

Светличный В.А., аспирант
 Хорошайло Ю.Е., канд. техн. наук, доцент
 Константинова Л.И., канд. физ.-мат. наук, доцент
 Харьковский национальный университет радиоэлектроники
 г. Харьков, Украина

РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ В ТОНКИХ ПЛЕНКАХ

Введение. В настоящее время в мире, в том числе и в нашей стране наблюдается рост высокотехнологичных производств. Выпускаемая продукция должна соответствовать стандартам качества. Исходя из этого, системы контроля качества являются важнейшими составляющими любого технологического процесса [1]. Разнообразие и сложность геометрических форм деталей современного электротехнического оборудования, увеличение электромагнитных нагрузок и связанная с этим необходимость учета нелинейности среды, определяют предельно жесткие требования к точности расчетов электромагнитных полей.

Одним из наиболее эффективных и универсальных численных методов расчета электромагнитных полей является метод интегральных уравнений [2]. Однако, из-за некоторой сложности математического аппарата, он не нашел еще достаточно широкого распространения в электротехнических расчетах. Разработчики систем неразрушающего контроля, чаще обращаются к более громоздкому методу сеток. Огромный объем вычислений, связанных с размерностью получаемых систем алгебраических уравнений, на наш взгляд является недостатком метода сеток по сравнению с методом интегральных уравнений.

Основная часть. Сущность предлагаемого метода заключается в следующем. Для расчета электромагнитного поля в любой точке пространства сначала определяются все источники поля. Заменяя электромагнитное поле в неоднородной среде суммой двух полей в вакууме – первичного, созданного токами индуктора, и вторичного, образованного наведенными поверхностными зарядами на границе раздела сред и вихревыми токами, индуцированными в проводнике, строится итерационный алгоритм нахождения вторичных источников поля. При этом используется максимум информации о процессе [3, 4].

Проиллюстрируем использование метода вторичных источников на примере расчета синусоидально изменяющихся во времени квазистационарных электромагнитных полей в неоднородных проводящих средах. Необходимость решения такого рода численных задач, возникает при рассмотрении самых различных электротехнических проблем, например при рассмотрении наличия несовершенств тонких ферромагнитных пленок.

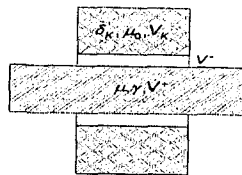


Рис.1. Вихрековый измерительный преобразователь и объект контроля

Рассчитаем электромагнитное поле, созданное переменными токами заданной плотности $\vec{\delta}_k$, рис. 1 протекающими в катушках вихрекового измерительного преобразователя V_k , ($k = 1, 2, \dots, n$), если ферромагнитное пространство в области V^+ заполнено проводящей средой с проводимостью γ и магнитной проницаемостью $\mu = 1$.

Предположим, что окружающая проводник V^+ среда является однородной в магнитном отношении и имеет проницаемость μ_0 . Сформулируем поставленную задачу расчета поля в виде краевой. Для этого воспользуемся уравнениями Максвелла,

$$\text{rot} \vec{H} = \vec{j}_{\text{полн}}, \quad \text{rot} \vec{E} = -\frac{d\vec{B}}{dt}$$

Уравнения синусоидального изменяющегося во времени электромагнитного поля имеют вид:

$$\text{rot} \vec{H} = \gamma \vec{E} + j\omega \epsilon \vec{E} + \vec{\delta} \quad (1)$$

$$\text{rot} \vec{E} = -j\omega \vec{H} \quad (2)$$

где $\vec{\delta}$ – вектор плотности стороннего тока, локализованного обычно в некоторой ограниченной части пространства (например, в катушках). Соответственно, при постоянстве параметров среды γ , ϵ и μ

$$\text{div} \vec{\delta} = 0; \quad (3)$$

$$\text{div} \vec{I} = 0; \quad (4)$$

$$\text{div} \vec{A} = 0; \quad (5)$$

Используя (1) и (2), поставленную задачу для расчета поля можно сформулировать в виде следующей краевой: найти в области V^- векторы \vec{H}^- и \vec{E}^- , а в области V^+ векторы \vec{H}^+ и \vec{E}^+ , удовлетворяющие уравнениям:

$$\text{rot} \vec{H} = \begin{cases} j\omega \epsilon_0 \vec{E}^- + \vec{\delta}_k \\ j\omega \epsilon_0 \vec{E}^+ \end{cases} \quad (6)$$

$$\text{rot} \vec{E}^- = j\omega \mu_0 \vec{H}^-; \quad (7)$$

$$\text{rot} \vec{H}^+ = j\omega \epsilon_0 \vec{E}^- + \gamma \vec{E}^+; \quad (8)$$

$$\text{rot} \vec{E}^+ = -j\omega \mu \vec{H}^+; \quad (9)$$

и краевым условиям на поверхности S проводника,

$$\left[\vec{n}, \vec{E}^+ - \vec{E}^- \right] = 0 \quad (10)$$

$$\left[\vec{n}, \vec{H}^+ - \vec{H}^- \right] = 0 \quad (11)$$

Для упрощения допустим, что сформулированная краевая задача имеет единственное решение, как показано и доказано в работах [5, 6]. Очевидно, что из условий (10), (11) и выражений (6) - (9) следуют краевые условия для нормальных составляющих векторов \vec{E} и \vec{H} на поверхности S :

$$\left[\vec{n}, \vec{H}^+ - \mu_0 \vec{H}^- \right] = 0; \quad (12)$$

$$\left[\vec{n}, \epsilon_0 \vec{E}^+ - \frac{\gamma}{j\omega} \vec{E}^- - \epsilon_0 \vec{E} \right] = 0 \quad (13)$$

Для случая тонких неферромагнитных пленок растекание вихревого тока в пленке можно считать поверхностным и описывать его при помощи функции тока. В работах [7, 8, 9] показано как функция тока применялась для расчета распределения вихревых токов в тонких пленках и оболочках. Однако, магнитным полем вихревых токов пренебрегали по сравнению с внешним магнитным полем, что на наш взгляд не всегда допустимо.

Под тонкой проводящей пленкой V (рис 2), будем понимать проводник, ограниченный двумя параллельными поверхностями S_1 и S_2 , расстояние между которыми (толщина оболочки) много меньше размеров S_1 и S_2 .

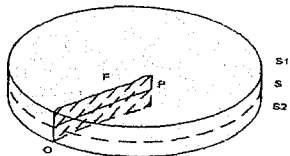


Рис.2. Тонкая проводящая пленка

Поверхность S , одинаково отстоящую от S_1 и S_2 будем называть средней поверхностью, а ограничивающий ее контур будем обозначать через L . Пусть P произвольная точка на S . Соединим ее каким-либо контуром C с любой точкой O границы L . Через F обозначим поверхность, заключенную между S_1 и S_2 и образованную движением нормали к S вдоль C . Значение функции тока Ψ^B в точке P определяется как:

$$\Psi^B(P) = \int_F \vec{\delta}(Q) d\vec{s}_Q \quad (14)$$

Из принципа непрерывности электрического тока следует, что значение функции тока не зависит от выбора контура C , соединяющего P с L , а определяется только положением точки P .

Реальную оболочку заменим бесконечно тонкой оболочкой, совпадающей с S и обладающей поверхностной удельной проводимостью $\sigma = \gamma h$. Действительное токораспределение в оболочке заменим поверхностным по S токораспределением, определив его при помощи соотношения:

$$\vec{j}^B = [\text{grad}_S \Psi^B, \vec{n}] \quad (15)$$

где \vec{j}^B - вектор линейной плотности тока; \vec{n} - единичный вектор нормали; градиент берется по поверхности S . Найдем выражения для векторного потенциала \vec{A}^B поля, созданного вихревыми токами в оболочке S . Для разности скалярного магнитного потенциала ϕ_m между точками P' и P'' , бесконечно близко прилегающими с разных сторон к S , согласно закону полного тока получаем:

$$\phi_m(P') - \phi_m(P'') = \oint_L \vec{H} d\vec{l} = \Psi^B(P) \quad (16)$$

Поэтому поверхностное распределение токов по S эквивалентно по создаваемому им магнитному полю двойному слою магнитных зарядов, распределенных по S с плотностью:

$$\tau(P) = \Psi^B(P) \quad (17)$$

Отсюда, используя формулу, выражающую векторный потенциал через плотность двойного слоя, находим

$$\vec{A}^B(Q) = \frac{\mu_0}{4\pi} \int_S \frac{\Psi^B(P) (\vec{r}_{QP}, \vec{n}_P)}{r_{QP}^3} dS_P \quad (18)$$

Соотношение (18) является основным для последующего вывода системы интегральных уравнений. Наиболее простой вид эта система имеет в случае, когда вихревые токи наводятся в проводящей тонкой пленке, а внешнее магнитное поле создается заданным распределением токов, вектор плотности которых параллелен плоскости пленки [9]. Расположим декартову систему координат так, что бы ось Z была перпендикулярна к плоскости пластины. Тогда для векторного потенциала поля от вихревых токов и векторного потенциала внешнего поля получаем:

$$\vec{A}^B(Q) = \frac{\mu_0}{4\pi} \int_S \frac{\Psi^B(P) (\vec{r}_{QP}, \vec{k}_z)}{r_{QP}^3} dS_P; \quad (19)$$

$$\vec{A}^{\delta}(Q) = \frac{\mu_0}{4\pi} \int_S \frac{i\vec{\delta}_x(P) + j\vec{\delta}_y(P) (\vec{r}_{QP}, \vec{k}_z)}{r_{QP}} du_P \quad (20)$$

Придадим формуле (20) вид, аналогичный (19). С этой целью в каждом сечении $z = \text{const}$ области $V = V^+ + V^-$ введем функцию тока $\psi^{\delta}(x, y, z)$ при помощи соотношений:

$$\delta_x(x, y, z) = \frac{\partial \psi^{\delta}(x, y, z)}{\partial y}; \quad \delta_y(x, y, z) = \frac{\partial \psi^{\delta}(x, y, z)}{\partial x} \quad (21)$$

Предположив при этом, что в области $V^+ \psi^{\delta}(x, y, z) = I(z)$, где $I(z)$ - значение функции тока на внутренней боковой поверхности области. Далее проинтегрировав по частям, находим:

$$A_x^{\delta}(Q) = \frac{\mu_0}{4\pi} \int_{V^+} \frac{\delta_x(P)}{r_{QP}} d\theta_P = \frac{\mu_0}{4\pi} \int_{V^+} \frac{\partial \psi^{\delta}(P)}{\partial y} d\theta_P = \frac{\mu_0}{4\pi} \int_{x_0}^h \int_{z_0}^d dx_P \int_{y^-(x_P)}^{y^+(x_P)} \frac{\frac{\partial \psi^{\delta}(x_P, y_P, z_P)}{\partial y_P} dy_P}{\sqrt{(x_Q - x_P)^2 + (y_Q - y_P)^2 + (z_Q - z_P)^2}}$$

$$\int_{y^-(x_P)}^{y^+(x_P)} \frac{\partial \psi^{\delta}(x_P, y_P, z_P)}{\partial y_P} dy_P = \psi^{\delta}(x_P, y_P, z_P) y^+(x_P) \Big|_{y^-(x_P)} - \int_{y^-(x_P)}^{y^+(x_P)} \psi^{\delta}(x_P, y_P, z_P) \times \frac{y_Q - y_P}{r_{QP}^3} dy_P = \int_{y^-(x_P)}^{y^+(x_P)} \frac{\psi^{\delta}(x_P, y_P, z_P) y^+(x_P)}{\sqrt{(x_Q - x_P)^2 + (y_Q - y_P)^2 + (z_Q - z_P)^2}} dy_P \quad (22)$$

$$A_x^{\delta}(Q) = \frac{\mu_0}{4\pi} \int_{V^+} \psi^{\delta}(P) \frac{(y_Q - y_P)}{r_{QP}^3} d\theta_P$$

При выводе соотношения (22) учтено, что $\psi^{\delta}(x_P, y_P, z_P)$ на внешней боковой поверхности

Из выражения (22) следует

$$\vec{A}^{\delta}(Q) = \mu_0 / 4\pi \int_{V^+} \psi^{\delta}(P) \vec{k} \int_{\Gamma_1(QP)} \vec{k}' / |\Gamma_1(QP)|^3 d\theta_P \quad (23)$$

Для линейной плотности \vec{j}^B вихревых потоков в пластине находим

$$\vec{j}^B = \gamma h \vec{E} = -j\omega \gamma h (\vec{A}^B + \vec{A}^{\delta}) - \gamma h \text{grad} \phi_m \quad (24)$$

где скалярный электрический потенциал ψ удовлетворяет на поверхности по переменным x и y уравнению Лапласа и выбирается в последующем таковым образом, чтобы на краю пластины L выполнялось следующее граничное условие:

$$\bar{j}^B(Q) \cdot \bar{v}_Q = 0,$$

где \bar{v}_Q — единичный вектор нормали к L .

Выберем на S какой-либо контур C_{0Q} , соединяющий произвольно точки O и Q . Из определения функции тока имеем:

$$\psi^B(Q) - \psi^B(O) = \int_{C_{0Q}} (\bar{k} [\bar{j}^B(M), \bar{d}l_M]).$$

Отсюда, учитывая выражения (19), (23) и (24), находим

$$\psi^B(Q) - \psi^B(O) + \frac{j\omega\mu_0\gamma h}{4\pi} \left\{ \int_S \psi^B(P) \left(\int_{C_{0Q}} \frac{[\bar{k} [\bar{r}_{PM}, \bar{k}], \bar{d}l_M]}{r_{PM}^3} \right) dS_P + \int_V \psi^B(P) \left(\int_{C_{0Q}} \frac{[\bar{k} [\bar{r}_{PM}, \bar{k}], \bar{d}l_M]}{r_{PM}^3} \right) dV_P \right\} + \gamma h \int_{C_{0Q}} (\bar{k} [\text{grad}_M \psi, \bar{d}l_M]) = 0. \quad (27)$$

Для двойного векторного произведения получаем $[\bar{r}_{PM}, \bar{k}], \bar{d}l_M] = \bar{r}_{PM}(\bar{k} \cdot \bar{d}l_M) - \bar{k}(\bar{r}_{PM} \cdot \bar{d}l_M) = -\bar{k}(\bar{r}_{PM} \cdot \bar{d}l_M)$, откуда $(\bar{k} [\bar{r}_{PM}, \bar{k}], \bar{d}l_M) = -\bar{r}_{PM} \cdot \bar{d}l_M$.

Следовательно,

$$\int_{C_{0Q}} \frac{(\bar{k} [\bar{r}_{PM}, \bar{k}], \bar{d}l_M)}{r_{PM}^3} = \int_{C_{0Q}} \frac{-(\bar{r}_{PM} \cdot \bar{d}l_M)}{r_{PM}^3} = \int_{C_{0Q}} \text{grad}_M \left(\frac{1}{r_{PM}} \right) \bar{d}l_M = \frac{1}{r_{QP}} - \frac{1}{r_{OP}}.$$

Учитывая это, из выражения (27) находим

$$\psi^B(Q) - \psi^B(O) + \frac{j\omega\mu_0\gamma h}{4\pi} \left\{ \int_S \psi^B(P) \left(\frac{1}{r_{QP}} - \frac{1}{r_{OP}} \right) dS_P + \int_V \psi^B(P) \left(\frac{1}{r_{QP}} - \frac{1}{r_{OP}} \right) dV_P \right\} + \gamma h \int_{C_{0Q}} (\bar{k} [\text{grad}_M \psi, \bar{d}l_M]) = 0. \quad (28)$$

Скалярный потенциал ψ в области S является решением внутренней задачи Неймана для уравнения Лапласа с краевым условием

$$\frac{\partial \psi}{\partial \bar{v}_Q}(Q) = -j\omega A_0^B(Q) - j\omega A_1^B(Q), \quad (29)$$

определенным из соотношений (25) и (24).

Для разрешимости внутренней задачи Неймана необходимо и достаточно, чтобы

$$\oint_L A_0^B(Q) dI_Q + \oint_L A_1^B(Q) dI_Q = 0. \quad (30)$$

Из соотношений (19) и (23) следует, что условие будет выполнено, если,

$$\oint_L \frac{(\bar{v}_Q \cdot [\bar{r}_{QM}, \bar{k}])}{r_{QM}^3} dI_Q = 0.$$

Справедливость этого соотношения проверяется просто:

$$\oint_L \frac{(\bar{v}_Q \cdot [\bar{r}_{QM}, \bar{k}])}{r_{QM}^3} dI_Q = \oint_L \text{grad}_Q \left(\frac{1}{r_{QM}} \right) \bar{d}l_Q = 0$$

Определив потенциал в виде

$$\psi_0(Q) = \frac{1}{2\pi} \oint_L \sigma(P) \ln \left(\frac{1}{r_{QP}} \right) dI_P,$$

применив выражение (29) имеем интегральное уравнение

$$\sigma(Q) \frac{1}{\pi} \int_L \frac{\sigma(Q') \left[\cos(\angle) \frac{[\bar{r}_{QP}, \bar{v}_Q]}{r_{QP}} \right] dI_{P'} + \frac{j\omega\mu_0}{2\pi} \int_S \psi^B(P) \sin \angle(\bar{r}_{QP}, \bar{v}_Q) dS_P = - \frac{j\omega\mu_0}{2\pi} \int_V \psi^B(M) \sin \angle(\bar{r}_{QP}, \bar{v}_Q) dV_P. \quad (31)$$

где P' — проекция P на плоскость пластины.

Таким образом, интегральное уравнение (31) решено, однако решений может быть больше одного [10]. Для того, чтобы это уравнение стало однозначно разрешимым, преобразуем его к виду:

$$\sigma(Q) \frac{1}{\pi} \int_L \left[\frac{\sigma(P') \left[\cos(\angle) \frac{[\bar{r}_{QP}, \bar{v}_Q]}{r_{QP}} \right] dI_{P'} + \frac{j\omega\mu_0}{2\pi} \int_S \psi^B(M) \sin \angle(\bar{r}_{QP}, \bar{v}_Q) dS_P \right] = - \frac{j\omega\mu_0}{2\pi} \int_V \psi^B(M) \sin \angle(\bar{r}_{QP}, \bar{v}_Q) dV_P. \quad (32)$$

Нетрудно видеть, что

$$\int_{C_{0Q}} (\bar{k} [\text{grad}_M \psi, \bar{d}l_M]) = \frac{1}{2\pi} \oint_L \sigma(P) \left(\int_{C_{0Q}} \text{grad}_M \left(\frac{\ln 1}{r_{PM}} \right) \bar{d}l_P \right) dI_P = \frac{1}{2\pi} \oint_L \sigma(P) [\Theta(Q, P) - \Theta(O, P)] dI_P, \quad (33)$$

где grad_M — нормальная к контуру C_{0Q} составляющая градиента; $\Theta(Q, P)$ — угол между некоторой осью x и \bar{r}_{QP} . Учитывая равенство (33), из выражения (28) находим

$$\psi^B(Q) + \frac{j\omega\mu_0\gamma h}{4\pi} \left\{ \int_S \psi^B(P) dS_P + \frac{\gamma h}{2\pi} \oint_L \sigma(P) \Theta(Q, P) dI_P \right\} + \frac{j\omega\mu_0\gamma h}{4\pi} \int_V \psi^B(P) dV_P = \psi^B(O) + \frac{j\omega\mu_0\gamma h}{4\pi} \int_S \psi^B(P) dS_P + \frac{\gamma h}{2\pi} \oint_L \sigma(P) \Theta(O, P) dI_P + \frac{j\omega\mu_0\gamma h}{4\pi} \int_V \psi^B(P) dV_P. \quad (34)$$

Левая часть уравнения зависит только от Q , а правая — от Θ , поэтому каждая из них порознь равна одной и той же константе, т.е.

$$\psi^B(Q) + \frac{j\omega\mu_0\gamma h}{4\pi} \int_S \psi^B(P) dS_P + \frac{\gamma h}{2\pi} \oint_L \sigma(P) \Theta(Q, P) dI_P + \frac{j\omega\mu_0\gamma h}{4\pi} \int_V \psi^B(P) dV_P = c \quad (35)$$

Дифференцируя уравнение (35) по касательному к контуру L направлению I_Q и учитывая, что

$$\frac{\partial \Theta(Q, P)}{\partial I_Q} = \frac{\partial \ln 1}{\partial v_Q},$$

находим

$$\frac{\partial \psi^B(Q)}{\partial I_Q} + \frac{j\omega\mu_0\gamma h}{4\pi} \int_S \psi^B(P) \frac{\sin \angle(\bar{r}_{QP}, \bar{v}_Q)}{r_{QP}^2} dS_P + \frac{\gamma h}{2} \frac{\partial \Theta(Q)}{\partial I_Q} - \frac{\gamma h}{2\pi} \oint_L \sigma(Q') \frac{[\cos(\angle) \frac{[\bar{r}_{QP}, \bar{v}_Q]}{r_{QP}}] dI_{P'}}{r_{QP}} + \frac{j\omega\mu_0\gamma h}{4\pi} \int_V \psi^B(P) \frac{\sin \angle(\bar{r}_{QP}, \bar{v}_Q)}{r_{QP}^2} dV_P = 0$$

$$\frac{\partial \psi^B(Q)}{\partial I_Q} = 0$$

Отсюда и из выражения (31) получаем

Таким образом, из уравнений (35) и (31) следует, что

$$\psi^B(Q) \equiv \text{const при } Q \in L. \quad (36)$$

Для того, чтобы $\psi^B(Q) = 0$ при $Q \in L$, константу C в выражении (35) нужно выбрать таким образом, чтобы

$$\oint_L \psi^B(Q) dl_Q = 0 \quad (37)$$

Тогда из соотношений (36) и (37) получаем

$$\psi^B(Q) = 0 \text{ при } Q \in L. \quad (38)$$

Интегрируя выражение (35) по L и учитывая условие (37), находим

$$C = \frac{j\omega\mu_0 \gamma h}{4\pi L} \int_L \psi^B(P) \left[\oint_L \frac{dl_Q}{r_{QP}} \right] dl_P + \frac{\gamma h}{2\pi L} \oint_L \sigma(P) \left[\oint_L \theta(Q, P) dl_Q \right] dl_P + \frac{j\omega\mu_0 \gamma h}{4\pi L} \int_V \psi^B(P) \left[\oint_L \frac{dl_Q}{r_{QP}} \right] dv_P.$$

Подставляя последнее в выражение (35), находим распределение

$$\psi^B(Q) + \frac{j\omega\mu_0 \gamma h}{4\pi} \int_V \psi^B(P) \left[\frac{1}{r_{QP}} - \frac{1}{L} \oint_L \frac{dl_M}{r_{PM}} \right] dv_P + \frac{\gamma h}{2\pi L} \oint_L \sigma(P) \left[\theta(Q, P) - \frac{1}{L} \oint_L \theta(M, P) dl_M \right] dl_P = - \frac{j\omega\mu_0 \gamma h}{4\pi} \int_V \psi^B(P) \left[\frac{1}{r_{QP}} - \frac{1}{L} \oint_L \frac{dl_M}{r_{PM}} \right] dv_P \quad (39)$$

Вывод. Таким образом решение задачи численного расчета электромагнитного поля вихревых токов в тонкой пленке, позволяет получить зависимости для поверхностной удельной электрической проводимости и функции тока, образующие полную систему интегральных уравнений. Решение системы уравнений, позволяет найти распределение $\psi^B(Q)$ и $\vec{\delta}(Q)$, по которым определяют линейную плотность вихревого тока.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Неразрушающий контроль. Справочник в 7 т.: Т.2 / под общ. ред. В.В.Клюева. М.; Машиностроение, 2003. – 688 с.: ил.
2. Светличный В.А., В.В. Тулупов Неразрушающий контроль пленок и покрытий // Системи озброєння і військова техніка – Харків ХУПС ім. І.Кожедуба - 2010 - №3(23) с.160-162.
3. Цейтлин Л.А. Вихревые токи в тонких пластинах и оболочках. – «Журнал технической физики». Т.ХХХІХ. 1969 №10.
4. Цейтлин Л.А. Потери на вихревые токи в тонких пластинах. – «Электричество», 1969, №9.
5. Тозони О.В. Метод вторичных источников в электротехнике. М.: Энергия, 1975. 296 с.
6. Тозони О.В., Маергойз И.Д. Расчет трехмерных электромагнитных полей. К.: Техніка, 1974. 352 с.
7. Данилушкин А. И., Данилушкин И.А. Метод вторичных источников для моделирования электромагнитных процессов при индукционном нагреве // Вестник СамГТУ. Серия: Физико-математические науки. 1998. № 6. С. 141-142.
8. Ковбасенко Ю.П. Метод расчета трехмерного электромагнитного поля тонких пластин и оболочек // Электричество. 1992. № 14. С. 45-47.
9. Некрасов Н.Н., Смирнов С.А. К расчету вихревых токов в тонкой пластине // Электричество. 1998. № 10. С. 61-65.
10. Гримальский О.В. Метод расчета трехмерного электромагнитного поля тонких пластин и оболочек // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт. 1990. № 6. С. 61-68.

Серпуховитина Т.Ю., канд. техн. наук, доцент

Губкинский институт (филиал)
ФГБОУ ВПО «Московский государственный
открытый университет им. В.С. Черномырдина»

ВОЗДЕЙСТВИЕ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ НА РАСТИТЕЛЬНЫЙ И ЖИВОТНЫЙ МИР БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ

Работа горнодобывающих предприятий региона приводит к прямому и косвенному воздействию на растительный мир.

Основными видами прямого воздействия на растительность являются:

1. Механическое (уничтожение и угнетение растительности в пределах дополнительно отчуждаемых земель в результате размещения объектов предприятия, передвижения машин и механизмов, планировочных и земляных работ).

2. Химическое (угнетение растительности в результате негативного воздействия выбросов загрязняющих веществ в атмосферу при работе оборудования, машин и механизмов).

Опосредованное воздействие будет связано с изменением характера землепользования, что приведет к временному перераспределению и изменению количественных соотношений диких животных, и, как следствие, к изменению структуры экосистемы и сложившихся биоценологических отношений.

Работа предприятий связана с постоянным присутствием людей и работой оборудования на территории, что окажет воздействие на животное население, как на площади дополнительного отвода земли, так и в зонах влияния объекта.

Негативное воздействие на животных окажут следующие факторы:

- полное уничтожение исходных биотопов на дополнительно отчуждаемой площади ведения работ;
- загрязнение природной среды;
- проявление фактора беспокойства, вынуждающего большую часть зверей и птиц покидать свойственные им биотопы.

Вследствие загрязнения биотопов горюче-смазочными и химическими материалами возможны заболевания и гибель животных.

В период производства планируемых работ животное население данной территории будет испытывать воздействие от проявления фактора беспокойства, нарушающего спокойное пребывание диких животных в угодьях. Он формируется под влиянием следующих причин:

- шума и вибраций, создаваемых при проведении технологических операций и при работе машин и механизмов;
- источников тепловых, акустических и электрических полей;
- пребывания в угодьях людей.

Самым существенным видом воздействия на животный мир будет уничтожение местобитаний в пределах отчуждаемых земель. Кроме того, шумовые, вибрационные и световые воздействия, производимые при выполнении технологических операций, будут причиной беспокойства животных, обитающих в районе месторождения и, как следствие, вызовут откочевку части особей с прилегающей к месторождению территории.

Основной ущерб животному миру будет связан с уничтожением биотопов в пределах участка проектируемых работ, исключением из воспроизводства части птиц

Министерство образования и науки РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Московский государственный открытый университет
имени В.С. Черномырдина»

ЭКОНОМИКА, НАУКА, ПРОИЗВОДСТВО

Сборник научных трудов №25

Москва
2012

96



УДК 001
УДК 330
УДК 658

Э 35

Экономика, наука, производство: Сборник научных трудов №25 – М.: Издательство «Московский государственный открытый университет имени В.С. Черномырдина, 2012.– 164 с.

Сборник содержит научные труды, представленные профессорско-преподавательским составом Губкинского института (филиала) ФГБОУ ВПО МГОУ имени В.С. Черномырдина и других вузов по техническим, гуманитарным, естественным, социально-экономическим наукам.

Материалы публикуются в авторской редакции.

Редакционная коллегия: канд. техн. наук, доц. О.П. Зюбан (редактор); канд. экон. наук, доц. А.П. Жилинкова (зам. редактора); док. ист. наук, С.В. Богданов; канд. техн. наук, доц. В.Н. Аллилуев; канд. филол. наук В.И. Дружинина; канд. техн. наук Т.Ю. Серпуховитина; канд. филос. наук Н.А. Тошева.

УДК 001
УДК 330
УДК 658

Э 35

© Авторы, 2012 г.
© ФГБОУ ВПО «Московский государственный
открытый университет имени В.С. Черномырдина»
2012 г.

СОДЕРЖАНИЕ

Аллилуев В.Н., Бизюлев М.А. КОМПЛЕКСНОЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ПОДЗЕМНОГО СООРУЖЕНИЯ	6
Афанасьев В.А., Наталуха Ю.В., Токарев В.В. ВОССТАНОВЛЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ФИНИТНЫХ ДЕКОНВОЛЮЦИОННЫХ ОКОН, ПОСТРОЕННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АТОМАРНЫХ ФУНКЦИЙ	10
Афанасьева Г.Е. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ДИНАМИКА СОСТОЯНИЯ ВОЗДУШНОГО БАССЕЙНА ГОРОДОВ СТАРЫЙ ОСКОЛ И ГУБКИН	14
Богданова Л.П. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ В ЭКОЛОГИИ	17
Бондаренко А.Ю., Ключник И.И. ИССЛЕДОВАНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ ПИРОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ИНФРАКРАСНОГО ЧАСТОТНОГО ДИАПАЗОНА	20
Борисенко А.С., Наталуха Ю.В., Ключник И.И. МЕТОДЫ АДАПТИВНОЙ МАРШРУТИЗАЦИИ И ИХ ОПТИМИЗАЦИЯ	27
Булгаков И.С., Терехин Е.П., Секисова И.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ КОЭФФИЦИЕНТА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ТРЕНИЯ ЖИДКОСТИ (λ), СКОРОСТИ (U), КОЭФФИЦИЕНТА КИНЕТИЧЕСКОЙ ВЯЗКОСТИ (ν), ЧИСЛА РЕЙНОЛЬДСА (Re) ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ГИДРОПРИВОДУ	31
Булгаков И.С., Фурсова Г.И., Сивакова Т.М. ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ ГИДРОТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА С ТРУБНЫМ ЗАГРУЗОЧНЫМ АППАРАТОМ ПРИ ДОСТАВКЕ АБРАЗИВНЫХ РУД	35
Булгаков И.С., Чертова Е.П., Серпуховитина Т.Ю. ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ РЕАЛИЗАЦИИ ВЗВОТХОДНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ ОБОГАЩЕНИЯ КМА МОБИЛЬНЫМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ КОМПЛЕКСАМИ	39
Галкин П.В. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СБОРА ИНФОРМАЦИИ В БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЯХ	42
Гурбовицкий А.И., Крутеких В.В., Зюбан А.П. ВЫРАЖЕНИЕ СРЕДНЕЙ МОЛЬНОЙ ТЕПЛОЕМКОСТИ ПРИ ПОСТОЯННОМ ОБЪЕМЕ ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ БЕНЗИНА И ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА ЛИНЕЙНЫМИ ЗАВИСИМОСТЯМИ ОТ АБСОЛЮТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ДЛЯ ДИАПАЗОНОВ КОШЕЧНЫХ ТЕМПЕРАТУР РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ ДВС	45

Гзогян Т.Н. ОСОБЕННОСТИ СОСТАВА И СВОЙСТВ ОКИСЛЕННЫХ ЖЕЛЕЗИСТЫХ КВАРЦИТОВ МИХАЙЛОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КМА	52
Гзогян Т.Н., Булгакова А.П., Гзогян С.Р. ОСОБЕННОСТИ СОСТАВА И СВОЙСТВ ОКИСЛЕННЫХ ЖЕЛЕЗИСТЫХ КВАРЦИТОВ СТАРООСКОЛЬСКОГО РАЙОНА КМА	59
Дрегель Л.Г. КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ БАШЕННЫХ КОПРОВ ЕВРОПЕЙСКИХ ШАХТ С БОЛЬШОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬЮ	66
Дрегель Л.Г. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГЛУШИТЕЛЕЙ ШУМА ПНЕВМАТИЧЕСКИХ БУРИЛЬНЫХ ГОЛОВОК, УСТАНОВОК И СТАНКОВ ДЛЯ БУРЕНИЯ ШПУРОВ НА ГОРНОРУДНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ	71
Дружинина В.И. ЕВРАЗИЙСТВО КАК ПОИСК ПУТИ РОССИИ В XXI ВЕКЕ	77
Жилинкова А.П. ПОДГОТОВКА ИННОВАЦИОННО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ МЕНЕДЖЕРОВ	80
Зуев Н.Г., Титаренко А.М., Подгайко О.И. АППРОКСИМАЦИИ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАМАГНИЧИВАНИЯ НЕЛИНЕЙНОЙ ИНДУКТИВНОСТИ	82
Ключник И., Шинкаренко Ю. СИНХРОННЫЕ ВЫПРЯМИТЕЛИ В Понижающие - ПОВЫШАЮЩИХ КОНВЕРТЕРАХ	87
Козырев В.А., Глушков А.И. ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОАКУСТИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ В ГИДРОАКУСТИКЕ	92
Колесникова Г.Н. О СОВРЕМЕННЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАНИЯХ	95
Левина Т.А. АНТРОПОГЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ В УСЛОВИЯХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЭКОСИСТЕМ	97
Логвинова А.Н. ФИНАНСОВОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНЧЕСКИЙ УЧЕТ: ПРОБЛЕМЫ ВНЕДРЕНИЯ	100
Мальцева В.Е. ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ СВОЙСТВ КОНЦЕНТРАТА НА ТЕХНОЛОГИЮ ОКОМКОВАНИЯ И КАЧЕСТВО ОКАТЫШЕЙ ДЛЯ МЕТАЛЛИЗАЦИИ	102
Пацченко А.Ю., Жданов Н.Н., Умяров Р.Я. ТЕНДЕНЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МЕТОДИК ИЗВЛЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ ПРИ АКУСТИЧЕСКОМ ЗОНДИРОВАНИИ АТМОСФЕРНОГО ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ	105

Популов М.Ф. МОДЕЛЬ ВЗАИМОСВЯЗИ МЕЖДУ ВЫЛЕТОМ КРЮКА И ГРУЗОПОДЪЕМНОСТЬЮ МОНТАЖНОГО КРАНА	109
Пятипола О.Н., Помельникова О.М., Шилова О.Н. СТРАТЕГИЧЕСКИЕ ПРИОРИТЕТЫ РАЗВИТИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА ГУБКИНСКОГО ГОРОДСКОГО ОКРУГА	111
Русянова Т.И. ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННОГО МЕНЕДЖМЕНТА	114
Светличный В.А., Хорошайло Ю.Е., Константинова Л.И. РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ В ТОНКИХ ПЛЕНКАХ	116
Серпуховитина Т.Ю. ВОЗДЕЙСТВИЕ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ НА РАСТИТЕЛЬНЫЙ И ЖИВОТНЫЙ МИР БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ	123
Сивякова Т.М. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УПРУГИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОТДЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КАРДАННЫХ ШАРНИРОВ	125
Силкина Ю.В. АНАЛИЗ СПОСОБОВ АДАПТАЦИИ МОЛОДЕЖИ В СИТУАЦИИ ПОИСКА РАБОТЫ	128
Силкина Ю.В. ЛОКАЛИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ КАК ФАКТОР РЕГУЛИРОВАНИЯ СОЦИАЛЬНОЙ АДАПТАЦИИ БЕЗРАБОТНОЙ МОЛОДЕЖИ	133
Тараруев В.В. ИННОВАЦИИ В БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ, КАК СОСТАВНАЯ ЧАСТЬ ОБЩЕРОССИЙСКОГО ПРОЦЕССА.	136
Фурсова Г.И. МЕСТО ЧЕРЧЕНИЯ В СОВРЕМЕННОЙ СИСТЕМЕ ОБРАЗОВАНИЯ	142
Цымбал Л.И., Лысенков Н.А. О СОЗДАНИИ И АНАЛИЗЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕСТОВ ДЛЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ДИСЦИПЛИН	146
Шавчук М.И., Шубин Б.К. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КАЛЬКУЛИРОВАНИЯ СВЕСТОИМОСТИ ДОБЫЧИ РУДЫ НА ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ШАХТАХ	151
Шубин Б.К., Тимофеев П.В. СТИМУЛИРОВАНИЕ ЭКОНОМИИ МАТЕРИАЛЬНЫХ И ТОПЛИВНО- ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ НА ГОРНОРУДНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ	155
Шульгина И.П. УВЕЛИЧЕНИЕ ДОХОДА РАБОТНИКА ВОЗМОЖНО ЗА СЧЕТ ДАЛЬНЕЙШЕГО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ОПЛАТЫ ТРУДА НА ПРЕДПРИЯТИИ	162

96



Сборник научных трудов №25
2012 г.

ЭКОНОМИКА, НАУКА, ПРОИЗВОДСТВО

Корректра авторов
Компьютерная верстка: В.В. Тараруев

Формат 60x84/16. Тираж 100 экз. Заказ 5.
Издательство ФГБОУ ВПО «МГОУ имени В.С. Черномырдина», г. Москва
Отпечатано в Губкинском институте (филиале) ФГБОУ ВПО
«Московский государственный открытый университет имени В.С. Черномырдина».
309186, Белгородская обл., г. Губкин, ул. Комсомольская, 16