

Сёмкин Сергей Викторович, Смагин Виктор Павлович

**ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ЭФФЕКТЫ, ВЫЗВАННЫЕ МОРСКИМИ ПОВЕРХНОСТНЫМИ ВОЛНАМИ**

Адрес статьи: [www.gramota.net/materials/1/2012/4/64.html](http://www.gramota.net/materials/1/2012/4/64.html)

Статья опубликована в авторской редакции и отражает точку зрения автора(ов) по данному вопросу.

Источник

**Альманах современной науки и образования**

Тамбов: Грамота, 2012. № 4 (59). С. 194-199. ISSN 1993-5552.

Адрес журнала: [www.gramota.net/editions/1.html](http://www.gramota.net/editions/1.html)

Содержание данного номера журнала: [www.gramota.net/materials/1/2012/4/](http://www.gramota.net/materials/1/2012/4/)

**© Издательство "Грамота"**

Информация о возможности публикации статей в журнале размещена на Интернет сайте издательства: [www.gramota.net](http://www.gramota.net)

Вопросы, связанные с публикациями научных материалов, редакция просит направлять на адрес: [almanac@gramota.net](mailto:almanac@gramota.net)

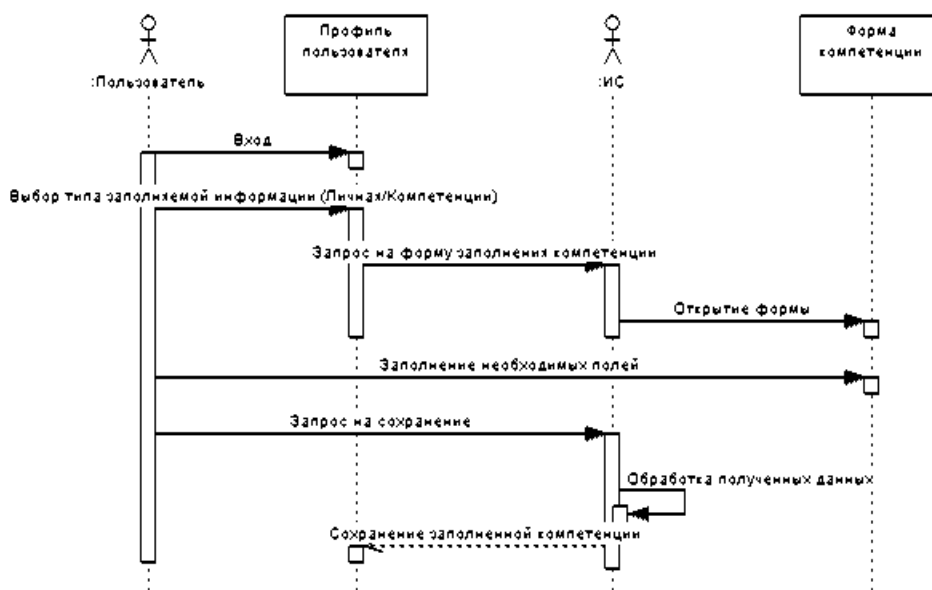


Рис. 3. Заполнение компетенций

Для разработки информационной системы учета объектов интеллектуальной системы. Был выбран язык программирования *PHP*, так как данный язык программирования позволяет создавать динамические *web*-страницы и связывать их с БД, реализованной на *MySQL*. Этот подход позволяет разместить систему в сети Интернет и обращаться к ней с любой точки без дополнительных программных продуктов.

Разработанная информационная система учета объектов интеллектуальной собственности способствует:

- сокращению времени, затрачиваемого на участие в выработке и осуществлении единой патентной и лицензионной политике организации;
- перераспределению нагрузки сотрудников организации;
- повышению оперативности учета и контроля над регистрацией ОИС и своевременной регистрации отчетов по ним.

Информационная система учета объектов интеллектуальной собственности дает возможность удобного и надежного хранения и управления данными отдела, возможность подготовки документов на подачу заявки на официальную регистрацию программы для ЭВМ или базы данных. Это позволит существенно повысить качества услуг по защите и охране РИД, увеличит эффективность работы с объектами интеллектуальной собственности.

#### Список литературы

1. **Всероссийский научно-технический информационный центр** [Электронный ресурс]. URL: [www.vntic.org.ru](http://www.vntic.org.ru) (дата обращения: 12.03.2012).
2. **Интеллектуальная собственность: товарный знак, изобретение, патентование, патентный поверенный, патентное бюро, Роспатент** [Электронный ресурс]. URL: [www.rupatent.ru](http://www.rupatent.ru) (дата обращения: 12.03.2012).
3. **Сергеев А. П.** Право интеллектуальной собственности в Российской Федерации: учебник. М., 2004. 432 с.
4. **Федеральный институт промышленной собственности** [Электронный ресурс]. URL: [www.fips.ru](http://www.fips.ru) (дата обращения: 12.03.2012).

УДК 550.373

**Физико-математические науки**

*Сергей Викторович Сёмкин, Виктор Павлович Смагин*  
*Владивостокский государственный университет экономики и сервиса*

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ЭФФЕКТЫ, ВЫЗВАННЫЕ МОРСКИМИ ПОВЕРХНОСТНЫМИ ВОЛНАМИ<sup>©</sup>

#### 1. Введение

Морская вода, как известно, представляет собой проводящую жидкость благодаря наличию в ней ионов разных знаков. Ее электрическая проводимость  $\sigma_2$ , в зависимости от температуры и солености, может

меняться на поверхности океана в пределах 3-6 Сим/м. Макроскопические движения морской воды в геомагнитном поле  $\mathbf{F}$  могут сопровождаться возникновением электрических токов, которые, в свою очередь, генерируют дополнительное магнитное поле  $\mathbf{B}$ .

На это индуцированное поле оказывают влияние целый ряд различных факторов. Во-первых - вид гидродинамического источника - морские поверхностные волны [1; 10; 13-15], внутренние волны [12], течения и приливы, длинные волны типа цунами [11] и т.д. Индуцированное электромагнитное поле может создаваться и другими типами макроскопического движения воды - акустическими волнами [5] и искусственными источниками - подводными взрывами [6] и корабельными волнами [7]. Во-вторых, на это поле может влиять электрическая проводимость донных пород и топография морского дна [4]. Можно так же отметить, что задача, аналогичная вычислению индуцированного поля в морской среде, возникает и в сейсмологии [2] - движение литосферы в магнитном поле Земли приводит к возникновению индуцированных токов.

Одним из направлений исследования пространственно-временной структуры индуцированного поля является случай, когда оно генерируется двумерной поверхностной волной [4]. Расчет индуцированного поверхностной волной электромагнитного поля можно производить в различных приближениях и для различных моделей морской среды. Поле, индуцированное морскими поверхностными волнами в приближении бесконечно глубокого океана, было рассчитано в работах [14; 15], а в работе [1] теоретически исследованы поля, индуцированные ветровыми волнами в мелководных зонах с учетом конечной переменной глубины. Более сложная гидродинамическая модель морского волнения - вихревые волны с конечным гребнем рассматривались в [10]. То есть, возможно значительное количество различных вариантов постановки задачи, в зависимости от того, влияние каких именно факторов требуется учесть. В данной работе мы исследуем влияние электрических и магнитных свойств донных пород, а именно - их магнитной проницаемости  $\mu_3$  и электрической проводимости  $\sigma_3$ , на индуцированное электромагнитное поле. Обычно исследование влияния на магнитное поле свойств донных пород ограничивается учетом только электрической их проводимости [4], поскольку донные породы, как правило, не имеют выраженных магнитных свойств. Однако, в прибрежной зоне океана вполне возможна ситуация, когда у донных пород имеются и магнитные свойства. Кроме того, оказывается [Там же], что для потенциального движения жидкости возникновение токов в донных породах возможно только за счет индукционных эффектов - члена  $\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$  в уравнениях Максвелла. И отбрасывание этого слагаемого (квазистатическое приближение) приводит к тому, что индуцированное поле вообще не зависит от проводимости донных пород. Поэтому, мы рассмотрим такую постановку задачи об определении индуцированного поверхностной волной электромагнитного поля, в которой дно имеет не только электрическую проводимость, но и магнитные свойства, а так же будем учитывать эффект самоиндукции.

## 2. Основные уравнения и граничные условия

Для решения задачи об определении электромагнитного поля, индуцированного движением морской воды в геомагнитном поле, используется система уравнений Максвелла:

$$\begin{aligned} \operatorname{div} \mathbf{B} &= 0 \quad \operatorname{rot} \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \\ \operatorname{rot} \mathbf{H} &= \mathbf{j} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} \quad \operatorname{div} \mathbf{D} = \rho \end{aligned} \quad (1)$$

Связь между парами векторов  $\mathbf{D}$ ,  $\mathbf{H}$  и  $\mathbf{E}$ ,  $\mathbf{B}$  (материальные уравнения) а также выражение для плотности тока  $\mathbf{j}$  различны в разных средах. Будем полагать, что в воздухе (среда I) связь между векторами, характеризующими электромагнитное поле такая же, как в вакууме, а электрические токи и объемные заряды отсутствуют:

$$\mathbf{D}^I = \varepsilon_0 \mathbf{E}^I, \quad \mathbf{B}^I = \mu_0 \mathbf{H}^I, \quad \mathbf{j}^I = 0, \quad \rho^I = 0 \quad (2)$$

Морскую воду (среда II) будем считать однородной как по гидродинамическим, так и по электромагнитным свойствам. Материальные уравнения в системе координат, относительно которой жидкость движется, описаны в [3]. Считая скорость движения воды малой, а индуцированное магнитное поле значительно меньшим геомагнитного поля  $\mathbf{F}$ , получим:

$$\mathbf{D}^{II} = \varepsilon_0 \varepsilon_2 \mathbf{E}^{II} + \varepsilon_0 (\varepsilon_2 - 1) [\mathbf{v}, \mathbf{F}], \quad \mathbf{B}^{II} = \mu_0 \mathbf{H}^{II} \quad (3)$$

$$\mathbf{j}^{II} = \sigma_2 (\mathbf{E}^{II} + [\mathbf{v}, \mathbf{F}]) \quad (4)$$

где  $\varepsilon_2$  и  $\sigma_2$  - электрическая проницаемость и проводимость морской воды.

Рассмотрим вопрос об объемных электрических зарядах внутри воды. Из уравнений (1), соотношения (3), закона Ома (4) и условия сохранения электрического заряда

$$\begin{aligned} \operatorname{div} \mathbf{j} &= -\frac{\partial \rho}{\partial t} \\ \text{получим:} \\ \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\sigma_2}{\varepsilon_0 \varepsilon_2} \rho &= -\frac{\sigma_2}{\varepsilon_2} \operatorname{div} [\mathbf{v}, \mathbf{F}] \end{aligned} \quad (5)$$

Для случая стационарного процесса, когда  $\rho = \rho_0 e^{-i\omega t}$  и  $\mathbf{v} = \mathbf{v}_0 e^{-i\omega t}$ , решение (5) имеет вид:

$$\rho_0 = -\frac{\varepsilon_0}{1 - i\omega \tau_2} \operatorname{div} [\mathbf{v}_0, \mathbf{F}]$$

где  $\tau_2 = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_2}{\sigma_2}$  - характерное время установления стационарного состояния. При  $\sigma_2 = 4$  Сим/м,  $\tau_2 \approx 1,8 \cdot 10^{-10}$  с. Это значит, что любой установившийся гидродинамический и гидроакустический процессы можно

считать установившимся и в электродинамическом смысле. Поскольку циклические частоты даже ультра-звуковых волн не превосходят  $10^5 - 10^6 \text{ c}^{-1}$ , с хорошей точностью можно считать, что

$$\rho_0 = -\varepsilon_0 \operatorname{div}[\mathbf{v}_0, \mathbf{F}] = -\varepsilon_0 (\mathbf{F}, \operatorname{rot} \mathbf{v}_0)$$

Таким образом, при потенциальном движении морской воды ( $\operatorname{rot} \mathbf{v}_0 = 0$ ) объемные заряды в морской воде отсутствуют  $\rho^{\text{II}} = 0$ .

Донные породы (среда III) будем полагать полубесконечной однородной средой с проводимостью  $\sigma_3$ , диэлектрической и магнитной проницаемостями  $\varepsilon_3$  и  $\mu_3$  соответственно. Материальные уравнения и закон Ома в этой среде выглядят следующим образом:

$$\mathbf{D}^{\text{III}} = \varepsilon_0 \varepsilon_3 \mathbf{E}^{\text{III}}, \mathbf{B}^{\text{III}} = \mu_0 \mu_3 \mathbf{H}^{\text{III}}, \mathbf{j}^{\text{III}} = \sigma_3 \mathbf{E}^{\text{III}} \quad (6)$$

Объемная плотность электрических зарядов в среде III подчиняется уравнению, аналогичному (5), но с нулевой правой частью  $\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\sigma_3}{\varepsilon_0 \varepsilon_3} \rho = 0$ . Поэтому, в стационарном периодическом режиме  $\rho^{\text{III}} = 0$ . Характерное время установления равновесия  $\tau_3 = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_3}{\sigma_3}$  того же порядка, что и  $\tau_2$ .

Как показано в [3; 9], граничные условия на границах I-II и II-III имеют для малых скоростей движения воды такой же вид, как и для неподвижных сред. То есть, на границе I-II:

$$E_{\tau}^{\text{I}} = E_{\tau}^{\text{II}}, \mathbf{B}^{\text{I}} = \mathbf{B}^{\text{II}}, D_n^{\text{I}} - D_n^{\text{II}} = \chi_1 \quad (7)$$

На границе II-III:

$$E_{\tau}^{\text{II}} = E_{\tau}^{\text{III}}, B_n^{\text{II}} = B_n^{\text{III}}, D_n^{\text{II}} - D_n^{\text{III}} = \chi_2, B_{\tau}^{\text{II}} = B_{\tau}^{\text{III}} / \mu_3 \quad (8)$$

Поверхностные плотности зарядов  $\chi_1$  и  $\chi_2$  заранее не известны и находятся при решении задачи.

### 3. Двумерная поверхностная волна

Рассмотрим двумерную поверхностную волну, распространяющуюся в направлении оси  $x$  (ось  $z$  направлена вертикально вверх, а плоскость  $xz$  совпадает с невозмущенной поверхностью воды). Скорости частиц жидкости будут такими [8]:

$$\mathbf{v} = \mathbf{v}_0 e^{i(kx - \omega t)}$$

$$v_{0x} = iu_0 \frac{\operatorname{chk}(z+H)}{\operatorname{shkH}}, v_{0z} = u_0 \frac{\operatorname{shk}(z+H)}{\operatorname{shkH}}, v_{0y} = 0 \quad (9)$$

$H$  - глубина моря.  $k$ ,  $H$  и  $\omega$  связаны дисперсионным соотношением

$$\omega^2 = gkthkH \quad (10)$$

Введем углы  $\alpha$  и  $\beta$ , определяющие ориентацию вектора  $\mathbf{F}$  геомагнитного поля (в исходной системе координат) следующим образом:

$$F_x = F \sin \alpha \cos \beta, F_y = F \sin \alpha \sin \beta, F_z = F \cos \alpha$$

То есть,  $\alpha$  - это угол между вертикалью и вектором  $\mathbf{F}$ , зависящий от широты места, а  $\beta$  - угол между направлением распространения волны и проекцией вектора  $\mathbf{F}$  на горизонтальную плоскость.

Решение системы (1) будем искать в виде

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_0(z) e^{i(kx - \omega t)}, \mathbf{B} = \mathbf{B}_0(z) e^{i(kx - \omega t)}$$

Подставляя эти выражения в (1), получим:

$$ikE_{0x} + E'_{0z} = 0 \quad (11)$$

$$-E'_{0y} = i\omega B_{0x} \quad (12)$$

$$E'_{0x} - ikE_{0z} = i\omega B_{0y} \quad (13)$$

$$ikE_{0y} = i\omega B_{0z} \quad (14)$$

$$ikB_{0x} + B'_{0z} = 0 \quad (15)$$

$$-B'_{0y} = \begin{cases} 0 \text{ (I)} \\ \mu_0 \sigma_2 (E_{0x} - F_y v_{0z}) \text{ (II)} \\ \mu_0 \mu_3 \sigma_3 E_{0x} \text{ (III)} \end{cases} \quad (16)$$

$$B'_{0x} - ikB_{0z} = \begin{cases} 0 \text{ (I)} \\ \mu_0 \sigma_2 (E_{0y} + F_x v_{0z} - F_z v_{0x}) \text{ (II)} \\ \mu_0 \mu_3 \sigma_3 E_{0y} \text{ (III)} \end{cases} \quad (17)$$

$$ikB_{0y} = \begin{cases} 0 \text{ (I)} \\ \mu_0 \sigma_2 (E_{0z} + F_y v_{0x}) \text{ (II)} \\ \mu_0 \mu_3 \sigma_3 E_{0z} \text{ (III)} \end{cases} \quad (18)$$

Уравнения (11)-(18) можно разбить на две группы: уравнения (11), (13), (16) и (18) для компонент  $E_{0x}$ ,  $E_{0z}$  и  $B_{0y}$  и уравнения (12), (14), (15) и (17) для компонент  $B_{0x}$ ,  $B_{0z}$  и  $E_{0y}$ .

Уравнения второй группы решаем следующим образом.  $B_{0x}$  и  $E_{0y}$  выразим через  $B_{0z}$ :

$$B_{0x} = \frac{i}{k} B'_{0z}, E_{0y} = \frac{\omega}{k} B_{0z} \quad (19)$$

а уравнения для  $B_{0z}$  имеют вид

$$B''_{0z} - k^2 B_{0z} = 0 \text{ (I)}$$

$$B''_{0z} - \kappa_2^2 B_{0z} = -ik\mu_0 \sigma_2 (F_x v_{0z} - F_z v_{0x}) \text{ (II)} \quad (20)$$

$$B''_{0z} - \kappa_3^2 B_{0z} = 0 \text{ (III)}$$

Здесь  $\kappa_2^2 = k^2 - i\mu_0 \sigma_2 \omega$ ,  $\kappa_3^2 = k^2 - i\mu_0 \mu_3 \sigma_3 \omega$ . Находя общее решение (20) и используя (19), получим в среде I:

$$B_{0z} = C_1 e^{-kz}, B_{0x} = -iC_1 e^{-kz}, E_{0y} = (\omega/k)C_1 e^{-kz} \quad (21)$$

в среде II:

$$\begin{aligned} B_{0z} &= C_{21} \operatorname{ch} \kappa_2 (z + H) + C_{22} \operatorname{sh} \kappa_2 (z + H) + \tilde{b}(z) \\ B_{0x} &= i(\kappa_2/k)(C_{21} \operatorname{sh} \kappa_2 (z + H) + C_{22} \operatorname{ch} \kappa_2 (z + H)) + (i/k)\tilde{b}'(z) \\ E_{0y} &= (\omega/k)B_{0z} \end{aligned} \quad (22)$$

$$\tilde{b}(z) = \frac{ku_0}{\omega \operatorname{ch} \kappa_2 H} (iF_z \operatorname{ch} \kappa_2 (z + H) - F_x \operatorname{sh} \kappa_2 (z + H))$$

в среде III:

$$B_{0z} = C_3 e^{\kappa_3 z}, B_{0x} = i(\kappa_3/k)C_3 e^{\kappa_3 z}, E_{0y} = (\omega/k)C_3 e^{\kappa_3 z} \quad (23)$$

Для определения коэффициентов  $C_1, C_3, C_{21}$  и  $C_{22}$  используем граничные условия (7) и (8)

$$C_1 = C_{21} \operatorname{ch} \kappa_2 H + C_{22} \operatorname{sh} \kappa_2 H + \tilde{b}(0)$$

$$-iC_1 = i \frac{\kappa_2}{k} (C_{21} \operatorname{sh} \kappa_2 H + C_{22} \operatorname{ch} \kappa_2 H) + i\tilde{b}'(0)/k$$

$$C_3 e^{-\kappa_3 H} = C_{21} + \tilde{b}(-H)$$

$$i \frac{\kappa_3}{\mu_3 k} C_3 e^{-\kappa_3 H} = i \frac{\kappa_2}{k} C_{22} + i\tilde{b}'(-H)/k$$

Исключая  $C_1$  и  $C_3$ , сведем систему к двум уравнениям для  $C_{21}$  и  $C_{22}$ , которые запишем в матричном виде:

$$\begin{pmatrix} k \operatorname{ch} \kappa_2 H + \kappa_2 \operatorname{sh} \kappa_2 H & k \operatorname{sh} \kappa_2 H + \kappa_2 \operatorname{ch} \kappa_2 H \\ \kappa_3 & -\mu_3 \kappa_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} C_{21} \\ C_{22} \end{pmatrix} = -\frac{k^2 u_0}{\omega \operatorname{ch} \kappa_2 H} \begin{pmatrix} (iF_z - F_x) e^{\kappa_3 H} \\ \mu_3 F_x + i\kappa_3 F_z / k \end{pmatrix}$$

Решая эту систему, находим коэффициенты  $C_1, C_{21}, C_{22}$  и  $C_3$  через которые выражаются компоненты электромагнитного поля  $B_{0z}, B_{0x}$  и  $E_{0y}$ .

Аналогичным образом решим систему уравнений (11), (13), (16) и (18) для компонент  $E_{0x}, E_{0z}$  и  $B_{0y}$

$$E_{0x} = \frac{i}{k} E'_{0z} \quad (24)$$

а уравнения для  $E_{0z}$  имеют вид

$$E''_{0z} - k^2 E_{0z} = 0 \quad (I)$$

$$E''_{0z} - \kappa_2^2 E_{0z} = -i\omega \mu_0 \sigma_2 F_y v_{0x} \quad (II) \quad (25)$$

$$E''_{0z} - \kappa_3^2 E_{0z} = 0 \quad (III)$$

Компонента  $B_{0y}$  выражается из (19).

Решая (25) и используя (23) и (19) найдем компоненты в среде I:

$$E_{0z} = A_1 e^{-kz}, E_{0x} = -iA_1 e^{-kz}, B_{0y} = 0 \quad (26)$$

в среде II:

$$\begin{aligned} E_{0z} &= A_{21} \operatorname{ch} \kappa_2 (z + H) + A_{22} \operatorname{sh} \kappa_2 (z + H) + \tilde{e}(z) \\ E_{0x} &= i(\kappa_2/k)(A_{21} \operatorname{sh} \kappa_2 (z + H) + A_{22} \operatorname{ch} \kappa_2 (z + H)) + (i/k)\tilde{e}'(z) \end{aligned} \quad (27)$$

$$B_{0y} = \frac{\mu_0 \sigma_2}{ik} (A_{21} \operatorname{ch} \kappa_2 (z + H) + A_{22} \operatorname{sh} \kappa_2 (z + H))$$

$$\tilde{e}(z) = -\frac{i u_0}{\operatorname{ch} \kappa_2 H} F_y \operatorname{ch} \kappa_2 (z + H)$$

в среде III:

$$E_{0z} = A_3 e^{\kappa_3 z}, E_{0x} = i(\kappa_3/k)A_3 e^{\kappa_3 z}, B_{0y} = -i \frac{\mu_0 \mu_3 \sigma_3}{k} A_3 e^{\kappa_3 z} \quad (28)$$

Используя граничные условия (7) и (8), получим:

$$A_{21} \operatorname{ch} \kappa_2 H + A_{22} \operatorname{sh} \kappa_2 H = 0$$

$$\sigma_2 A_{21} = \sigma_3 A_3 e^{-\kappa_3 H}$$

$$-iA_1 = i(\kappa_2/k)(A_{21} \operatorname{sh} \kappa_2 H + A_{22} \operatorname{ch} \kappa_2 H) + F_y u_0 \operatorname{th} \kappa_2 H$$

$$\kappa_2 A_{22} = \kappa_3 A_3 e^{-\kappa_3 H}$$

Отсюда  $A_{21} = A_{22} = A_3 = 0$  и  $A_1 = iF_y u_0 \operatorname{th} \kappa_2 H$ .

Таким образом,  $B_{0y} = 0$  во всех трех средах и

$$E_{0z} = \begin{cases} iF_y u_0 \operatorname{th} \kappa_2 H e^{-kz} & (I) \\ -\frac{i u_0}{\operatorname{ch} \kappa_2 H} F_y \operatorname{ch} \kappa_2 (z + H) & (II) \\ 0 & (III) \end{cases} \quad (29)$$

$$E_{0x} = \begin{cases} F_y u_0 \operatorname{th} \kappa_2 H e^{-kz} & (I) \\ \frac{u_0}{\operatorname{ch} \kappa_2 H} F_y \operatorname{sh} \kappa_2 (z + H) & (II) \\ 0 & (III) \end{cases} \quad (30)$$

Компонента  $E_{0z}$  имеет разрывы на границах между средами. Это означает, что на границах имеются поверхностные заряды, плотности которых определяются из условий (7) и (8):

$$\chi_{01} = \varepsilon_0 i F_y u_0 (1 + \operatorname{th} \kappa_2 H) \quad (\text{граница I-II}) \quad (31)$$

$$\chi_{02} = -i \varepsilon_0 F_y u_0 / \operatorname{ch} \kappa_2 H \quad (\text{граница II-III}) \quad (32)$$

Из полученного решения следует, что компоненты плотности тока  $j_x$  и  $j_z$  равны нулю во всех трех средах, что согласуется с условием сохранения электрического заряда  $\operatorname{div} \mathbf{j} = 0$ . Компонента  $j_y$  не равна нулю и

по порядку величины есть  $\sigma_2 F_y u_0$ . Существование периодически меняющихся поверхностных зарядов  $\chi_i = \chi_{0i} e^{i(kx - \omega t)}$  на первый взгляд противоречит условию  $j_z = 0$ : поскольку среда не сверхпроводящая, поверхностные токи отсутствуют, и изменение поверхностного заряда может быть связано только с существованием нормальной к границе компоненты объемного тока  $\tilde{j}_z$ . Величину этой компоненты найдем из условия сохранения заряда

$$|\tilde{j}_z| = \omega |\chi_0| \cong \omega \varepsilon_0 F_y u_0$$

Таким образом, отношение  $\tilde{j}_z / j_y$  будет порядка  $\omega \varepsilon_0 / \sigma_2$  что для морской воды и типичных частот ветровых волн составляет примерно  $10^{-11}$ . То есть, при отбрасывании  $\tilde{j}_z$  мы не выходим за пределы точности, с которой рассматриваются материальные уравнения (2), (4) и (6) и граничные условия (7) и (8).

#### 4. Результаты расчетов и выводы

Таким образом, для двумерной поверхностной волны, имеющей произвольное направление относительно магнитного меридиана, мы рассчитали компоненты магнитного и электрического полей во всех средах, а так же поверхностные электрические заряды на дне и свободной поверхности.

Влияние электрических и магнитных свойств донных пород на индуцированное волной магнитное поле проявляется следующим образом.

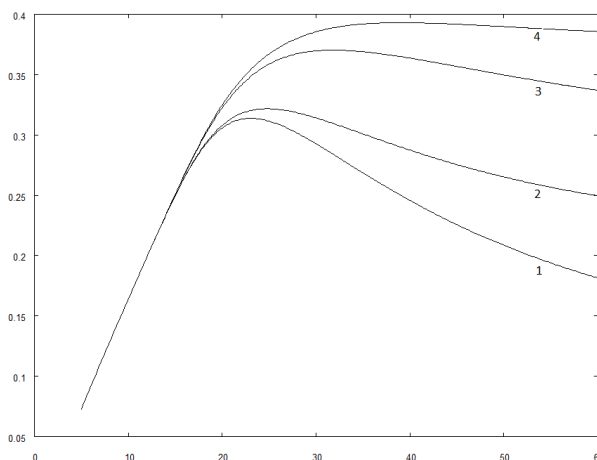


Рис. 1

На Рис. 1 показаны зависимости равных над поверхностью амплитуд компонент  $B_{0x}$  и  $B_{0z}$  (в единицах  $10^{-3} F_0 \approx 5 \cdot 10^{-9}$  Тл) от периода волны для волн одинаковой амплитуды  $a_0 = \omega u_0 / kg$ . Кривая 2 соответствует случаю немагнитного и непроводящего дна ( $\mu_3 = 1, \sigma_3 = 0$ ), кривая 1 - случаю немагнитного проводящего дна ( $\mu_3 = 1, \sigma_3 = 100\sigma_2$ ), кривая 4 - случаю магнитного непроводящего дна ( $\mu_3 = 100, \sigma_3 = 0$ ), а кривая 3 - случаю магнитного проводящего дна ( $\mu_3 = 100, \sigma_3 = 100\sigma_2$ ). Все кривые рассчитаны для случая  $H = 50$  м,  $\alpha = 7\pi/16$ ,  $\beta = \pi/6$ . Оказывается, что для любого значения периода волны, индуцированное поле монотонно растет с ростом магнитной проницаемости дна и падает с ростом его проводимости. Зависимость магнитного поля от периода волны может быть как монотонно растущей, так и имеющей максимум - в зависимости от ориентации волны по отношению к геомагнитному полю.

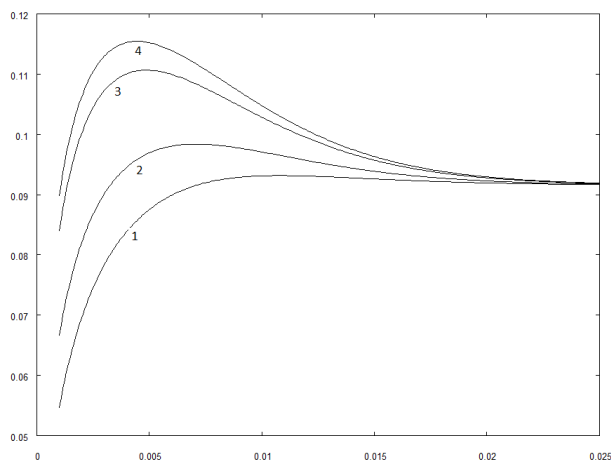


Рис. 2

На Рис. 2 приведены зависимости индуцированного магнитного поля (в тех же единицах, что и на Рис. 1) от глубины моря (в километрах) для волн с периодом  $T = 5$  с при  $\alpha = \pi/6$ ,  $\beta = \pi/4$ . Кривые 1, 2, 3 и 4 соответствуют значениям  $\mu_3$ , равным 1, 2, 10 и 100.

Из полученных результатов можно сделать следующие общие выводы:

1. Объемные электрические заряды не возникают ни в морской воде, ни в проводящих донных породах в случае потенциального движения морской воды.

2. Поверхностные электрические заряды (30), (31) определяются только компонентой геомагнитного поля  $F_y$ , амплитудой и частотой волны и глубиной океана и не зависят от магнитной проницаемости и электрической проводимости донных пород и морской воды.

3. Вдольгребневая компонента индуцированного магнитного поля  $B_{0y}$  равна нулю во всех средах.

4. Вдольгребневая компонента индуцированного электрического поля  $E_{0y}$  равна нулю в квазистатическом приближении, а компоненты  $E_{0x}$  и  $E_{0z}$ , как и поверхностные электрические заряды, не зависят от электрических и магнитных свойств воды и донных пород.

5. Для всех значений глубины океана  $H$  и периода волны  $T$  величина индуцированного магнитного поля монотонно растет к конечному предельному значению с ростом магнитной проницаемости донных пород и монотонно падает с ростом их проводимости.

#### Список литературы

1. Горская Е. М., Скрынников Р. Т., Соколов Г. В. Вариации магнитного поля, индуцированные движением морских волн на мелководье // Геомагнетизм и аэрономия. 1972. № 1. С. 153-156.
2. Гульельми А. В. Ультранизкочастотные электромагнитные волны в коре и магнитосфере Земли // УФН. 2007. Т. 177. № 13. С. 1258-1276.
3. Зоммерфельд А. Электродинамика. М., 1958.
4. Савченко В. Н., Смагин В. П., Фонарев Г. А. Вопросы морской электродинамики. Владивосток: ВГУЭС, 1999. 208 с.
5. Семкин С. В., Смагин В. П., Савченко В. Н. Магнитное поле инфразвуковой волны в океаническом волноводе // Геомагнетизм и аэрономия. 2008. Т. 48. № 3. С. 332-335.
6. Семкин С. В., Смагин В. П., Савченко В. Н. Генерация возмущений магнитного поля при подводном взрыве // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2010. Т. 46. № 1. С. 138-141.
7. Смагин В. П., Семкин С. В., Савченко В. Н. Электромагнитные поля, индуцированные корабельными волнами // Геомагнетизм и аэрономия. 2005. Т. 45. № 4. С. 564-570.
8. Сретенский Л. Н. Теория волновых движений жидкости. М.: Наука, 1977. 816 с.
9. Фонарев Г. А., Семенов В. Ю. Электромагнитное поле морских поверхностных волн // Исследование геомагнитного поля на акваториях морей и океанов. М.: ИЗМИРАН, 1978. С. 143-150.
10. Fraser D. C. The Magnetic Fields of Ocean Waves // Geophys. Journal Royal Astron. Soc. 1966. Vol. 11. № 5. P. 507-517.
11. Larsen J. C. Electric and Magnetic Fields Induced by Deep Sea Tides // Geophys. Journal Royal Astron. Soc. 1968. Vol. 16. P. 47-70.
12. Pukhtyar L. D., Kukushkin A. S. Investigation of the Electromagnetic Fields Induced by Sea Motion // Physical Oceanography. 1996. Vol. 7. № 1. P. 33-41.
13. Sanford T. B. Motionally Induced Electric and Magnetic Fields in the Sea // J. Geophys. Res. 1971. Vol. 76. № 15. P. 3476-3492.
14. Warburton F., Caminiti R. The Induced Magnetic Field of Sea Waves // J. Geophys. Res. 1964. Vol. 69. № 20. P. 4311-4318.
15. Weaver J. T. Magnetic Variation Associated with Ocean Waves and Swell // J. Geophys. Res. 1965. Vol. 70. № 8. P. 1921-1929.

УДК 34

Юридические науки

Виктория Витальевна Сидоренко, Айгуль Шарифовна Галимова  
Башкирский государственный университет

#### ПРОБЛЕМА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАБОЧЕГО ВРЕМЕНИ<sup>©</sup>

Рабочее время является важной категорией в организации труда на предприятии. Представляет собой время, в течение которого работник в соответствии с правилами внутреннего трудового распорядка и условиями трудового договора должен исполнять трудовые обязанности, а также иные периоды времени, которые в соответствии с законами и иными правовыми актами относятся к рабочему времени [8, ст. 91].

Рабочее время является естественной мерой труда, существуя при этом как многоплановая категория, т.к. от продолжительности рабочего времени зависит общее состояние здоровья и жизнедеятельности человека. Продолжительность и интенсивность рабочего времени прямо влияет на продолжительность времени отдыха необходимого человеку для восстановления сил, потраченной энергии, выполнения семейных обязанностей по воспитанию и т.д. Поэтому строжайшее соблюдение законодательства о рабочем времени одновременно является обеспечением важнейшего конституционного права человека - права на отдых. Регулирование рабочего времени решает такие важнейшие задачи как: установление возможного участия граждан в общественном труде, обеспечение охраны труда, соблюдение гарантии права на отдых [1, с. 112].