

# MagModel2D

*version 1.5.2*

## Руководство пользователя



Москва, 2013-2020

## Оглавление

Введение.....	- 3 -
1. Физические и математические основы .....	- 3 -
2. Установка программы.....	- 4 -
3. Интерфейс программы.....	- 4 -
4. Главное меню.....	- 5 -
5. Работа с моделью .....	- 6 -
5.1. Задание модели с помощью файла .....	- 7 -
5.2. Сохранение модели в файл .....	- 8 -
6. Параметры профиля.....	- 8 -
6.1. Равномерная сеть без рельефа .....	- 8 -
6.2. Расчет в произвольных точках с рельефом .....	- 8 -
7. Задание нормального поля .....	- 9 -
8. Решение прямой задачи магниторазведки.....	- 9 -
8.1. Сохранение результатов расчетов .....	- 10 -
9. Просмотр аномальных полей от отдельных тел .....	- 10 -
10. Настройки программы .....	- 11 -
11. Дополнительные возможности .....	- 12 -
11.1. Калькулятор намагниченности .....	- 12 -

## Введение

Программа **MagModel2D** версии **1.5.2** предназначена для решения прямой задачи магниторазведки для двухмерных тел произвольной формы. Программа написана на языке Visual Basic NET 2012 Express, с использованием платформы Framework NET 4.0. Программа предназначена для использования на операционной системе семейства Windows (XP/Vista/7/8/8.1/10)<sup>1</sup>. Автор программы – Новиков К.В. ([novikovkv@magnetometry.ru](mailto:novikovkv@magnetometry.ru)).

Программа является бесплатной и распространяется по принципу freeware (см. Лицензионное Соглашение).

### 1. Физические и математические основы

Для решения двухмерной задачи применяется теория функций комплексного переменного [Цирульский, 1990; Блох, 1993, 2009]. Поле  $T$  в комплексном виде представляется как

$$T(u) = Z(x, z) + iX(x, z), \quad 1.$$

где  $u$  – комплексное число.  $T(u)$  называется комплексной индукцией магнитного поля.

$$u = x + iz, \quad 2.$$

Применяя комплексные переменные, обычно принимают систему координат с осью  $x$ , направленной вправо и осью  $z$ , направленной вверх

Текущую точку внутри тела с координатами  $\xi$  и  $\zeta$  опишем комплексной переменной  $w = \xi + i\zeta$ .

Намагниченность будет рассматриваться как комплексный параметр, вводимый формулой:

$$I(w) = I_z(\xi, \zeta) + iI_x(\xi, \zeta), \quad 3.$$

Комплексная индукция магнитного поля для двумерной модели будет описываться следующим интегралом:

$$T(u) = \frac{\mu_0 i}{4\pi} \int_S \frac{I(w) dS}{(w-u)^2}, \quad 4.$$

Если рассмотреть решение прямой задачи магниторазведки для произвольного однородного  $N$ -угольника. Обозначим его вершины как  $w_1, w_2, w_3, \dots, w_N$ . Так как многоугольник замкнут, то  $w_{N+1} = w_1$ . Обратим внимание на то, что многоугольник может быть и невыпуклым – у него лишь не должно быть точек самопересечения.

Проведя ряд преобразований, получим выражение [Блох, 1995, 2009]:

$$T(u) = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \sum_{n=1}^N K_n \ln(u - w_n), \quad 5.$$

где комплексный коэффициент

---

<sup>1</sup> Под другими версиями Windows программа не тестировалась.

$$K_n = \frac{\overline{w_n - w_{n-1}}}{w_n - w_{n-1}} - \frac{\overline{w_{n+1} - w_n}}{w_{n+1} - w_n} = 2 \left( \frac{\xi_n - \xi_{n-1}}{w_n - w_{n-1}} - \frac{\xi_{n+1} - \xi_n}{w_{n+1} - w_n} \right). \quad 6.$$

Действительная часть числа  $T(u)$  соответствует вертикальной составляющей аномального поля

$$\Delta Z_a = \operatorname{Re}(T(u)), \quad 7.$$

а мнимая – горизонтальной

$$\Delta X_a = \operatorname{Im}(T(u)). \quad 8.$$

Для нахождения модуля  $\Delta T_a$  применяется гармоническое приближение, то есть  $\Delta T_a$  определяется как проекция вектора  $\mathbf{T}_a$  на вектор нормального магнитного поля Земли  $\mathbf{T}_0$ . Таким образом

$$\Delta T_a = \frac{X_0 \Delta X_a + Y_0 \Delta Y_a + Z_0 \Delta Z_a}{\sqrt{X_0^2 + Y_0^2 + Z_0^2}}. \quad 9.$$

## 2. Установка программы

*Внимание, перед началом работы убедитесь, что на компьютере установлен пакет Microsoft Framework NET 4.0<sup>2</sup>, необходимы для работы программы.*

Программа **MagModel2D 1.5.2** не требует установки. Распакуйте архив с программой в любое удобное для Вас место.

## 3. Интерфейс программы

Интерфейс программы включает в себя следующие блоки (рис. 3.1):

1. Задание параметров профиля.
2. Задание модели (ввод узловых точек тел).
3. Задание нормального магнитного поля.
4. Выбор рассчитываемых компонент.
5. Вывод результатов.
6. Отображение графика.
7. Отображение модели.
8. Информационная строка.
9. Управляющие кнопки.
10. Информация об амплитуде аномальных полей.

---

<sup>2</sup> Распространяемый пакет Framework NET 4.0 можно скачать на сайте [центра загрузки Microsoft](http://www.microsoft.com/downloads/ru-ru/confirmation.aspx?FamilyID=0a391abd-25c1-4fc0-919f-b21f31ab88b7) или напрямую по ссылке <http://www.microsoft.com/downloads/ru-ru/confirmation.aspx?FamilyID=0a391abd-25c1-4fc0-919f-b21f31ab88b7>.

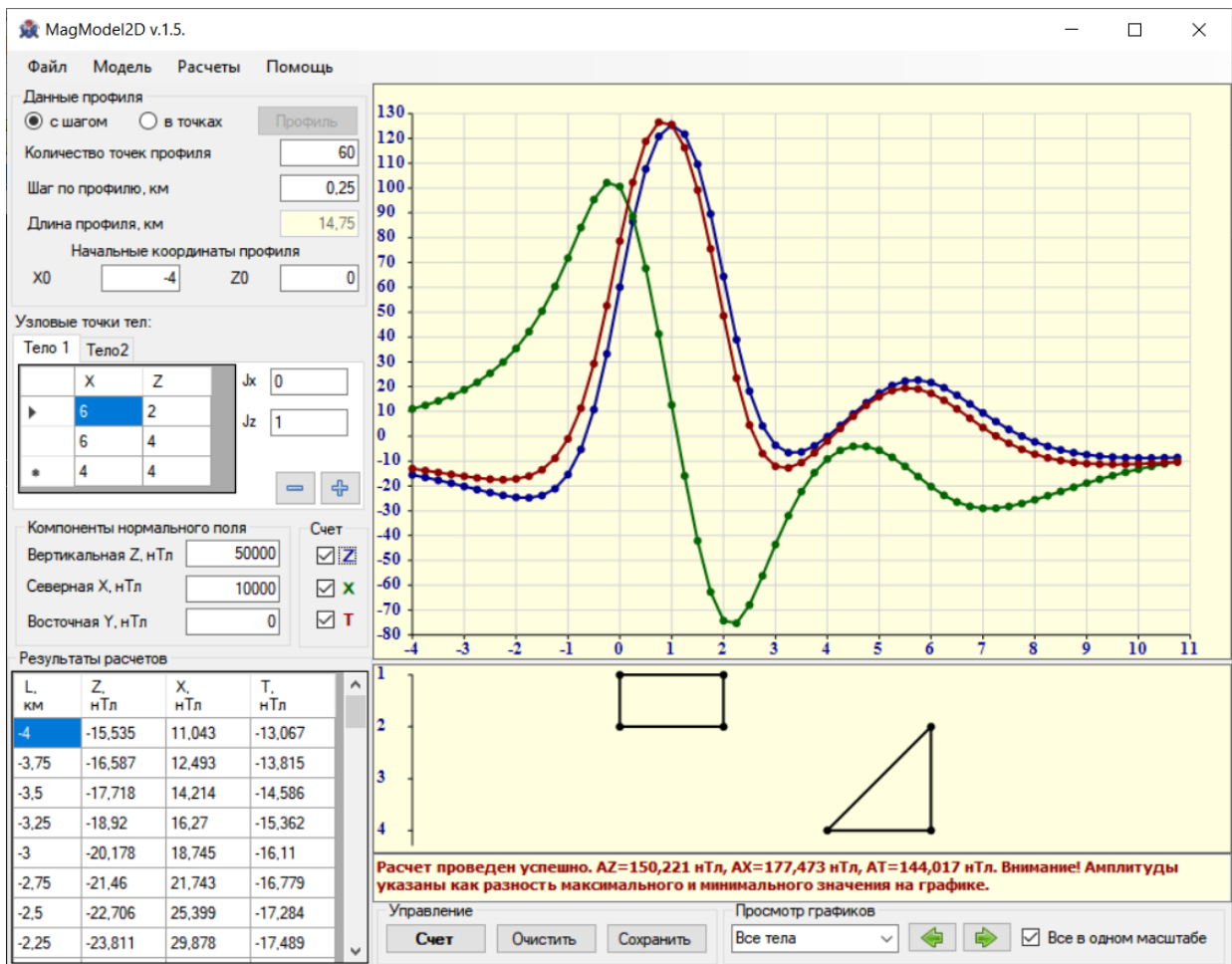


Рис. 3.1. Общий вид программы MagModel2D.

## 4. Главное меню

Главное меню программы имеет следующую структуру.

### Файл:

- **Сохранить результат** – сохранение расчетных данных в текстовый файл, с разделителями в виде пробелов.
- **Загрузить модель** – открыть файл модели (текстовый файл с расширением \*.mod).
- **Сохранить модель** – сохранить модель в текстовой файл.
- **Настройки.**
- **Перезапуск программы.**
- **Выход.**

### Модель:

- **Добавить тело** – добавляет тело в модель и соответственно вкладку «Тело N».
- **Удалить тело** – удаляет последний многоугольник из модели.
- **Тестовая модель 1.**
- **Тестовая модель 2.**

### Расчет:

- **Счет** – расчет аномального магнитного поля по заданной модели.
- **Калькулятор намагниченности** – вызывает программу Namag для расчета индуктивной и суммарной намагниченности по магнитной восприимчивости, нормальному полю и остаточной намагниченности.
- **Просмотр аномалий от отдельных тел** – вызов формы просмотра аномалий от отдельных тел модели.

**Помощь:**

- **Лицензия** – открывает текст пользовательского соглашения через редактор «Блокнот».
- **Руководство пользователя** – вызывает руководство пользователя через редактор, ассоциированный с файлами типа \*.rtf.
- **О программе.**
- **Что нового?** – Список обновлений по сравнению с прошлой версией

## 5. Работа с моделью

Для начала работы с программой необходимо задать расчетную модель. Модель представляет собой один или несколько произвольных многоугольников, которые задаются координатами вершин и магнитными свойствами ( $J_x$ ,  $J_z$ ). Число вершин в многоугольнике не ограничено. Для определения координат вершин многоугольника используется ортогональная система координат  $xz$ , где ось  $x$  направлена вправо, а ось  $z$  – вниз. **Обход вершин осуществляется строго по часовой стрелке** (рис. 5.2.)!!! Координаты тела вводятся в таблицу в области модели на вкладке с соответствующим заголовком (рис. 5.1.).

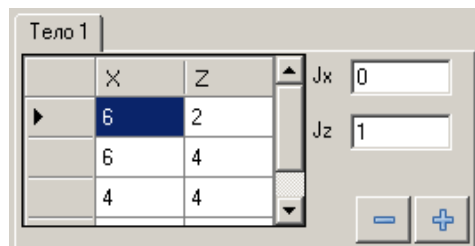


Рис. 5.1. Задание модели.

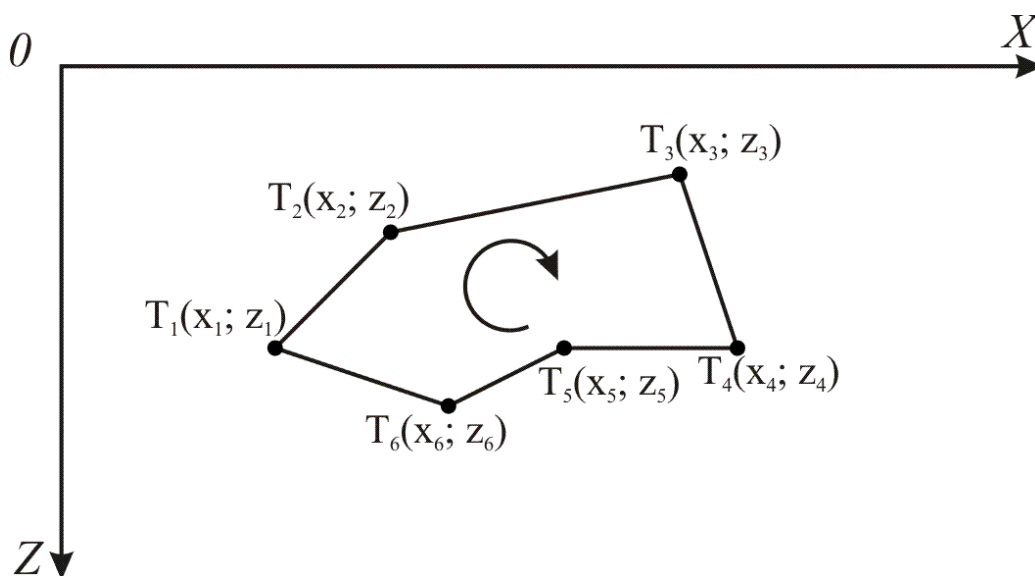


Рис.5.2. Задание модели.

Добавление строк таблицы происходит автоматически при редактировании последней строки таблицы с координатами вершин.

Каждый многоугольник характеризуется вектором намагничивания  $J$ , который задается при помощи компонент  $J_x$  и  $J_z$ , вводимых в соответствующие окна.

Добавление тела в модель осуществляется кнопкой «+», удаление – кнопкой «-». Удаление тел осуществляется по порядку, от последнего к первому. Переключение между телами модели производится вкладками «Тело 1», «Тело 2» и т.д. Кнопки «+» и «-» постоянно находятся на первой неудаляемой вкладке.

### 5.1. Задание модели с помощью файла

Модель также можно задать путем подготовки текстового файла с расширением \*.mod. Такой файл можно создать в любом текстовом редакторе, например, в Блокноте (Notepad). Программа также поддерживает и другие расширения текстовых файлов, в том числе, \*.txt, однако, по умолчанию установлен \*.mod.

Структура записи такого текстового файла выглядит следующим образом:

```
 $N^1$   
 $J_x^1 J_z^1$   
 $X_1^1 Z_1^1$   
 $X_2^1 Z_2^1$   
... ..  
 $X_n^1 Z_n^1$   
 $N^2$   
 $J_x^2 J_z^2$   
 $X_1^2 Z_1^2$   
 $X_2^2 Z_2^2$   
... ..  
 $X_n^2 Z_n^2$   
... ..  
 $N^n$   
 $J_x^n J_z^n$   
 $X_1^n Z_1^n$   
 $X_2^n Z_2^n$   
... ..  
 $X_n^n Z_n^n$ 
```

Где  $N^n$  – число вершин,  $J_x^n J_z^n$  - компоненты вектора намагниченности и  $X_n^n Z_n^n$  – координаты вершин  $n$ -го многоугольника. Разделителем является пробел. Десятичный разделитель определен системой, на которой в данный момент используется программа!

Открытие файла модели осуществляется через меню *Файл>Загрузить модель*.

## 5.2. Сохранение модели в файл

Заданную модель можно сохранить в текстовый файл с расширением \*.mod. Десятичный разделитель, который будет использован при записи файла, определен системой, на которой в данный момент используется программа!

Процедура сохранения вызывается через главное меню *Файл⇒Сохранить модель*.

## 6. Параметры профиля

### 6.1. Равномерная сеть без рельефа

Если требуется произвести расчет по равномерной сети, без задания рельефа (или рельефом можно пренебречь), то целесообразно выбрать в разделе «*Данные профиля*» (рис.4.) пункт «с шагом». После чего необходимо задать количество точек профиля и шаг по профилю в километрах. Длина профиля рассчитается автоматически. Также необходимо указать начальную точку профиля по осям  $x$  и  $z$ . Напомним, что ось  $x$  направлена вправо, а ось  $z$  – вниз.

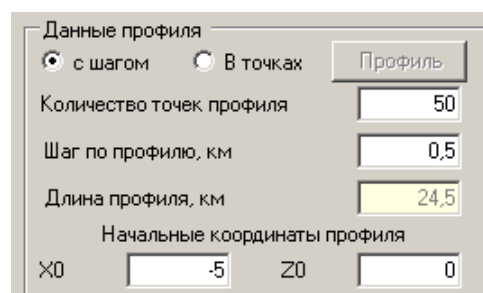


Рис. 6.1. Поля ввода данных профиля.

### 6.2. Расчет в произвольных точках с рельефом

Произвольные точки задаются двумя координатами  $x$  и  $z$ , что позволяет учитывать рельеф. Для этого формируется текстовый файл с расширением \*.rel и следующей структурой:

$$\begin{matrix} X_1^2 & Z_1^2 \\ X_2^2 & Z_2^2 \\ \dots & \dots \\ X_n^2 & Z_n^2 \end{matrix}$$

Координатная система сохраняется прежней ось  $x$  направлена вправо, а ось  $z$  – вниз.

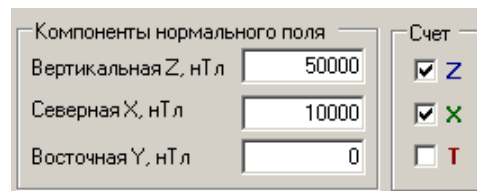
Для загрузки файла необходимо поставить переключатель в пункт «В точках» и далее нажать кнопку профиль, которая станет активной.



## 7. Задание нормального поля

Нормальное магнитное поле Земли задается тремя ортогональными компонентами X, Y, Z – северной, восточной и вертикальной соответственно. Расчет нормального поля можно осуществить в доступных программах по принятым моделям, например, программа Geomag<sup>3</sup> предназначена для расчета нормального поля по модели IGRF.

Нормальное поля играют роль только при расчете Т-аномалий, а при расчетах аномальных полей  $Z_a$  и  $X_a$ , его задание не обязательно (см. раздел 1).



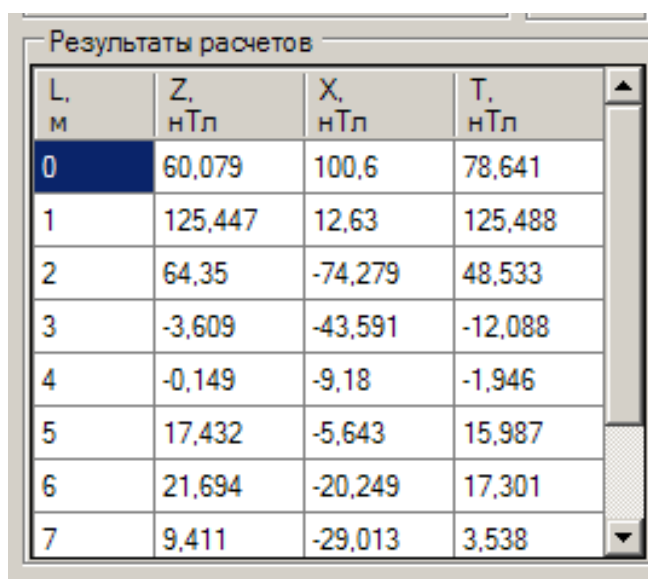
Компоненты нормального поля		Счет
Вертикальная Z, нТл	50000	<input checked="" type="checkbox"/> Z
Северная X, нТл	10000	<input checked="" type="checkbox"/> X
Восточная Y, нТл	0	<input type="checkbox"/> T

Рис. 7.1. Поля ввода компонент нормального поля

## 8. Решение прямой задачи магниторазведки

1. Задайте модель (согласно п.4).
2. Введите параметры профиля (согласно п.5)..
3. Задайте компоненты нормального поля (согласно п.6)..
4. Выберите рассчитываемые составляющие аномального поля в разделе «Счет» (рис. 4).
5. Нажмите счет.

Результаты расчетов, а также x-координата точек расчета, выводятся в таблицу (рис. 8.1.). Автоматически строятся графики выбранных компонент, рассчитываются их амплитуды, выводится модель. Амплитуды компонент аномального поля рассчитываются как разность максимального и минимального значений.



L, м	Z, нТл	X, нТл	T, нТл
0	60,079	100,6	78,641
1	125,447	12,63	125,488
2	64,35	-74,279	48,533
3	-3,609	-43,591	-12,088
4	-0,149	-9,18	-1,946
5	17,432	-5,643	15,987
6	21,694	-20,249	17,301
7	9,411	-29,013	3,538

Рис.8.1. Результаты расчетов.

<sup>3</sup> Программу Geomag можно скачать на страничке <http://www.ngdc.noaa.gov/IAGA/vmod/igrf.html> .

## 8.1. Сохранение результатов расчетов

Для сохранения результатов в текстовый файл, можно воспользоваться либо кнопкой «Сохранить» под таблицей результатов, либо главным меню *Файл=>Сохранить результат*.

Результаты расчетов целиком сохраняются в текстовый файл (рис.8.2). Разделитель между значениями – пробел. Разделитель целой и дробной части определен системой.

```
3 - Блокнот
Файл  Правка  Формат  Вид  Справка
X Z, нТл X, нТл T, нТл
0 60,079 100,6 78,641
1 125,447 12,63 125,488
2 64,35 -74,279 48,533
3 -3,609 -43,591 -12,088
4 -0,149 -9,18 -1,946
5 17,432 -5,643 15,987
6 21,694 -20,249 17,301
7 9,411 -29,013 3,538
8 -2,231 -25,598 -7,208
9 -7,432 -18,869 -10,988
Telo 1
0 -4,272 8,971 -2,429
1 -3,253 12,63 -0,713
2 0 17,35 3,403
3 7,49 21,802 11,62
4 20,468 21,568 24,3
5 34,06 9,674 35,296
6 34,107 -11,793 31,132
7 18,753 -23,92 13,697
8 4,965 -22,314 0,492
9 -1,754 -16,635 -4,982
Telo 2
0 64,35 91,629 81,07
1 128,7 0 126,201
2 64,35 -91,629 45,131
3 -11,1 -65,393 -23,709
4 -20,616 -30,748 -26,246
5 -16,628 -15,316 -19,309
6 -12,413 -8,456 -13,831
7 -9,342 -5,093 -10,159
8 -7,196 -3,284 -7,7
9 -5,678 -2,234 -6,006
```

Рис. 8.2. Файл результатов.

Для сброса текущей модели и расчетов нажмите кнопку «Очистить».

## 9. Просмотр аномальных полей от отдельных тел

Программа позволяет просматривать аномальные поля от отдельных тел. Для этого необходимо выбрать в выпадающем списке, в разделе «Просмотр графиков» (рис.9.1.), искомое тело.



Рис. 9.1. Окно просмотра аномальных полей от отдельных тел.

Между телами модели можно переключаться путем выбора необходимой модели в упомянутом выпадающем списке или с помощью кнопок перехода к следующему и предыдущему телу « $\leftarrow$ » и « $\rightarrow$ ». Компоненты поля включаются и выключаются с помощью флажков Z, X, T.

В окне «Амплитуда» приведены амплитуды аномальных полей от каждого тела, рассчитанные как разность максимального и минимального значения поля.

Сохранить отображенные данные в текстовый файл можно путем нажатия кнопки «Сохранить». Кнопка «Закреть» закрывает форму просмотра и возвращает пользователя к основной форме программы.

## 10. Настройки программы

В версии 1.2. предусмотрены некоторые возможности пользовательской настройки программы. Диалоговое окно «Настройки» (рис.11.1.) пользователь может вызвать через главное меню: *Файл*⇒*Настройки*.

Пользователь может настраивать пути папок, куда по умолчанию будут размещаться файлы модели, файлы рельефа и файлы результатов расчетов и параметры нормального поля, которые Программа загружает при старте.

Если отмечен флажок «Только для текущего сеанса» программа не сохранит изменения после перезапуска.

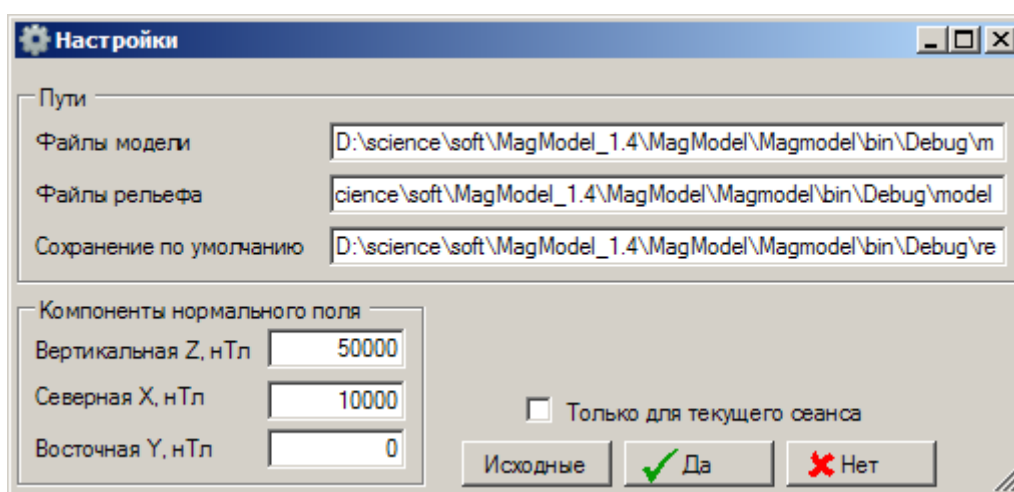


Рис. 11.1. Диалоговое окно настроек программы.

В разделе «Компоненты нормального поля» можно задать компоненты нормально магнитного поля Земли, которые будут загружаться по умолчанию при запуске программы.

Кнопка «Исходные» возвращает настройки определенные в программе по умолчанию.

## 11. Дополнительные возможности

### 11.1. Калькулятор намагниченности

Для расчета параметров компонент вектора намагниченности  $J_z$  и  $J_x$  тел модели можно воспользоваться Калькулятором намагниченности (программа *Namag*). Вызвать калькулятор можно через меню: *Счет* ⇒ *Калькулятор намагниченности*. Интерфейс Калькулятора намагниченности показан на рис.10.1.

Чтобы рассчитать индуктивную и суммарную намагниченность необходимо ввести значение магнитной восприимчивости  $\alpha$ ,  $\times 10^{-5}$  ед. СИ, компоненты нормального поля, а также компоненты вектора остаточной намагниченности.

Индуктивная намагниченность определяется по формулам

$$J_x^i = \frac{\alpha X_0}{\mu_0}, \quad J_z^i = \frac{\alpha Z_0}{\mu_0},$$

а суммарная

$$J_x^\Sigma = J_x^i + J_x^n, \quad J_z^\Sigma = J_z^i + J_z^n.$$

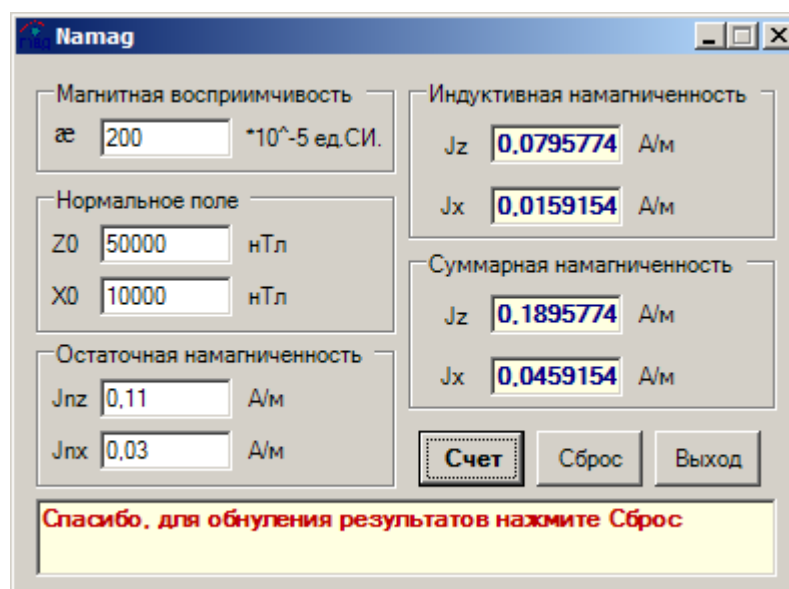


Рис. 11.1. Внешний вид калькулятора намагниченности