $80^\circ$  до  $100^\circ$ ), необходимо следовать приведенным ниже инструкциям (учитывается также ограниченную возможность выверенной установки датчика в полевых условиях).

Для широт выше  $58^\circ$  ( $\varphi_m > 54^\circ$ , наклонение больше  $70^\circ$ ) следует пользоваться способом II. При этом предпочтительно направление секущих такое, что поле максимально удалено от границ нерабочей зоны (оптическая ось примерно в плоскости восток-запад).

Для широт от  $44^\circ$  до  $58^\circ$  ( $40^\circ < \varphi_m < 54^\circ$ , наклонение от  $60^\circ$  до  $70^\circ$ ) следует пользоваться способом II.a. Для каждого направления маршрутов необходимо выставлять датчик так, что поле максимально удалено от границ зоны (оптическая ось в плоскости восток-запад с учетом склонения). Для серии маршрутов нового направления следует переустановить датчик и произвести списание девиации заново.

**Замечание.** При выборе способа установки II.a девиация списывается только для выбранного направления, т. е. при списании в калибровочном полете выполняются только два маршрута, отвечающих этому направлению.

Для широт от  $23^\circ$  до  $44^\circ$  ( $16^\circ < \varphi_m < 40^\circ$ , наклонение от  $30^\circ$  до  $60^\circ$ ). Следует пользоваться способом I. При этом направление секущих не имеет значения.

Для широт от  $0^\circ$  до  $23^\circ$  ( $-10^\circ < \varphi_m < 16^\circ$ , наклонение от  $-19^\circ$  до  $30^\circ$ ). Следует пользоваться способом III. При этом в случае необходимости прохождения диагональных секущих следует переустановить соответствующим образом датчик и произвести списание девиации заново. Для других районов надо руководствоваться указанными границами значений геомагнитной широты.

**Замечание.** При пользовании способами II и III необходимо учитывать не только наклонение, но и склонение магнитного поля.

## **3. Описание программы ReinMag**

Программа ReinMag разработана для расчета набора коэффициентов, который используется при компенсации влияния поля самолета-носителя на показания скалярного магнитометра, измеряющего модуль вектора магнитной индукции. Компенсация осуществляется в режиме постобработки в программе Geosoft Oasis Montaj, а также в режиме реального времени в программе NavDat.

Входными данными для работы программы ReinMag являются:

- файл данных ГТ-Маг формата \*.mag, отвечающий калибровочному полету, содержащий основные параметры магнитометра;
- файл формата Geosoft XYZ, содержащий измерения магнитного поля, полученные в процессе калибровки.

Выходными данными программы ReinMag являются:

- файл-скрипт формата Geosoft GS для компенсации в режиме постобработки, содержащий необходимые для учета девиации инструкции;
- файл параметров magcom.mgc, необходимый программе NavDat для компенсации в реальном времени.

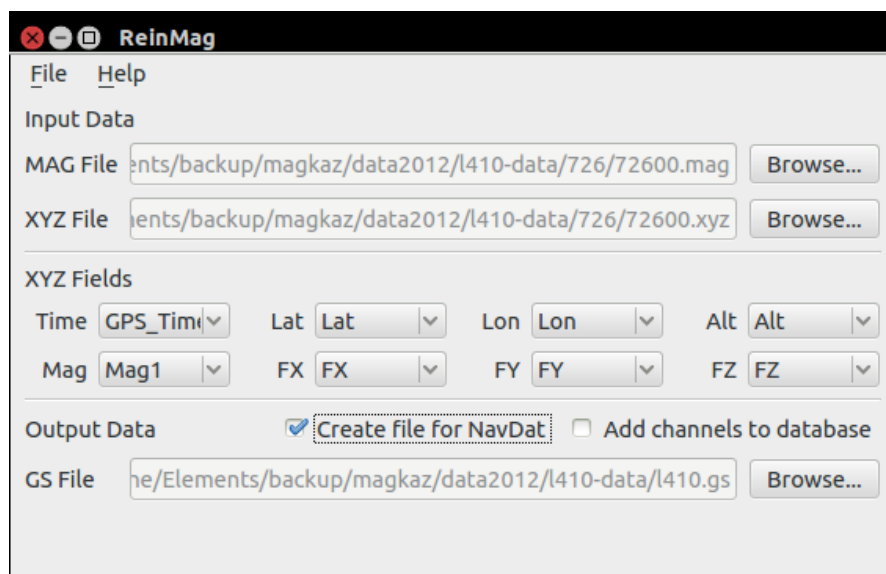


Рис. 9. Интерфейс программы ReinMag

### **Порядок работы и интерфейс программы ReinMag**

Окно программы состоит из трех частей. Верхняя часть — **Input Data** (Входные Данные). Она содержит два поля:

- **MAG File** — поле выбора имени входного файла данных ГТ-Маг формата MAG; имя файла можно задать, нажав Browse... (Обзор...) и воспользовавшись стандартным меню открытия файла;
- **XYZ File** — поле выбора имени входного файла данных формата Geosoft XYZ; имя файла можно задать, нажав Browse... (Обзор...) и воспользовавшись стандартным меню открытия файла.

Оба файла должны отвечать одному и тому же вылету, содержащему данные калибровочного полета.

Перед тем, как подать файл XYZ на вход программы ReinMag, необходимо убедиться в надлежащем качестве данных средствами Geosoft Oasis Montaj. Если в файле присутствуют искаженные данные, их лучше удалить (заменить на \* — DUMMY). Под искажениями понимаются испорченные показания магнитометра, связанные с попаданием в зону неработоспособности, с помехами от электрооборудования или от атмосферных разрядов. После редактирования данных следует воспользоваться меню Export to XYZ, установив флаг сохранения комментариев.

Необходимо, чтобы в файле XYZ присутствовало разбиение на маршруты, отвечающие разным направлениям полета в процессе компенсации.

**Замечание.** Для обеспечения точности компенсации в данные калибровки необходимо ввести поправку, связанную с вариациями магнитного поля, а также, при наличии данных базовой станции спутниковой навигационной системы, использовать навигационное решение, полученное в дифференциальном режиме.

Средняя часть **XYZ Fields** (Поля XYZ) содержит описание каналов XYZ файла. При открытии файла XYZ программа автоматически заполнит все поля. Если файл содержал комментарий с заголовком каналов — программа выберет каналы, подходящие по названию. Если заголовка нет, имена каналов X, Y, Z1, Z2, ... будут расставлены по порядку. В любом случае, у пользователя остается возможность выбора имени каналов вручную. Содержание каналов следующее:

- **Time** (Время) — канал времени в формате HH:MM:SS;
- **Lat** (Широта) — географическая широта в градусах;
- **Lon** (Долгота) — географическая долгота в градусах;
- **Alt** (Высота) — геоидальная высота в метрах;
- **Mag** — модуль магнитной индукции, измеренный скалярным (квантовым) магнитометром в нанотеслах;
- **FX** — компонента X вектора магнитного поля, измеренная векторным магнитометром (феррозондом) в нанотеслах;
- **FY** — компонента Y вектора магнитного поля, измеренная векторным магнитометром (феррозондом) в нанотеслах;
- **FZ** — компонента Z вектора магнитного поля, измеренная векторным магнитометром (феррозондом) в нанотеслах.

**Замечание.** Порядок и направление осей векторного датчика не важны. Однако, чрезвычайно важно, чтобы названия всех каналов не менялись в процессе съемки, поскольку они будут записаны в файл-скрипт компенсации.

Нижняя часть — **Output Data** (Выходные Данные). Она содержит следующие поля:

- **GS File** — поле выбора имени выходного файла-скрипта формата Geosoft GS; имя файла задать, нажав Browse... (Обзор...) и воспользовавшись стандартным меню открытия файла;
- **Create file for NavDat** (Создать файл для NavDat) — флаг, позволяющий включить/выключить запись файла magcom.mgc, необходимого для компенсации в реальном времени в программе NavDat; файл сохраняется в ту же директорию, что и файл-скрипт;
- **Add channels to database** (Добавить каналы в базу данных) — флаг, позволяющий включить/выключить запись в скрипт команд создания новых каналов базы данных Geosoft.

Для выполнения компенсации в режиме постобработки в базе данных Geosoft требуется наличие следующих каналов:

- три канала направляющих косинусов вектора магнитного поля, полученные из каналов FX, FY, FZ; их названия формируются добавлением префикса 'n' (FX → nFX и т.д.);
- три канала компонент производной вектора магнитного поля, полученные из каналов FX, FY, FZ; их названия формируются добавлением префикса 'd' (FX → dFX и т.д.);
- канал скомпенсированного значения магнитного поля, полученный из канала Mag; его название формируется добавлением префикса 'C\_' (Mag → C\_Mag).

Если база данных уже содержит данные каналы, выполнение скрипта, содержащего команды создания новых каналов приведет к ошибке. Поэтому, такой скрипт следует выполнить только один раз. Для последующих операций компенсации следует пользоваться скриптом, полученным с выключенным режимом **Add channels to database**.

Если по каким-то причинам названия каналов были изменены, файл-скрипт может быть отредактирован в текстовом редакторе. Очень важно при этом не модифицировать численные коэффициенты.

После того, как все поля заполнены, можно запускать обработку. Для этого надо нажать **File** → **Run**. Если какое-то поле выбора файла заполнено некорректно, программа выдаст сообщение об ошибке. Сообщения могут быть следующие:

- **XYZ file reading error** — ошибка чтения файла XYZ, не получилось открыть файл;

- **MAG file reading error** — ошибка чтения файла MAG, не получилось открыть файл;
- **GS file writing error** — ошибка записи файла GS, не получилось открыть файл;
- **MAG&XYZ file reading error** — ошибка чтения файлов MAG и XYZ, файлы не соответствуют друг другу.

Если ошибок не обнаружено, начнется работа программы, и строка статуса будет отображать текущее режим работы программы. Программа выполняет следующие действия:

- **Reading** — чтение данных по маршрутам;
- **Derivatives calculation** — вычисление производной вектора магнитного поля по маршрутам;
- **Intersection detecting** — поиск точек пересечения маршрутов;
- **Deviation parameters calculation** — вычисление параметров девиации.

В заключение в строке статуса появится сообщение **Done. X% points processed** — Выполнено. X% точек обработано. X — часть измерений, использованных при определении параметров девиации, от общего число измерений. Если обработано 50% точек или меньше, следует тщательно проверить корректность входного файла XYZ. Результат работы программы в этом случае, скорее всего, не удовлетворительный.

На рис. 10 приведен пример получаемого скрипта. Если флаг добавления каналов выключен, все команды, содержащие newchan, в скрипт записаны не будут.

```

-----
/Magnetic compensation script from /Work/40300.xyz
-----
SETINI MATH.EXP="nFX = FX/sqrt(FX*FX+FY*FY+FZ*FZ)"
GX math.gx
SETINI MATH.EXP="nFY = FY/sqrt(FX*FX+FY*FY+FZ*FZ)"
GX math.gx
SETINI MATH.EXP="nFZ = FZ/sqrt(FX*FX+FY*FY+FZ*FZ)"
GX math.gx
SETINI FILTER.IN="nFX"
SETINI FILTER.OUT="dFX"
SETINI FILTER.FILE=""
SETINI FILTER.FILTER="-1.25,-1.25,-1.25,-1.25,0,1.25,1.25,1.25,1.25"
GX filter.gx
SETINI FILTER.IN="nFY"
SETINI FILTER.OUT="dFY"
SETINI FILTER.FILE=""
SETINI FILTER.FILTER="-1.25,-1.25,-1.25,-1.25,0,1.25,1.25,1.25,1.25"
GX filter.gx
SETINI FILTER.IN="nFZ"
SETINI FILTER.OUT="dFZ"
SETINI FILTER.FILE=""
SETINI FILTER.FILTER="-1.25,-1.25,-1.25,-1.25,0,1.25,1.25,1.25,1.25"
GX filter.gx
SETINI MATH.EXP="C_Mag = Mag - nFX*(22.4) - nFY*(-37.8) - nFZ*(-39.2)"
GX math.gx
SETINI MATH.EXP="C_Mag = C_Mag - nFX*nFX*(24.2) - nFX*nFY*(3.6) - nFX*nFZ*(15.3) - nFY*nFY*(32.3) - nFY*nFZ*(-46.3)"
GX math.gx
SETINI MATH.EXP="C_Mag = C_Mag - dFX*nFX*(4.3) - dFX*nFY*(-5.3) - dFX*nFZ*(-1.4) - dFY*nFX*(0.2) - dFY*nFY*(-1.9) - dFY*nFZ*(0.4) - dFZ*nFX*(-4.8) - dFZ*nFY*(-0.0)"
GX math.gx
-----
/Made by ReinMag(c)
-----

```

Рис. 10. Выходной скрипт

Если флаг добавления каналов включен, то в верхней части скрипта добавятся команды, содержащие «newchan». Они приведены на рис. 11. Данные команды можно добавить или удалить из рабочего скрипта в любом текстовом редакторе. Возможно также создание данных каналов обычными средствами Geosoft Oasis Montaj. В любом случае, если вы сами создаете каналы, стоит иметь ввиду, что их имена должны быть образованы из имен обрабатываемых каналов добавлением соответствующего префикса. Например, если каналы измерения векторного магнитометра назывались F1, F2, F3, то должны быть созданы каналы

nF1, nF2, nF3, dF1, dF2, dF3. Если канал скалярного магнитометра имеет имя Mag1, то новый канал для скомпенсированного значения должен иметь имя C\_Mag1.

Если по ходу работ все-таки пришлось изменить названия тех или иных каналов базы данных Geosoft, следует изменить эти названия в скрипте компенсации.

```
SETINI NEWCHAN.NAME="nFX"
SETINI NEWCHAN.DTYPE="Double"
SETINI NEWCHAN.SIZE="10"
SETINI NEWCHAN.FORMAT="Normal"
SETINI NEWCHAN.DISPWIDTH="10"
SETINI NEWCHAN.DISPDIG="5"
SETINI NEWCHAN.ARRAYSIZE="1"
GX newchan.gx
SETINI NEWCHAN.NAME="dFX"
SETINI NEWCHAN.DTYPE="Double"
SETINI NEWCHAN.SIZE="10"
SETINI NEWCHAN.FORMAT="Normal"
SETINI NEWCHAN.DISPWIDTH="10"
SETINI NEWCHAN.DISPDIG="5"
SETINI NEWCHAN.ARRAYSIZE="1"
GX newchan.gx
SETINI NEWCHAN.NAME="nFY"
SETINI NEWCHAN.DTYPE="Double"
SETINI NEWCHAN.SIZE="10"
SETINI NEWCHAN.FORMAT="Normal"
SETINI NEWCHAN.DISPWIDTH="10"
SETINI NEWCHAN.DISPDIG="5"
SETINI NEWCHAN.ARRAYSIZE="1"
GX newchan.gx
SETINI NEWCHAN.NAME="dFY"
SETINI NEWCHAN.DTYPE="Double"
SETINI NEWCHAN.SIZE="10"
SETINI NEWCHAN.FORMAT="Normal"
SETINI NEWCHAN.DISPWIDTH="10"
SETINI NEWCHAN.DISPDIG="5"
SETINI NEWCHAN.ARRAYSIZE="1"
GX newchan.gx
SETINI NEWCHAN.NAME="nFZ"
SETINI NEWCHAN.DTYPE="Double"
SETINI NEWCHAN.SIZE="10"
SETINI NEWCHAN.FORMAT="Normal"
SETINI NEWCHAN.DISPWIDTH="10"
SETINI NEWCHAN.DISPDIG="5"
SETINI NEWCHAN.ARRAYSIZE="1"
GX newchan.gx
SETINI NEWCHAN.NAME="dFZ"
SETINI NEWCHAN.DTYPE="Double"
SETINI NEWCHAN.SIZE="10"
SETINI NEWCHAN.FORMAT="Normal"
SETINI NEWCHAN.DISPWIDTH="10"
SETINI NEWCHAN.DISPDIG="5"
SETINI NEWCHAN.ARRAYSIZE="1"
GX newchan.gx
SETINI NEWCHAN.NAME="C_Mag"
SETINI NEWCHAN.DTYPE="Double"
SETINI NEWCHAN.SIZE="10"
SETINI NEWCHAN.FORMAT="Normal"
```

```
SETINI NEWCHAN.DISPWIDTH="10"  
SETINI NEWCHAN.DISPDIG="3"  
SETINI NEWCHAN.ARRAYSIZE="1"  
GX newchan.gx
```

Рис. 11. Скрипт добавления каналов

После того, как создан скрипт для компенсации, можно скомпенсировать полетные данные в базе данных Geosoft. Следует отметить те маршруты, которые требуется скомпенсировать, как **Selected**, воспользоваться меню **GX** → **Run Script...**, указать в поле **Script** имя созданного файла-скрипта и нажать **ОК**.

### Оценка качества компенсации

Наилучшим образом качество компенсации можно наблюдать на данных, по которым производился расчет параметров. Для этого следует применить полученный скрипт к маршрутам калибровочного полета. Следует сравнить результат высокочастотной фильтрации скомпенсированного и нескомпенсированного значений магнитного поля при длине фильтра порядка одного километра. Отклонения от нуля результата фильтрации скомпенсированного значения поля должно быть обусловлено только перемещением в градиентном магнитном поле, главным образом, по высоте. При этом, перемещение вверх должно сопровождаться уменьшением поля, а изменение величины поля должно соответствовать величине порядка единиц нанотесла на 100 метров. Пример приведен на рис. 12.

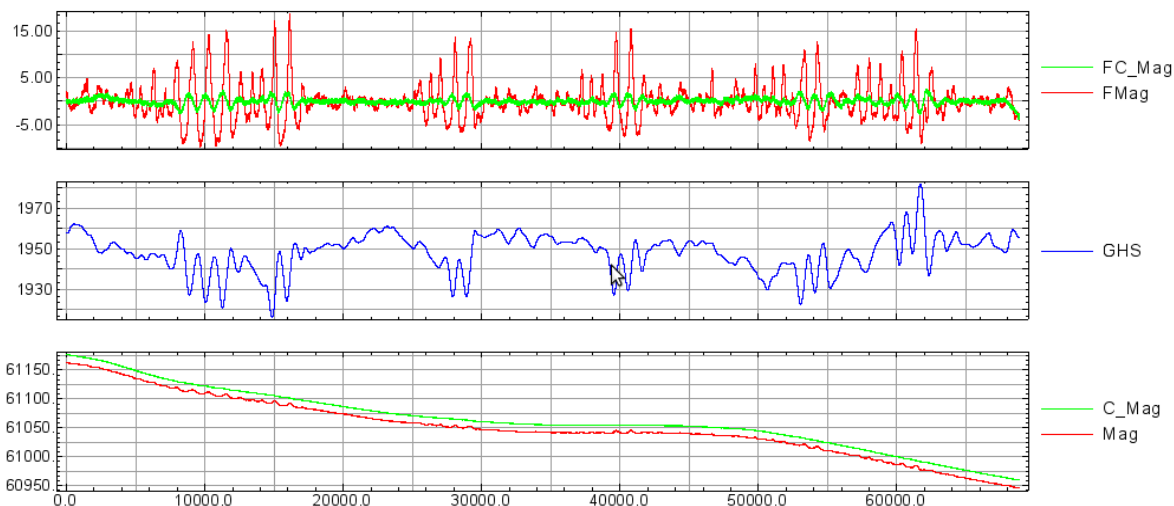


Рис. 12. Оценка качества компенсации: FMag — результат высокочастотной фильтрации нескомпенсированного измерения, FC\_Mag — результат высокочастотной фильтрации скомпенсированного измерения, GHS — геoidalная высота в метрах, Mag — нескомпенсированное значение поля в нТл, C\_Mag — скомпенсированное значение поля в нТл, по оси x отложены номера отсчетов 100 Гц.

Качество компенсации курсовой девиации можно оценить, сравнивая значения поля в точке пересечения маршрутов. Следует при этом учитывать возможное расхождение высоты, которое может давать расхождение значений порядка единиц нанотесла на 100 метров.