

3. Соляков О. В. Спутниковые технологии в автоматизированных системах управления движением судов на внутренних водных путях. Forum of Young Maritime Leaders «Abstracts of papers» / О. В. Соляков // Тез. докл. Форума молодых морских лидеров, 01 июня 2012 г., Центральный морской музей, СПб., Россия. — СПб.: СПбГМТУ, НТОС им. акад. А. Н. Крылова, 2012. — С. 113–116.

4. Зуев В. Ф. Основные аспекты повышения точности местоопределения судов на сложных участках внутренних водных путей / В. Ф. Зуев, О. В. Соляков // Журнал университета водных коммуникаций. — 2012. — № 3. — С. 160–164.

5. Гусев А. К. Требования к спутниковому позиционированию на внутренних водных путях России / А. К. Гусев, О. В. Соляков // Журнал университета водных коммуникаций. — 2012. — № 4. — С. 131–134.

6. Ракитин В. Д. Применение аппроксимации случайных процессов с целью получения координат путевых точек на ВВП / В. Д. Ракитин, О. В. Соляков // Межвузов. сб. науч. тр. ТСС и С на морских внутренних водных путях / под ред. д-ра техн. наук, проф. А. А. Сикарева. — СПб.: СПб.ГУВК, 2005. — С. 142–149.

7. Зуев В. Ф. Методика пост процессорной обработки маршрутов плавания и их корректуры с учетом специфики движения на внутренних водных путях / В. Ф. Зуев, В. Д. Ракитин, О. В. Соляков // Международ. науч.-практ. конф., посвященная 200-летию подготовки кадров для водного транспорта России «Водные пути России: строительство, эксплуатация, управление». — СПб.: СПб.ГУВК, 2009. — С. 95–98.

8. Соляков О. В. Методика создания маршрутов плавания на внутренних водных путях. Региональная информатика (РИ-2012) / О. В. Соляков // Юбилейная XIII Санкт-Петербургская международ. конф. «Региональная информатика (РИ-2012)»: тр. конф. Санкт-Петербургского об-ва информатики, вычислительной техники, систем связи и управления. — СПб., 2013. — С. 250–253.

9. Кодекс внутреннего водного транспорта (КВВТ РФ) от 07.03.2001 № 24-ФЗ.

10. Дмитриев В. И. К вопросу планирования и осуществлению рейса судна на внутренних водных путях (экологическая безопасность) / В. И. Дмитриев, О. В. Соляков // Материалы тезисов VII Российской науч.-техн. конф. «Навигация, гидрография и океанография: приоритеты развития и инновации морской деятельности», 18 — 20 мая 2011 г. — СПб.: ОАО ГНИНГИ, 2011. — С. 78–80.

**УДК 656.61.052:621.396.6:629.12.018(075.8)**

**С. Ф. Шахнов,**  
канд. техн. наук, доц.

**РАСЧЕТ ФУНКЦИИ ОСЛАБЛЕНИЯ ПОЛЯ  
КОНТРОЛЬНО-КОРРЕКТИРУЮЩИХ СТАНЦИЙ  
С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ**

**CALCULATION OF FUNCTION FIELD WEAKENING OF THE CONTROL  
AND CORRECTION STATIONS TAKING INTO ACCOUNT  
THE INFLUENCE OF THE UNDERLYING SURFACE**

*Рассматривается проблематика построения речной локальной дифференциальной подсистемы ГЛОНАСС/GPS автоматизированной системы управления движением судов на внутренних водных путях России. Выявлена основная трудность при расчете топологии поля контрольно-корректирующих станций, составляющих основу локальной дифференциальной подсистемы. Предложена методика расчета функции ослабления и напряженности поля радиоканалов контрольно-корректирующих станций. Определяются границы применимости уравнения Хаффорда для сферической поверхности, используемого для*

вычисления функции ослабления, в средневолновом диапазоне частот. Приводится алгоритм численного решения уравнения для комплексной диэлектрической проницаемости подстилающей поверхности. Оценивается достоверность разработанного алгоритма и качество программного обеспечения путем сравнения полученных результатов с результатами известного аналитического решения и результатов эксперимента. Приводится пример построения зон действия цепочки контрольно-корректирующих станций Енисейского ФБУ на наиболее проблемном участке водного бассейна.

*The article examines the problem of building the river local differential subsystem of the automated control system vessel traffic of GLONASS/GPS on the inland waterways of Russia. Identified the main difficulty in the calculation of the topology of the field of the control and correction stations, which is the basis of the local differential subsystem. The proposed method of calculation of the function of weakening and of the field strength of the radio channels of CCS. Determine the limits of applicability of the equations of Hafford for spherical surface used for computing the function of weakening in the medium frequency range. The algorithm of numerical solution of equations for the complex dielectric permittivity of the underlying surface. Evaluated the accuracy of the developed algorithm and quality software by comparing the obtained results with known analytical solutions and experimental data. Is an example of the construction area chain of CCS of Yenisei FBA on the most problematic area waterways.*

*Ключевые слова: напряженность поля, численные методы, мощность сигнала, функция ослабления, взаимные помехи, комплексная диэлектрическая проницаемость.*

*Key words: field strength, numerical procedure, signal power, the function of weakening, mutual disturbances, complex dielectric permittivity.*

**Р**АЗВЕРТЫВАНИЕ на внутренних водных путях (ВВП) России автоматизированных систем управления движением судов (АСУ ДС) привело к необходимости широкого внедрения современных инфокоммуникационных технологий и систем. Использование в АСУ ДС для мониторинга движения судов только береговых РЛС не обеспечивает требуемой эффективности управления. Для ее повышения на ВВП России предполагается дополнительно использовать автоматизированные идентификационные системы (АИС) [1], работа которых связана с использованием высокоточных систем позиционирования — спутниковых радионавигационных систем (СРНС) ГЛОНАСС/GPS. Однако в речных условиях их радионавигационное поле обязательно должно сопрягаться с полем дифференциальной поправки (ДП).

С экономической точки зрения для создания поля ДП, обеспечивающего высокоточное радионавигационное поле на ВВП России, наиболее перспективным является использование локальных дифференциальных подсистем (ЛДПС) на базе цепочки контрольно-корректирующих станций (ККС), работающих в диапазоне частот морской радиомаячной службы (283,5 — 325 кГц) [2]. Достаточно большая дальность действия станций в этом диапазоне частот (200–400 км) позволяет минимизировать количество ККС, обеспечивающих сплошное покрытие полем ДП водных бассейнов, что особенно актуально в условиях крайней неразвитости инфраструктуры в средних и нижних течениях рек Сибири и Дальнего Востока.

Топология поля ДП подробно рассмотрена в работе [3]. Для решения задачи оптимизации топологии поля ДП с учетом флуктуационного шума в радиоканалах необходимо решать задачу определения напряженности электрического поля  $E$  на границах зоны действия ККС. Кроме того, напряженность электрического поля необходимо определять в расчетных точках судового хода в зоне действия ККС при проверке помехозащищенности радиоканалов в условиях воздействия взаимных и промышленных помех.

В средневолновом диапазоне напряженность поля вертикального диполя  $|E(R)|$ , мкВ/м, в расчетной точке определяется выражением [4]:

$$|E(R)| = -\frac{3 \cdot 10^5 \sqrt{P}}{R} W(R), \quad (1)$$

где  $P$  — мощность передатчика в кВт;  $R$  — расстояние до расчетной точки в км;  $W(R)$  — функция ослабления подстилающей поверхности.

Методика расчета напряженности поля ККС рассмотрена в работе [5]. Основную трудность при вычислении выражения (1) представляет определение функции ослабления. В ряде слу-

чаев для сильно увлажненных и болотистых почв функция ослабления стремится к единице, и подстилающую поверхность для длины волны  $\lambda = 1000$  м можно считать идеально проводящей и не оказывающей влияния на распространение радиоволн. Подобные условия характерны для заболоченных территорий нижнего течения Иртыша, среднего и нижнего течения Оби, нижнего течения Енисея и Лены. Однако для сухих степей и лесостепей, а также слабозаболоченных лесных массивов, характерных для бассейна Волги, Амура, верхнего и среднего течения сибирских рек, электрические параметры почв не позволяют рассматривать подстилающую поверхность как идеально проводящую даже для длины волны  $\lambda = 1000$  м. Поэтому для определения функции ослабления, используемой при расчете зон действия ККС, необходимо решать уравнение Фейнберга [4] для плоской поверхности (при расстояниях менее 80 км) или уравнение Хаффорда для сферической поверхности [6].

Границы зон действия ККС на разных направлениях составляют 200–400 км. На таких расстояниях замена сферической поверхности плоской приводит к недопустимо большим погрешностям, поэтому для определения функции ослабления с целью определения границ зон действия ККС рассматривается сферическая задача. Тогда уравнение Хаффорда для сферической поверхности может быть представлено как [7]:

$$W(R) = 1 + i\sqrt{\frac{ikR}{2\pi}} \int_0^R W(x) \left[ \frac{1}{\sqrt{\varepsilon(x)}} + \sin\left(\frac{R-x}{2a}\right) \right] \frac{\exp\left(\frac{ikxR(R-x)}{8a^2}\right)}{\sqrt{x(R-x)}} dx, \quad (2)$$

где  $k = \frac{2\pi}{\lambda}$  — волновое число;  $\lambda$  — длина волны;  $a$  — радиус Земли;  $\varepsilon(x)$  — комплексная диэлектрическая проницаемость подстилающей поверхности;  $x$  — расстояние от источника до текущей точки интегрирования.

Для  $R$  порядка 200 км экспонента в выражении (2) близка к единице, и формула для функции ослабления может быть записана в упрощенном виде:

$$W(R) = 1 + i\sqrt{\frac{iR}{\lambda}} \int_0^R W(x) \left[ \frac{1}{\sqrt{\varepsilon(x)}} + \sin\left(\frac{R-x}{2a}\right) \right] \frac{1}{\sqrt{x(R-x)}} dx. \quad (3)$$

Выражение (3) представляет собой интегральное уравнение Вольтерры второго рода вида [8]:

$$W(R) = f(R) + \rho \int_0^R W(x) K(R, x) dx. \quad (4)$$

В данном случае свободный член тождественно равен единице:

$$f(R) \equiv 1.$$

Константа примет вид

$$\rho = i\sqrt{\frac{iR}{\lambda}}. \quad (5)$$

Ядро уравнения (4) определяется выражением

$$K(R, x) = \left[ \frac{1}{\sqrt{\varepsilon(x)}} + \sin\left(\frac{R-x}{2a}\right) \right] \frac{1}{\sqrt{x(R-x)}}. \quad (6)$$

Комплексная диэлектрическая проницаемость определяется выражением

$$\varepsilon = \varepsilon' + i\varepsilon'' = \varepsilon' + i\frac{4\pi}{\omega} \sigma = \varepsilon' + i\frac{2c}{\lambda} \sigma, \quad (7)$$

где  $\varepsilon'$  — удельная диэлектрическая проницаемость;  $c$  — скорость света;  $\sigma$  — удельная электропроводность.

Тогда, с учетом уравнения (7), запишем

$$\frac{1}{\sqrt{\varepsilon(x)}} = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon'(x) + i\varepsilon''(x)}} = \frac{\sqrt{\varepsilon'(x) - i\varepsilon''(x)}}{r}, \quad (8)$$

где  $r = \sqrt{\varepsilon'^2 + \varepsilon''^2}$  — модуль комплексной диэлектрической проницаемости.

Подставив полученное выражение в формулу (6) и внося константу (5) в ядро, получим

$$K(R, x) = i\sqrt{\frac{R}{\lambda}} \left[ \frac{\sqrt{\varepsilon''(x) + i\varepsilon'(x)}}{r} + \sqrt{i} \sin\left(\frac{R-x}{2a}\right) \right] \frac{1}{\sqrt{x(R-x)}}. \quad (9)$$

Тогда действительная и мнимая части ядра будут определяться выражениями:

$$\operatorname{Re}(K(R, x)) = \mp \sqrt{\frac{R}{2\lambda x(R-x)r^2}} \left( \sqrt{r - \varepsilon''(x)} + \sin\left(\frac{R-x}{2a}\right)r \right); \quad (10)$$

$$\operatorname{Im}(K(R, x)) = \pm \sqrt{\frac{R}{2\lambda x(R-x)r^2}} \left( \sqrt{r + \varepsilon''(x)} + \sin\left(\frac{R-x}{2a}\right)r \right). \quad (11)$$

Решение уравнения (3) будем искать в виде

$$W(R) = \operatorname{Re}(W(R)) + i \operatorname{Im}(W(R)). \quad (12)$$

Тогда, подставив выражение (3) в уравнение (12) с учетом (10) и (11), получим

$$W(R) = 1 \mp \int_0^R W(x) \sqrt{\frac{R}{2\lambda x(R-x)r^2}} \left( \sqrt{r - \varepsilon''(x)} + \sin\left(\frac{R-x}{2a}\right)r \right) dx \pm \pm i \int_0^R W(x) \sqrt{\frac{R}{2\lambda x(R-x)r^2}} \left( \sqrt{r + \varepsilon''(x)} + \sin\left(\frac{R-x}{2a}\right)r \right) dx. \quad (13)$$

Таким образом, уравнение (13) имеет четыре решения, однако физический смысл имеет только одно из них, так как функция ослабления не может быть больше единицы, а так как  $R-x$  значительно меньше, чем  $2a$ , то  $\sin\left(\frac{R-x}{2a}\right)$  всегда положителен. С учетом этого окончательно запишем

$$W(R) = 1 - \int_0^R W(x) \sqrt{\frac{R}{2\lambda x(R-x)r^2}} \left( \sqrt{r - \varepsilon''(x)} + \sin\left(\frac{R-x}{2a}\right)r \right) dx + + i \int_0^R W(x) \sqrt{\frac{R}{2\lambda x(R-x)r^2}} \left( \sqrt{r + \varepsilon''(x)} + \sin\left(\frac{R-x}{2a}\right)r \right) dx \quad (14)$$

или

$$W(R) = 1 + \int_0^R (-K^{\operatorname{Re}}(R, x) + i K^{\operatorname{Im}}(R, x)) W(x) dx. \quad (15)$$

Отсюда

$$K(R, x) = \sqrt{\frac{R}{2\lambda x(R-x)r^2}} \left[ - \left\{ \sqrt{r - \varepsilon''(x)} + \sin\left(\frac{R-x}{2a}\right)r \right\} + + i \left\{ \sqrt{r + \varepsilon''(x)} + \sin\left(\frac{R-x}{2a}\right)r \right\} \right]. \quad (16)$$

Аналитическое решение уравнение (15) имеет место только для ряда частных случаев. Поэтому решение данного уравнения будем выполнять численным интегрированием с помощью квадратурного метода, представив функцию ослабления через известную итерационную формулу [8]:

$$W_k = \frac{1 + \sum_{j=1}^{k-1} A_{kj} K_{kj} W_j}{1 - A_{kk} K_{kk}}, \quad (17)$$

где  $K_{kj} = K(R_k, x_j) = K^{\text{Re}}(R_k, x_j) + iK^{\text{Im}}(R_k, x_j)$ ;  $W_k = W(R_k)$ ;  $k = 0, 1, 2, \dots, N$ ;  $N$  — число узлов;  $h$  — шаг интегрирования;  $A_{kj} = p_k h$  — набор коэффициентов интегрирования;  $p_k = Ba_k$  — весовые коэффициенты для различных степеней квадратурных формул.

Так как ядро (16) имеет особенности на концах из-за знаменателя  $x(R-x)$ , то прямое использование формулы (17) невозможно. Для устранения особенностей каждый интеграл в выражении (15) разбивается на три части. В первом интеграле производится замена переменной по условию  $x = y^2$ , а в третьем — на  $x = R - y^2$  [9]. Тогда получим

$$\int_0^R K(R, x)W(x)dx = \int_0^{\sqrt{n_1 h}} K_1(R, y^2)W(y^2)dy + \int_{n_1 h}^{R-n_2 h} K(R, x)dx + \int_0^{\sqrt{n_2 h}} K_3(R, R-y^2)W(R-y^2)dy, \quad (18)$$

где  $n_1$  и  $n_2$  — число точек, по которым вычисляется первый и последний интеграл.

Соответственно

$$K_1(R, y^2) = \sqrt{\frac{2R}{\lambda(R-y^2)r(y^2)^2}} \left[ - \left\{ \sqrt{r(y^2) - \varepsilon''(y^2)} + \sin\left(\frac{R-y^2}{2a}\right)r(y^2) \right\} + i \left\{ \sqrt{r(y^2) + \varepsilon''(y^2)} + \sin\left(\frac{R-y^2}{2a}\right)r(y^2) \right\} \right]; \quad (19)$$

$$K_3(R, y^2) = \sqrt{\frac{2R}{\lambda(R-y^2)r(R-y^2)^2}} \left[ - \left\{ \sqrt{r(R-y^2) - \varepsilon''(R-y^2)} + \sin\left(\frac{y^2}{2a}\right)r(R-y^2) \right\} + i \left\{ \sqrt{r(R-y^2) + \varepsilon''(R-y^2)} + \sin\left(\frac{y^2}{2a}\right)r(R-y^2) \right\} \right]. \quad (20)$$

Для вычисления крайних интегралов в выражении (18) используем формулу Ньютона — Котеса первой степени (формулу трапеций). Тогда  $B = 1/2$ ;  $a_0 = a_1 = 1$ .

При нечетном числе точек интегрирования во втором интеграле используем квадратурную формулу Ньютона — Котеса второй степени (формулу Симпсона). Здесь  $B = 1/3$ ,  $a_0 = a_2 = 1$ ,  $a_1 = 4$ . При четном числе точек интегрирования используем комбинацию из квадратурных формул второй и третьей степени, при этом формулу третьей степени ( $B = 3/8$ ,  $a_0 = a_3 = 1$ ,  $a_1 = a_2 = 3$ ) будем использовать только для четырех последних точек. Тогда выражение (17) примет вид

$$W_k = \frac{1 + \frac{\sqrt{h}}{2}(K_1(R_k, 0)W_0 + K_1(R_k, h)W_1 + K_3(R_k, h)W_{k-1}) + S(W, 1, k-1, h)}{1 - \frac{\sqrt{h}}{2}K_3(R_k, 0)}. \quad (21)$$

Здесь функция  $S(W, 1, k-1, h)$  определяет значение среднего интеграла:

$$S(Y, 1, k-1, h) = \frac{h}{3} \sum_{j=1}^{n_p - \text{mod}(n-1, 2)} (Y_{2j-1} + 4Y_{2j} + Y_{2j+1}) + \begin{cases} 0, & \text{mod}(n-1, 2) = 0; \\ \frac{3h}{8}(Y_m + 3Y_{m+1} + 3Y_{m+2} + Y_{m+3}), & \end{cases} \quad (22)$$

где  $k = 4, 5, \dots, N$ ;  $n = k - 1$  — число точек интегрирования;  $n_p = \text{div}\left(\frac{n-1}{2}\right)$  — число промежутков интегрирования ( $\text{div}$  — целая часть от деления);  $m = 1 + 2(n_p - \text{mod}(n-1, 2))$ ;  $\text{mod}$  — остаток от деления;  $Y_j = K_{kj}W_j$  — подынтегральная функция.

Для  $k = 0, 1$  принимаем  $W_0 = W_1 = 1$

Для  $k = 2$  средний интеграл выпадает, получим

$$W_2 = \frac{1 + \frac{\sqrt{h}}{2}(K_1(R_2, 0)W_0 + K_1(R_2, h)W_1 + K_3(R_2, h)W_1)}{1 - \frac{\sqrt{h}}{2}K_3(R_2, 0)}. \quad (23)$$

Для  $k = 3$  формулу трапеций применяем ко всем трем интегралам:

$$W_3 = \frac{1 + \frac{\sqrt{h}}{2} (K_1(R_3, 0)W_0 + K_1(R_3, h)W_1 + K_3(R_3, h)W_2) + T(Y, 1, k - 1, h)}{1 - \frac{\sqrt{h}}{2} K_3(R_3, 0)}, \quad (24)$$

где  $T(Y, 1, 2, h) = \frac{h}{2}(Y_1 + Y_2)$ .

Задав множества  $\epsilon'_k, \epsilon''_k$  и подставив выражение (16), (19) и (22) в уравнения (21), (23) и (24), найдем значения функции ослабления в узлах на участке от 0 до  $R_N$ . Для реализации полученного алгоритма разработано программное обеспечение в программной оболочке MATLAB. Исходными данными к программе, помимо массивов  $\epsilon'_k, \epsilon''_k$ , заданных в узловых точках интегрирования, являются: радиус Земли, скорость света, мощность передатчика, длина волны, шаг разбиения трассы, число участков с различной диэлектрической проницаемостью и проводимостью и число узловых точек каждого участка. При этом напряженность поля в заданной точке определяется из выражения (1).

Для тестирования полученного алгоритма и разработанной программы было получено решение задачи для трассы, состоящей из двух участков (хорошо проводящие почва и море), аналитическое решение и экспериментальные данные для которой приведены в работе Фейнберга [4, с. 310]. Результаты тестирования приведены на рис. 1.

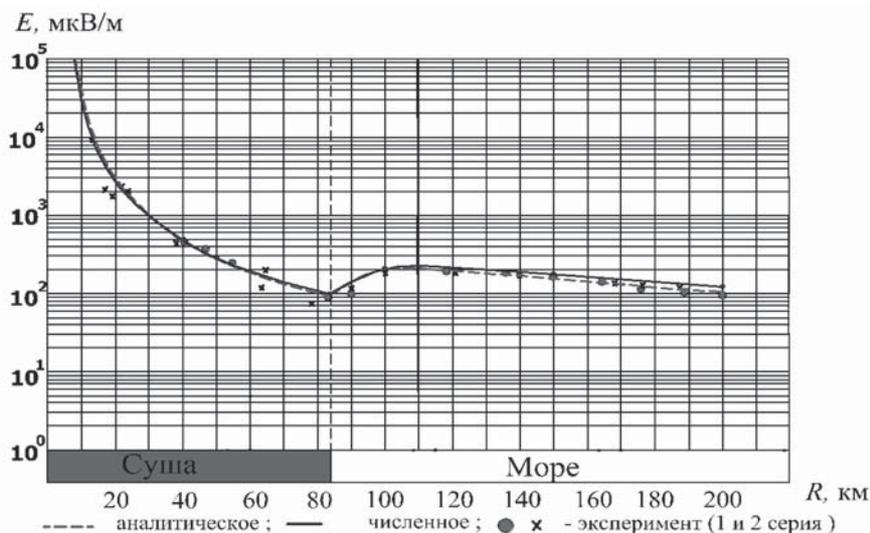


Рис. 1. Сравнение теоретических и экспериментальных данных с результатами численного интегрирования

Исходные данные для расчета:

- мощность излучателя  $P = 10$  кВт; длина волны излучения  $\lambda = 96$  м;
- относительная диэлектрическая проницаемость почвы  $\epsilon' = 10$ ;
- удельная электропроводность почвы  $\sigma = 9 \cdot 10^7$ ;
- длина участка суши — 84 км; длина участка моря — 116 км;
- относительная диэлектрическая проницаемость морской воды  $\epsilon' = 80$ ;
- удельная электропроводность морской воды  $\epsilon' = 4 \cdot 10^{10}$ .

Как видно из графика, разработанный алгоритм численного интегрирования уравнения Хаффорда показал хорошее совпадение с аналитическим решением для сферической поверхности и результатами эксперимента. Разработанный алгоритм и программа использовались в рамках НИР [2] для оптимизации состава ККС ЛДПС в бассейнах Иртыша, Оби, Енисея и Амура. При этом дальность действия ККС определялась из условия

$$E(R_{\max}) \geq E_{\text{доп}}. \quad (25)$$

Допустимая величина напряженности поля в точке приема задавалась исходя из чувствительности приемной аппаратуры с учетом флуктуационного шума в радиоканалах [10].

Для определения зон действия ККС строились лучи, расходящиеся от станции, вдоль которых задавались размеры участков с различными электрическими свойствами и в каждом из них — параметры  $\epsilon'$  и  $\sigma$ . Размер зоны действия по каждому из направлений определялся из условия (25) после определения численным методом значений функции ослабления и из формулы (1) — напряженности поля в точке приема.

Пример построения зон действия ККС на наиболее сложном участке в зоне ответственности ФБУ «Енисейречтранс» приведен на рис. 2. Мощности всех передатчиков задавались  $P = 400$  Вт, длина волны  $\lambda = 1000$  м.

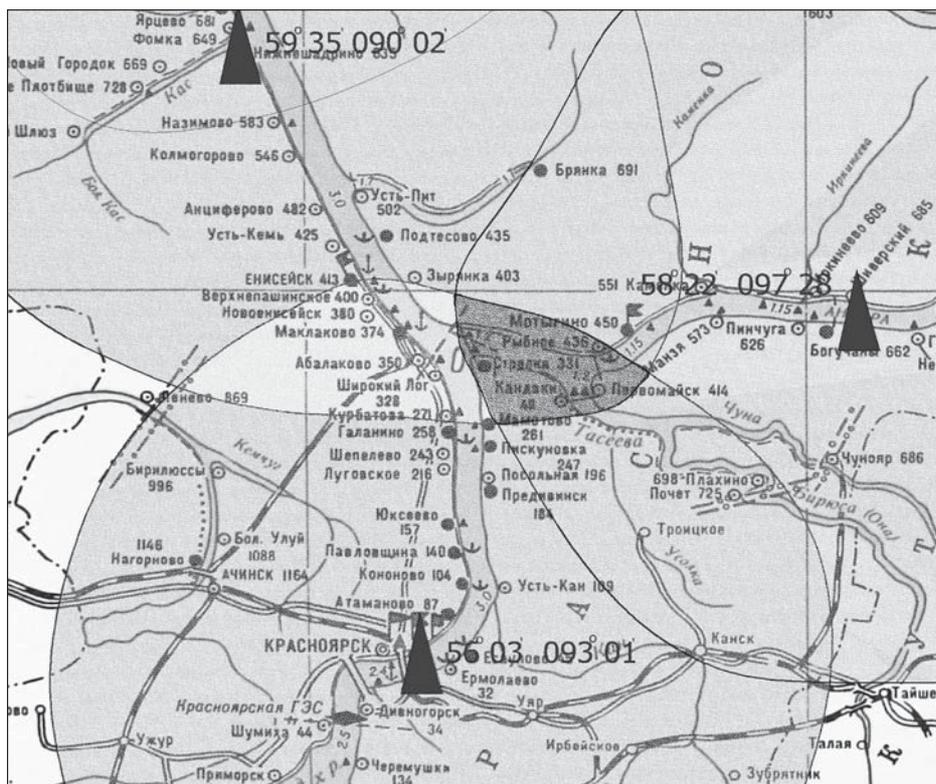


Рис. 2. Зоны действия ККС на наиболее проблемном участке в бассейне Енисея

Для определения помехозащищенности радиоканалов в расчетных точках судового хода в зоне действия ККС при воздействии взаимных и промышленных помех задавались направления от станции до расчетных точек судового хода, вдоль которых также определялись размеры участков с различными электрическими свойствами и для каждого участка задавались значения  $\epsilon'$  и  $\sigma$ . Полученные в результате расчета по приведенной методике значения функции ослабления и напряженности поля в расчетных точках являются исходными для определения помехозащищенности радиоканалов в зонах действия ККС.

#### Список литературы

1. Сикарев И. А. Помехоустойчивость и функциональная устойчивость автоматизированных идентификационных систем мониторинга и управления на речном транспорте: монография / И. А. Сикарев. — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2010. — 142 с.

2. Проведение в соответствии с международными соглашениями и требованиями комплексных исследований использования системы ГЛОНАСС, других глобальных навигационных спутниковых систем и их функциональных дополнений в составе автоматической идентификационной системы и системы управления движением судов для обеспечения мониторинга морских и речных судов, а также для взаимного контроля судов и их безопасного расхождения: отчет о НИР (окончательный) / Науч. руковод. А. А. Сикарев, отв. исполн. И. А. Сикарев, С. Ф. Шахнов [и др.] — СПб.: ООО «Инфоком», 2014. — 272 с.

3. Каретников В. В. Топология дифференциальных полей и дальность действия контрольно-корректирующих станций высокоточного местоопределения на внутренних водных путях: монография / В. В. Каретников, А. А. Сикарев. — Изд. 2. — СПб.: ГУМРФ, 2013. — 525 с.

4. Фейнберг Е. Л. Распространение радиоволн вдоль земной поверхности: монография / Е. Л. Фейнберг. — Изд. 2. — М.: Наука, 1999. — 496 с.

5. Сикарев А. А. К расчету напряженности поля в радиоканалах речной локальной дифференциальной подсистемы ГЛОНАСС/GPS средневолнового диапазона / А. А. Сикарев, С. Ф. Шахнов // Вестник Государственного университета морского и речного транспорта им. адм. С. О. Макарова. — 2014. — № 3 (25). — С. 27–31.

6. Hufford G. A. An Integral equation approach to the problem of wave propagation over on irregular surface // Quart. Appl. Math. — 1952. — Vol. 9. — P. 291–404.

7. Саломатов Ю. П. Инженерные методы расчета распространения волны вдоль поверхности Земли: монография. — Красноярск: ИПК СФУ, 2009. — 164 с.

8. Вержбицкий В. М. Основы численных методов: учебник. — М.: Высш. шк., 2002. — 840 с.

9. Саломатов Ю. П. Сравнение квадратурных методов решения интегрального уравнения Хаффорда / Ю. П. Саломатов, А. А. Сенченко // Докл. ТУСУРа. — 2012. — № 2 (26). — Ч. 2. — С. 36–41.

10. Каретников В. В. Расчет помехозащищенности (ПЗ) радиоканалов речной локальной дифференциальной подсистемы (ЛДПС) автоматизированных систем управления (АСУ) движением судов (ДС) (на примере ФБУ «Администрация Волжского бассейна») / В. В. Каретников, И. А. Сикарев, С. Ф. Шахнов // Речной транспорт (XXI век). — 2014. — № 6. — С. 54–57.

**УДК 528.472; 378.147.88**

**Ю. Г. Фирсов,**  
канд. техн. наук, доц.

## **ИННОВАЦИОННЫЕ МЕТОДИКИ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ ПРИ ПОДГОТОВКЕ ГИДРОГРАФОВ**

### **HYDROGRAPHIC INNOVATIVE EDUCATION METHODOLOGY**

*Рассмотрены вопросы использования инновационных методик в учебном процессе на Арктическом факультете университета при подготовке специалистов в области гидрографии. Определена особая роль геоматики при подготовке современных гидрографов. Раскрыты методики инновационного подхода к преподаванию дисциплин «Гидрография» и «Морские электронные информационные системы». Указана необходимость создания учебно-методических материалов для обучения использованию электронных гидрографических информационных систем с применением средств мультимедиа. Даны рекомендации по использованию сайтов организаций, содержащих наиболее полезную информацию для образовательного процесса в области гидрографии и морской геоматики. Обсуждены перспективы дальнейшего развития инноваций гидрографического образования в университете на основе применения в учебном процессе пакетов Fledermause, EIVA, SonarWIZ5.*

*The study examines hydrographic education methodology provided at the Arctic faculty, department of hydrography at the Admiral Makarov State University for Maritime and Inland Shipping. The role of geomatics in*