

**ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ
ДЛЯ СИСТЕМ ДАЛЬНЕЙ РАДИОНАВИГАЦИИ**

А. М. Алешечкин, О. А. Тронин

Сибирский федеральный университет
Российская Федерация, 660074, г. Красноярск, ул. Киренского, 28
E-mail: AAleshechkin@sfu-kras.ru

Рассматривается проблема повышения точности определения координат объектов по сигналам наземных радионавигационных систем (РНС) дальней радионавигации. Примерами таких систем являются система глобального действия «Омега» ОНЧ-диапазона, система НЧ-диапазона «Лоран-С», а также системы среднего частотного диапазона «Спрут», «Брас» и др. Поскольку данные системы работают в диапазоне сверхдлинных, длинных и средних волн, на результаты измерений радионавигационных параметров (разности дальностей, квазидальности и т. д.) оказывают влияние характеристики подстилающей поверхности, в результате чего измеренные значения этих параметров могут существенно отличаться от своих истинных значений. К характеристикам подстилающей поверхности относят удельное сопротивление и диэлектрическую проницаемость. В случае, если удастся обеспечить точное определение значений характеристик подстилающей поверхности, можно, используя известные методы, рассчитать поправки к измеренным значениям радионавигационных параметров. Далее измеренные значения радионавигационных параметров могут быть скорректированы, что позволит повысить результирующую точность определения места объектов.

Для определения проводимости и диэлектрической проницаемости можно использовать аппаратуру электромагнитных методов (ЭММ) определения параметров подстилающей поверхности, разработанную в г. Красноярске отделом геофизики ОАО «Алмазолотоавтоматика» при участии кафедры радиоэлектронных систем Сибирского федерального университета. Основное назначение данной аппаратуры состоит в проведении разведки полезных ископаемых.

Аппаратура обеспечивает измерение в диапазоне частот, соответствующих рабочим диапазонам исследуемых РНС. Это позволяет проводить измерения параметров подстилающей поверхности на значениях рабочих частот РНС, а также способствует более точному определению параметров подстилающей поверхности. Приведены математические выражения, связывающие параметры подстилающей поверхности с измеренными значениями составляющих поля, а также номограмма, по которой можно определять значения проводимости и диэлектрической проницаемости по результатам измерений, выполненных прибором.

Дано описание рабочей программы, выполняющей расчет параметров подстилающей поверхности, предназначенной для выполнения на персональном компьютере в среде операционной системы Microsoft Windows XP/7. Разработанная программа обеспечивает автоматизированный ввод результатов измерений с измерительного блока прибора и расчет значений параметров подстилающей поверхности. Полученные результаты расчета выводятся в файл, который в дальнейшем может быть считан и обработан при помощи офисной программы Microsoft Excel.

Делается вывод о возможности использования разработанного прибора и программы для определения параметров подстилающей поверхности, требуемых для повышения точности решения задач определения места по сигналам РНС дальней навигации, работающих в низкочастотной части радиодиапазона. Приведены и другие возможные области применения описанного прибора как в технике связи, так и по своему прямому назначению – в электроразведке.

Ключевые слова: радионавигационная система, измерения, подстилающая поверхность, диэлектрическая проницаемость, удельное сопротивление, удельная проводимость.

**ACCURACY INCREASE OF DETERMINING NAVIGATION PARAMETERS
FOR LONG-RANGE RADIONAVIGATION SYSTEMS**

A. M. Aleshechkin, O. A. Tronin

Siberian Federal University
28, Kirenskogo Str., Krasnoyarsk, 660074, Russian Federation
E-mail: AAleshechkin@sfu-kras.ru

In the given article the problem of increasing the objects coordinates' determination accuracy from ground-based long-range radio navigation systems (RNS) was considered. The examples of such systems are the system of global coverage "Omega", operating in VLF-band, the system of LF-band "Loran-C", as well as MF-band systems "Sprut", "Bras", and others. As these systems operate in a low-frequency part of the radio spectrum, the results of measurements of the navigation parameters (differences of ranges, quasi-ranges, etc.) are influenced by characteristics of the underlying surface, resulting that the measured values of these parameters may vary significantly from their true values. The characteristics of the underlying surface include such parameters as resistivity and dielectric permittivity. If it is possible to provide a precise definition of the values of the characteristics of the underlying surface, it will be possible to calculate corrections to the measured values of the navigation parameters using known methods. Further, the measured values of the navigation parameters can be adjusted, which will increase the overall accuracy of determining the object's coordinates.

To determine the conductivity and the dielectric permittivity electromagnetic methods (EMM) equipment to determine the parameters of the underlying surface can be used. This equipment was developed in Krasnoyarsk Department of Geophysics OJSC "Almazolotoavtomatika" with the participation of the Department of radio Electronic systems, of Siberian Federal University. The main purpose of this equipment is mineral exploration.

The equipment provides measurements in the frequency band, corresponding to the operating band of the investigated radio-navigation systems. It allows to measure parameters of the underlying surface on the RNS operating frequencies values, and contributes to a more precise determination of the underlying surface parameters. In the article the mathematical expressions relating the parameters of the underlying surface with the measured values of the components of the field were presented, as well as a monogram, which can determine the values of conductivity and dielectric permittivity from measurements, made of the device.

The description of the working program that performs the calculation of the parameters of the underlying surface, designed to run on a personal computer in the operating system environment Microsoft Windows XP/7/8 was given. The developed program provides automated input of measurement data from the measuring unit and the calculation of the underlying surface parameters values. The calculated results are output to a file, which can later be read and processed using Microsoft Office Excel program.

At the end of the article the conclusion about the possibility of using the developed tool to determine the parameters of the underlying surface, required to improve the accuracy of coordinates determination using long-range RNS, operating in low-frequency part of the radio spectrum is given. The other possible applications of the device described as in communication technology, and for its intended purpose – in the electric prospecting are shown.

Keywords: radio navigation systems, measurements, underlying surface, dielectric permittivity, specific resistivity, specific conductivity.

Введение. Несмотря на широкое распространение спутниковых радионавигационных систем наземные средства и системы радионавигации продолжают играть важную роль в координатно-временном обеспечении морских объектов.

Наиболее экономически оправданным в морских условиях является использование систем дальней радионавигации (СДН) [1], поскольку данные системы обеспечивают наибольшую площадь рабочей зоны. Для обеспечения наибольшей дальности действия и упрощения построения СДН как правило обеспечивают работу в разностно-дальномерном режиме, а излучение сигналов осуществляется в диапазоне километровых или мириаметровых волн. Все СДН работают на расстояниях до нескольких тысяч километров, при этом требуемая дальность действия систем обеспечивается при помощи поверхностных волн.

Виды радионавигационных систем дальней навигации. Основными элементом СДН являются сети синхронизированных между собой опорных станций (ОС), располагаемых в точках с известными координатами, при этом передатчики станций как правило синхронизированы со шкалой всемирного координированного времени UTC.

К системам дальней навигации относят СДН Loran-C и Omega [2]. Основные технические характеристики данных СДН приведены в таблице [1].

Система Loran-C является импульсно-фазовой СДН, основу которой составляют цепочки из одной

ведущей (М) и двух-четырех ведомых (W, X, Y, Z) ОС, работающих в диапазоне длинных волн, где значение несущей частоты составляет около 100 кГц. Зоны действия цепочек перекрывают основные транс-океанские маршруты, а также прибрежные районы ряда стран. Импульсный характер сигналов ОС используется для разрешения неоднозначности фазовых измерений. Российским аналогом СДН Loran-C является система «Чайка».

Система Omega – фазовая СДН, основу которой составляют восемь независимых ОС (А, В, С, ..., Н), расположенных так, чтобы получить глобальную зону действия (рис. 1). Глобальность системы достигается за счет использования диапазона сверхдлинных волн (значения несущих частот составляют от 11 до 14 кГц), которые огибают Землю и слабо поглощаются при распространении.

Помимо СДН в радионавигационном плане Российской Федерации указывается на необходимость использования радионавигационных систем (РНС) ближней навигации [3; 4]. Данные системы работают в средневолновом (СВ) диапазоне. Примерами СВ РНС являются система «Брас», которая выпускалась для морского обеспечения, начиная с 1970-х годов, а также РНС «Спрут», разрабатываемая в Сибирском федеральном университете совместно с АО «НПП «Радиосвязь» г. Красноярск. Данная система обеспечивает дальность действия до 600 км при работе в частотном диапазоне 1,6–2,2 МГц [5–8].

Основные технические характеристики СДН

Параметр	Loran-C	Omega
Дальность действия днем (ночью), тыс. км	2,2–2,6	Глобальная
Погрешность линии положения ($2\sigma_{\text{ЛП}}$), км	0,2 (0,6)	1,85 (3,7)
Погрешность определения местоположения ($2\sigma_{\text{М}}$), км: прогнозируемая повторяющаяся	0,46 0,018–0,09	3,7–7,4 3,7–7,4
Возможное число измерений за 10 с	100–200	1
Возможность разрешения многозначности	Имеется	Требуется знание местоположения с точностью $\pm 66,7$ км
Диапазон частот, кГц	100	10–14
Число частотно-кодовых каналов	24	24
База системы, тыс. км	0,9–1,5	9–15

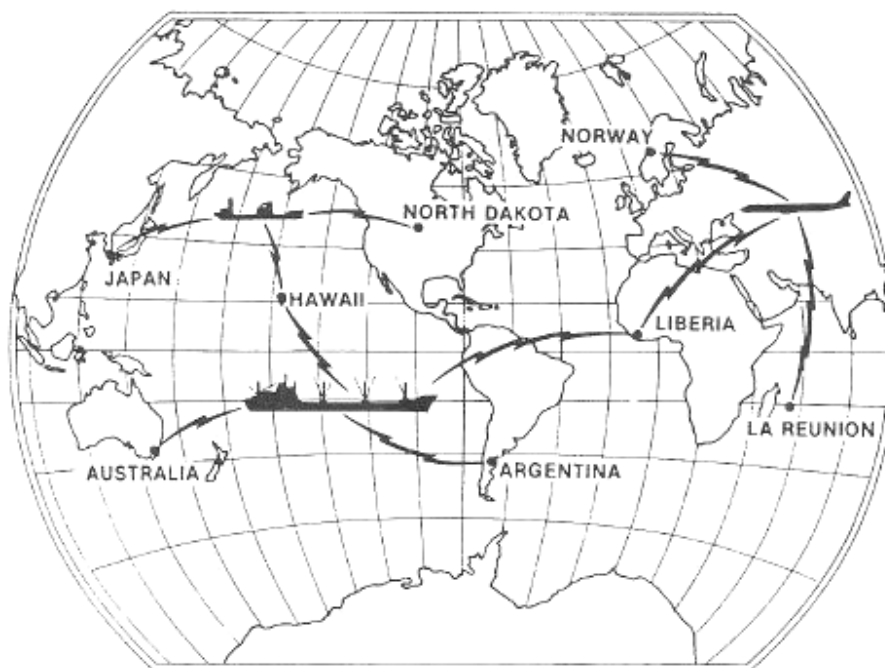


Рис. 1. Расстановка опорных станций СДН «Омега»

Необходимость учета параметров подстилающей поверхности в РНС. Недостатком рассмотренных систем является то, что работа в перечисленных диапазонах СДВ, ДВ и СВ приводит к появлению дополнительной погрешности измерений, обусловленной влиянием подстилающей поверхности [2; 9]. Данная составляющая погрешности может существенно исказить результаты измерений радионавигационных параметров и, как следствие, координат определяющихся объектов.

Для определения поправок к измеренным значениям радионавигационных параметров (РНП) требуется учет таких параметров подстилающей поверхности, как удельная проводимость σ и диэлектрическая проницаемость ϵ подстилающей поверхности. Методики учета данных параметров при расчете поправок к измеренным значениям РНП описаны в соответствующей литературе, например в [10], и могут быть использованы в программах вторичной обработки результатов радионавигационных измерений, выполняемых СДН или РНС.

Аппаратура электромагнитных методов. Рассмотрим аппаратуру определения параметров подстилающей поверхности, которая может быть использована для определения проводимости и диэлектрической проницаемости морской воды или участков суши, лежащих на трассе распространения радиоволн.

Аппаратура электромагнитных методов (ЭММ), основанная на применении гармонических электромагнитных полей, разработана отделом геофизики ОАО «Алмаззолотоавтоматика» совместно с кафедрой радиоэлектронных систем Сибирского федерального университета [11]. В настоящее время выпуск и модернизацию аппаратуры продолжает Сибирский федеральный университет. Измерения в частотном диапазоне от 19,5 Гц до 2,25 МГц могут проводиться с помощью следующих комплексов аппаратуры ЭММ:

- комплекс аппаратуры низкочастотной (КАН-ЭММ) – диапазон частот $19,5\text{--}10 \cdot 10^3$ Гц;
- комплекс аппаратуры среднечастотной (КАС-ЭММ) – $(20\text{--}160) \cdot 10^3$ Гц (рис. 2);
- комплекс аппаратуры высокочастотной (КАВ-ЭММ) – $(281\text{--}2250) \cdot 10^3$ Гц.

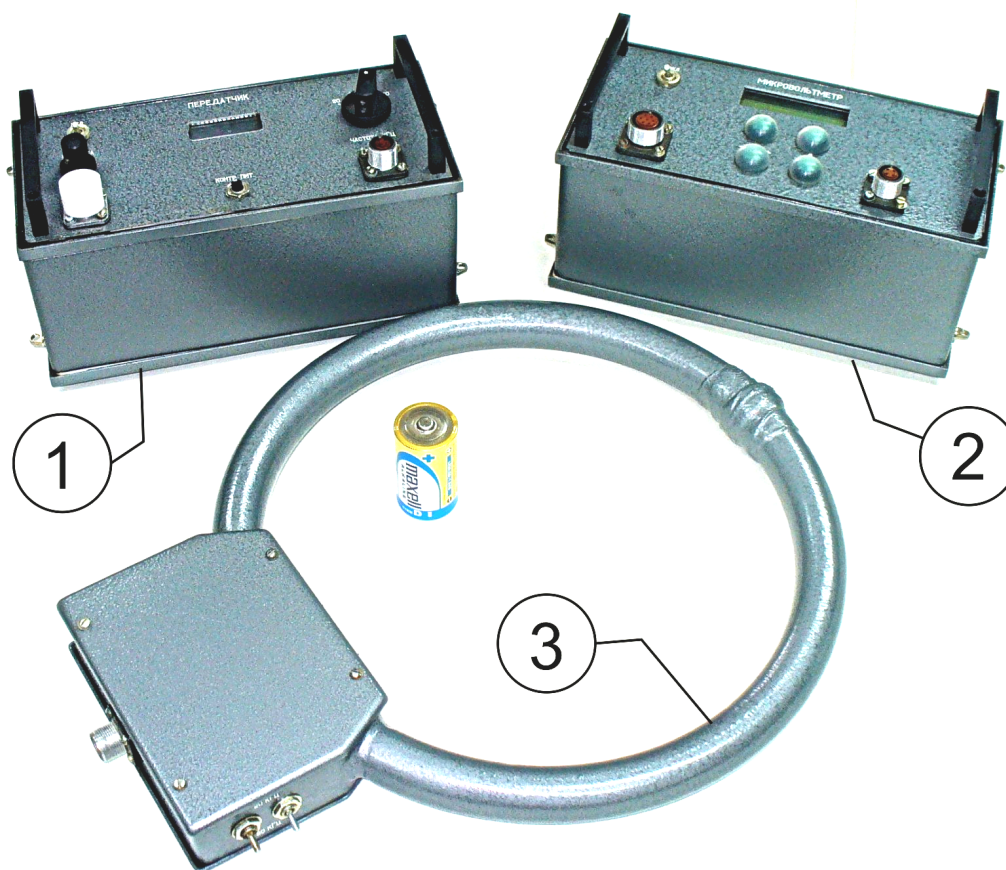


Рис. 1. Комплекс аппаратуры среднечастотной КАС-ЭММ (20–160 кГц):
1 – передатчик; 2 – микровольтметр; 3 – передающая (приемная) антенна

Принцип действия аппаратуры ЭММ. Принцип работы аппаратуры ЭММ состоит в том, что в исследуемой среде при помощи подключенного к антенне генератора создается гармоническое электромагнитное поле, характер распространения которого зависит от электромагнитных свойств среды. Источником поля является передающая магнитная антенна. С помощью приёмной антенны, расположенной на расстоянии r от передающей, измеряются последовательно во времени амплитуды вертикальной h_z и продольной h_r составляющих магнитного поля, а также разность их фаз $\Delta\varphi$. При дополнении аппаратуры угломерным устройством могут быть напрямую измерены следующие элементы эллипса поляризации магнитного поля в точке приема: большая полуось эллипса поляризации a , малая полуось эллипса поляризации b и угол наклона большой полуоси эллипса поляризации магнитного поля к горизонту Ψ . Используя измеренные параметры h_z , h_r , $\Delta\varphi$ или a , b , Ψ , можно определить диэлектрическую проницаемость среды ϵ и удельную электрическую проводимость σ (или удельное электрическое сопротивление $\rho = 1/\sigma$).

Благодаря индуктивному (бесконтактному) способу возбуждения и приёма электромагнитного поля, аппаратура позволяет выполнять полевые работы практически в любое время года и независимо от состояния поверхности исследуемых площадей (снежный

и ледяной покровы, вода, мёрзлые породы, скальные грунты, крупноглыбовые осыпи, сухие пески и т. п.) в тайге, тундре, пустыне и на морских акваториях.

Расчет проводимости и диэлектрической проницаемости. Известно несколько вариантов раздельного определения величин ρ и ϵ путем одновременного изучения двух различных характеристик электромагнитного поля (ЭМП) [12; 13]. Различные варианты (и соответствующие им измерительные установки) имеют разную разрешающую способность и сложность построения аппаратуры [14]. При проведении измерений с помощью комплексов КАС-ЭММ или КАВ-ЭММ целесообразно использовать вариант определения ρ и ϵ по измерениям угла наклона к горизонту большой полуоси эллипса поляризации магнитного поля Ψ и отношения амплитуд напряжённостей магнитного поля, соответствующих большой полуоси эллипса поляризации A к его малой полуоси B (A/B), которое равно отношению соответствующих магнитных чисел (a/b). Магнитные числа a , b и угол Ψ рассчитываются по следующим формулам [15]:

$$a = \sqrt{\frac{1}{2} \left[|h_z|^2 + |h_r|^2 + \sqrt{(|h_z|^2 + |h_r|^2)^2 - 4|h_z|^2|h_r|^2 \sin^2 \Delta\varphi} \right]};$$

$$b = \sqrt{\frac{1}{2} \left[|h_z|^2 + |h_r|^2 - \sqrt{(|h_z|^2 + |h_r|^2)^2 - 4|h_z|^2|h_r|^2 \sin^2 \Delta\varphi} \right]};$$

$$\Psi = \frac{1}{2} \operatorname{arctg} \frac{2|h_z| \cdot |h_r| \cos \Delta\varphi}{|h_r|^2 - |h_z|^2},$$

где $|h_z|$ и $|h_r|$ – модули магнитных чисел вертикальной и радиальной составляющих поля магнитного диполя; $\Delta\varphi$ – разность их фаз [15; 16].

Магнитные числа h_z и h_r являются сложными функциями волнового числа среды k , математические выражения для которых приведены в [15]. В свою очередь, волновое число среды k зависит от σ и ϵ следующим образом [16]:

$$k = \sqrt{\omega^2 \cdot \epsilon_a \cdot \mu_a \cdot \left(i \frac{\sigma}{\omega \cdot \epsilon_a} - 1 \right)},$$

где $\omega = 2\pi f$ – угловая частота; f – частота поля; $\epsilon_a = \epsilon \cdot \epsilon_0$ – абсолютная диэлектрическая проницаемость среды; ϵ_0 – диэлектрическая постоянная; ϵ – диэлектрическая проницаемость среды; $\mu_a = \mu \cdot \mu_0$ – абсолютная магнитная проницаемость среды; μ_0 – магнитная постоянная; μ – магнитная проницаемость среды (для немагнитных сред $\mu = 1$, $\mu_a = \mu_0$); $i = \sqrt{-1}$ – мнимая единица.

Сложность данных формул не позволяет получить аналитические выражения для σ и ϵ . Поэтому для их определения используется номограмма, построенная в координатах Ψ и a/b , приведенная на рис. 3. Данная номограмма рассчитана при значении разности потенциалов $r = 2,5$ м и для рабочей частоты $f = 2,25$ МГц.

Применена кусочно-линейная аппроксимация функций номограммы с переменным шагом по аргументу, найденным исходя из заданной погрешности интерполяции на каждом интервале.

Значения функций в узлах интерполяции представлены в программе обработки в виде таблиц. По измененным величинам Ψ и $a/b = A/B$ определяются номера отрезков интерполяции, считываются из таблиц соответствующие границам этих отрезков значения функций и по формуле линейной интерполяции вычисляются $\rho = 1/\sigma$ и ϵ .

Программа расчета параметров подстилающей поверхности. При работе в полевых условиях для автоматической обработки результатов геофизических измерений авторами разработана программа Geo2015, позволяющая автоматически выполнять расчет значений удельного сопротивления ρ , на основе которого определяется удельная проводимость подстилающей поверхности σ , а также диэлектрической проницаемости ϵ .

Разработанная программа обеспечивает ввод исходных результатов измерений по интерфейсу USB-2.0 от приборов КАН, КАС и КАВ и работает под управлением операционной системы Windows XP/7. Вид главного окна разработанной программы приведен на рис. 4.

В начале работы программа предлагает выбрать режим ввода результатов измерений прибора (поле «Главное меню» на рис. 4). При этом предусмотрено 2 режима ввода данных:

- ввод с выбором, при котором пользователю предоставляется возможность выбора файла, который будет считан из прибора и обработан;
- ввод всех данных – в этом случае из прибора вводятся и обрабатываются программой все имеющиеся в его памяти файлы измерений.

Последний пункт главного меню «Выход» используется для выхода из программы Geo2015 по окончании обработки результатов измерений.

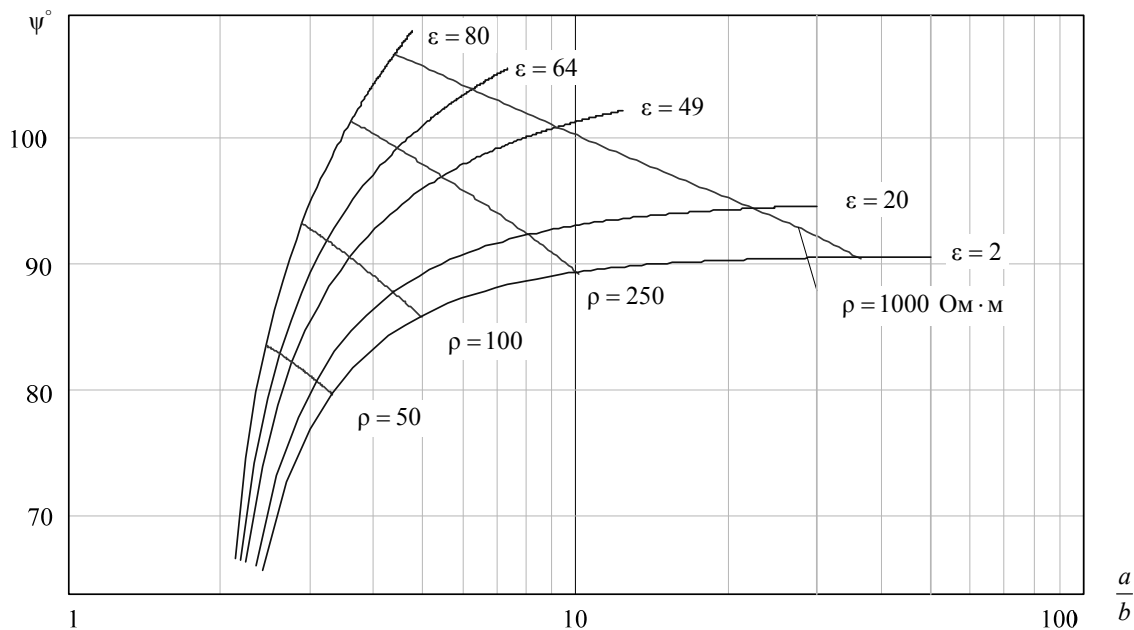


Рис. 3 Номограмма для определения ρ и ϵ для $r = 2,5$ м, $f = 2,25$ МГц

После выбора режима ввода результатов измерений программа предлагает выбрать номер последовательного порта компьютера (выпадающее меню с надписью «COM 9», показанное на рис. 4), который соединен с прибором. Затем в случае удачного подключения и выбора режима ввода с выбором исходных данных осуществляется выбор требуемого для обработки файла с использованием кнопок «Предыдущий», «Следующий» и «Выбрать» для подтверждения выбора. При этом в правой части окна рабочей программы индицируются данные, считанные из заголовков соответствующих файлов, в частности, дата выполнения измерений, номер файла в каталоге прибора, номер профиля наблюдений, рабочая частота измерений и ряд других параметров.

При нажатии кнопки «Выбрать» выбранный файл обрабатывается и результаты обработанных измерений записываются в файл DDMM_NN.csv, где DDMM – день и месяц даты создания файла в каталоге прибора, NN – номер файла в каталоге прибора, csv – расширение файла. Полученный файл может в даль-

нейшем просматриваться и редактироваться в программе Microsoft Office Excel.

Примерный вид полученного файла обработанных результатов измерений приведен на рис. 5.

Полученный файл содержит в своей структуре следующие результаты:

- дата проведения измерений прибором;
- номер файла в каталоге прибора;
- удельное сопротивление ρ , вычисленное в соответствии с приведенными выше формулами (столбец 7 «Ro, Ом*м»), а также ряд других параметров.

Используя полученные значения удельного сопротивления ρ , можно вычислить удельную проводимость $\sigma = 1/\rho$.

В настоящее время авторами проводится доработка программы с целью обеспечения автоматического вычисления значения диэлектрической проницаемости ϵ в приведенной программе geo2015.exe, что позволит в дальнейшем использовать эти параметры для вычисления поправок к значениям РНП.

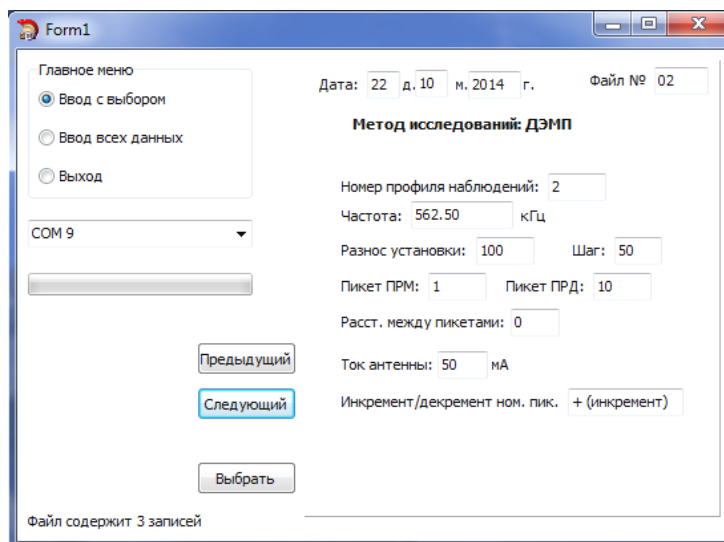


Рис. 4. Окно программы Geo2015

	1	2	3	4	5	6	7
1	Файл номер:	9					
2	Дата:	11.04.15					
3	Метод исследований:	ДЭМП					
4	Номер профиля наблюдений:	1					
5	Частота, Гц:	80000					
6	Разнос установки, м:	100					
7	Шаг наблюдений:	10					
8	Пикет приемника:	1					
9	Пикет передатчика:	10					
10	Расстояние между пикетами, м:	0					
11	Ток антенны, мА:	6010					
12	Номера пикетов:	- (декремент)					
13							
14	Пикет приемника	Пикет перед	Центр уст.	Hz	Hr	Hz/Hr	Ro, Ом*м
15	1	10	5.5	100.62	146.8	0.685	204.8
16	0	9	4.5	98.44	144.45	0.681	201.6
17	-1	8	3.5	100.23	151.72	0.661	192
18	-2	7	2.5	98.91	142.42	0.694	211.2
19							

Рис. 5. Вид csv-файла обработанных результатов измерений

Заключение. Таким образом, использование разработанной программы и алгоритмов вычисления электрических параметров подстилающей поверхности σ и ϵ совместно с аппаратурой ЭММ типа КАН (КАС, КАВ) позволяет выполнять расчет поправок к значениям РНП и повысить точность определения координат морских объектов при использовании РНС, работающих в низкочастотной части радиодиапазона.

Следует отметить, что использование описанного прибора КАН не ограничивается радионавигационными системами СДВ, ДВ и СВ. Данный прибор может найти применение в связи, например, при определении параметров подстилающей поверхности в местах размещения передающих и приемных антенн и антенных полей.

Естественно, разрабатываемая программа и приборы КАН-, КАС-, КАВ-ЭММ также могут найти применение и при решении задач разведки полезных ископаемых, для проведения которой они изначально проектировались.

Библиографические ссылки

1. Авиационная радионавигация : справочник / А. А. Сосновский [и др.] ; под ред. А. А. Сосновского. М. : Транспорт, 1990. 264 с.
2. Радионавигационные системы сверхдлинноволнового диапазона / С. Б. Болосин [и др.] ; под ред. П. В. Олянюка, Г. В. Головушкина. М. : Радио и связь, 1985. 264 с. : ил.
3. Радионавигационный план Российской Федерации : утв. приказом № 118 Минпромторга России от 2.09.2008 г. (в ред. приказа Минпромторга России от 31.08.2011 г. № 1177).
4. Основные направления (план) развития радионавигации государств – участников СНГ на 2013–2017 годы : утв. решением Совета глав правительств СНГ об Основных направлениях (плане) развития радионавигации государств – участников СНГ на 2013–2017 годы от 31 мая 2013 г. URL: http://aggf.ru/proekt/zakon/npa_min/minpromtorg/rnprf2013.docx (дата обращения: 14.04.2015).
5. Результаты экспериментальных исследований широкополосной радионавигационной системы средневолнового диапазона / А. М. Алешечкин [и др.] // Гироскопия и навигация. 2009. № 4 (67). С. 46–53.
6. Широкополосная радионавигационная система для морских потребителей / А. М. Алешечкин [и др.] // Современное состояние и проблемы навигации и океанографии («НО-2007») : Тр. шестой Российской науч.-техн. конф. Санкт-Петербург, 2007. С. 232–238.
7. Бортовая станция широкополосной системы морской радионавигации / А. М. Алешечкин [и др.] // Радиолокация, навигация, связь : сб. тр. XIII Междунар. конф. Воронеж, 2007. Т. 3. С. 1932–1942.
8. Имитатор сигналов морской радионавигационной системы / А. М. Алешечкин [и др.] // Современное состояние и проблемы навигации и океанографии («НО-2007») : Тр. шестой Российской науч.-техн. конф. Санкт-Петербург, 2007. С. 228–232.

9. Агафонников А. М. Фазовые радиогеодезические системы для морских исследований М. : Наука, 1979. 164 с.

10. Саломатов Ю. П. Инженерные методы расчета распространения радиоволн вдоль поверхности Земли : учеб. пособие / ИПК СФУ. Красноярск, 2009. 164 с.

11. Аппаратура индуктивных методов переменного гармонического тока для рудной и инженерной геологии / В. И. Иголкин [и др.] // Современные проблемы геологии и разведки полезных ископаемых : материалы науч. конф. Томск : Изд-во Том. политехн. ун-та, 2010. С. 469–474.

12. Лебедев В. Ф., Царегородцев М. Е. Геофизические исследования дражных полигонов и перспективы изучения диэлектрической проницаемости // Колыма. 1983. № 2. С. 28–32.

13. Лебедев В. Ф. Влияние диэлектрической проницаемости на элементы эллипса поляризации поля вертикального магнитного диполя (однородное полупространство) // Опытные-методические исследования по опробованию геофизической аппаратуры, разрабатываемой и выпускаемой НПО «Сибцветметавтоматика» : раздел отчета за 1979 г. / НПО «СибЦМА». 1980. С. 144–148.

14. Тронин О. А. Методы измерения электрических свойств пород земной поверхности // Современные проблемы развития науки, техники и образования : сб. науч. тр. / ИПК СФУ. Красноярск, 2009. С. 225–229.

15. Вешев А. В., Ивочкин В. Г., Игнатъев Г. Ф. Электромагнитное профилирование. Л. : Недра, 1971. 216 с.

16. Якубовский Ю. В., Ренард И. В. Электроразведка. М. : Недра, 1991. 376 с.

References

1. Sosnovskiy A. A. et al. *Aviatsionnaya Radionavigatsiya: spravochnik* [Aviations Radionavigation : reference]. Moscow, Transport Publ., 1990, 264 p.
2. Boloshin S. B., Semenov G. A., Guzman A. S. *Radionavigatsionnye sistemy sverkhdlinnovolnovogo diapazona* [Radio navigation systems of superlong-wave range]. Moscow, Radio and svyaz Publ., 1985, 264 p.
3. *Radionavigatsionnyy plan Rossiyskoy Federatsii. Utverzhden prikazom № 118 Minpromtorga Rossii ot 2.09.2008 v redaktsii prikaza Minpromtorga Rossii ot 31.08.2011 № 1177.* [Radio navigational plan of the Russian Federation. No. 1177 is approved by the order No. 118 of Minpromtorg of Russia of 2.09.2008 in edition of the order of Minpromtorg of Russia of 31.08.2011].
4. *Osnovnye napravleniya (plan) razvitiya radionavigatsii gosudarstv-uchastnikov SNG na 2013 - 2017 gody : Utverzhdeny Resheniem Soveta glav pravitel'stv SNG ob Osnovnykh napravleniyakh (Plane) razvitiya radionavigatsii gosudarstv-uchastnikov SNG na 2013–2017 gody ot 31 maya 2013 goda.* [The main directions (plan) of development of radio navigation of the State Parties of the CIS for 2013 – 2017. Are approved by the Decision of Council of heads of governments of the CIS on the Main directions (Plan) of development of radio navigation of the State Parties of the CIS for 2013 – 2017 of may 31, 2013]. (In Russ.) Available at: <http://aggf.ru/proekt/>

zakon/npa_min/minpromtorg/rnprf2013.docx. (accessed 14.04.2015).

5. Aleshechkin A. M., Bondarenko V. N., Kokorin V. I. [Results of pilot studies of broadband radio navigational system of mediumwave range]. *Giroskopiya i navigatsiya*. 2009, No. 4(67), P. 46–53 (In Russ.).

6. Aleshechkin A. M., Bondarenko V. N., Kokorin V. I. [Broadband radio navigational system for sea consumers]. *Trudy 6 Rossiiskoi nauchno-tekhnicheskoy konferentsii "Sovremennoe sostoyanie i problemy navigatsii i okeanografii"* [Proc. 6th. Russian scientific and technical conference "Current state and problems of navigation and oceanography"]. St. Petersburg, 2007, P. 232–238 (In Russ.).

7. Aleshechkin A. M., Bondarenko V. N., Byakov A. G. *Bortovaya stantsiya shirokopolosnoy sistemy morskoy radionavigatsii* [Onboard station of broadband system of sea radio navigation]. *Sbornik trudov 13 Mezhdunarodnoy Konferentsii "Radiolokatsiya, navigatsiya, svyaz"* [Proc. 13th international conference "Radar-location, Navigation, Communication"]. Voronezh, 2007, Vol. 3, Pp. 1932–1942 (In Russ.).

8. Aleshechkin A. M., Bondarenko V. N., Kokorin V. I. [Simulator of signals of sea radio navigational system]. *Trudy 6 Rossiiskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii "Sovremennoe sostoyanie i problemy navigatsii i okeanografii"* [Proc. 6th. Russian scientific and technical conference "Current state and problems of navigation and oceanography"]. St. Petersburg, 2007, P. 228–232 (In Russ.).

9. Agafonnikov A. M. *Fazovye radiogeodezicheskie sistemy dlya morskikh issledovaniy* [Phase radio geodetic systems for sea researches]. Moscow, Nauka Publ., 1979, 164 p.

10. Salamatyov Yu. P. *Inzhenernye metody rascheta rasprostraneniya radiovoln vdol' poverkhnosti Zemli* [Engineering methods of calculation of propagation of radio waves along Earth surface]. Krasnoyarsk, SFU Publ., 2009, 164 p.

11. Igolkin V. I., Lebedev V. F., Khokhlov M. F., Tronin O. A., Aleshechkin A. M. [The equipment of inductive methods of alternating harmonious current for ore and engineering geology]. *Materialy nauchnoy konferentsii "Sovremennye problemy geologii i razvedki poleznykh iskopaemykh"* [Proc. Russian scientific conference "Modern problems of geology and investigation of minerals"]. Tomsk, 2010, P. 469–474 (In Russ.).

12. Lebedev V. F., Tsaregorodtsev M. E. [Geophysical surveys of grounds and prospect of studying of dielectric permeability]. *Kolyma*. 1983, No. 2, P. 28–32 (In Russ.).

13. Lebedev V. F. [Influence of dielectric permeability on elements of an ellipse of polarization of a field of a vertical magnetic dipole (uniform half-space)]. *Opytno-metodicheskie issledovaniya po oprobovaniyu geofizicheskoy apparatury, razraba-tyvaemoy i vypuskaemoy NPO «Sibsvetmetavtomatika» : razdel otcheta za 1979 g.* [Funds Science and Production Association "Sibsvetmetavtomatika", The report "Skilled and methodical researches on approbation of the geophysical equipment developed and released by SPA Sibsvetmetavtomatika for 1979"]. Krasnoyarsk, 1980, P. 144–148.

14. Tronin O. A. [Methods of measurement of electric properties of breeds of a Earth surface]. *Trudy nauchnoy konferentsii "Sovremennye problemy razvitiya nauki, tekhniki i obrazovaniya"* [Proc. Scientific conference "Modern problems of development of science, equipment and education"]. Krasnoyarsk, 2009, P. 225–229 (In Russ.).

15. Veshev A. V., Ivochkin V. G., Ignat'ev G. F. *Elektromagnitoe profilirovanie* [Electromagnetic profiling]. Leningrad, Nedra Publ., 1971, 216 p.

16. Yakubovskiy Yu. V., Renard I. V. *Elektrorazvedka* [Electroinvestigation]. Moscow, Nedra Publ., 1991, 376 p.