

ISSN 2411-1899



ЕВРАЗИЙСКОЕ НАУЧНОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ

ЭФФЕКТИВНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СОВРЕМЕННОСТИ

X Международная научная конференция



ОКТАБРЬ
2015
ЧАСТЬ 1

МОСКВА

СОДЕРЖАНИЕ

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ
НАУКИ

- Брук В.А.**
About incompatibility of the conventionalist concept of simultaneity with the principle of relativity 1
- Гайсин М.А.**
Физическая природа космологического красного смещения. Принцип формирования самой большой структуры Вселенной. Детектирование гравитационных волн 6
- Гребенников А.И.**
Новый физический Принцип Обобщенных Лучей и явный метод решения прямых и обратных задач для уравнений математической физики 9
- Елеуов А.А., Толеугазы Б.,
Нестеренкова Л.А.**
Об одном применении собственных значений матриц при обработке статистических данных 11
- Львов О.С.**
Электродинамика движущихся сред в тензорной релятивистской форме 15
- Ромакина Л.Н.**
Развитие представлений о геометрии окружающего пространства 18
- Салпагаров С.И.**
Моделирование оптимизационной задачи на гиперграфах 21
- Севастьянов Е.А.**
Lp-отклонения числовых последовательностей в задачах численного интегрирования 23
- Якшина А.С.**
Однородная задача Римана с коэффициентом, заданным в виде степенной функции 26
- Магазов С.С.**
Информационные ресурсы глобальных систем мониторинга океана для задач гидроакустики 29

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

- Аюшеева Н.Н., Гомбожапова Т.Н.**
Научный текст как объект автоматизированной обработки 43
- Бобровник А.А., Быкова С.Ф.**

- Современные концепции реализации энергетической конверсии отходов растительного происхождения 44
- Воронова Е.В., Десятов Д.Б.**
Анализ конфликта в стохастических технологических системах 46
- Гареев Б.М., Бусарев А.В., Селюгин А.С.,
Каюмов Ф.Ф.**
Глубокая очистка сточных вод от мойки легковых автомобилей с применением адсорбционных фильтров 48
- Глоба Р.А., Трофимов М.А.**
Проведение ультразвукового контроля двухкомпонентного материала 49
- Глоба Р.А., Трофимов М.А.**
Исследование зависимости амплитуды акустического эхо-сигнала от температуры в зоне термического влияния сварного соединения 51
- Глоба Р.А., Трофимов М.А.**
Исследование зависимости амплитуды акустического эхо-сигнала от среднего размера зерен в сварном соединении 54
- Заика И.В.**
Схема численной оптимизации с приложением к локализации нулей полиномов 57
- Козловский А.Н.**
Алгоритмы обнаружения и распознавания простого объекта на изображениях 58
- Поникаров А.С., Теляков Э.Ш.**
Формирование профилей скоростей и концентраций в турбулентном газовом потоке 62
- Тарасов П.И., Тарасов С.П., Фефелов Е.В.,
Тарасов А.П.**
Специализированная железная дорога как основа развития транспортной инфраструктуры 64
- Тынченко В.В., Семенкин Е.С.**
Самоналагоджувальні технології обчислювального інтелекту для автоматизації моделювання та оптимізації складних систем 67
- Харланенков Д.В.**
Библиотека в облаке 69
- Юров С.С., Теплых С.Ю., Горшкалёв П.А.,
Юрова А.О.**
Технико-экономическое сравнение вариантов водоотводящих систем 70

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

- Шуршалова Н.Ф., Нечаева О.В.,
Тихомирова Е.И.**
Биомониторинг токсичности гетероциклических
соединений с высокой антимикробной
активностью72

МЕДИЦИНСКИЕ НАУКИ

- Далгатова А.Н., Дудина О.В.**
Выраженность клинической симптоматики и
функциональные нарушения у пациентов с
ХОБЛ различной степени тяжести, а также
при сочетании ХОБЛ и БА 75

ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИЕ НАУКИ

- Чепурная Г.П., Карташов В.А.,
Чернова Л.В.**
Определение золпидема в биологических
объектах лабораторных животных77
- Чуенкова Е.А., Зиганшина Л.Е.**
Общеизвестные и новые аспекты в изучении
кетамин (обзор зарубежных исследований) . . .
.79

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

About incompatibility of the conventionalist concept of simultaneity with the principle of relativity

Brook Valeriy Arkadievich
Ukraine, Kharkov

Abstract. Considered the question of permissibility of non-standard clock synchronizations in inertial frames, declared by the conventionalist concept of simultaneity. It is shown that the introduction of a unified simultaneity for all inertial frames, permissible by this concept, leads to physical results in areas of electrodynamics, mechanics, optics, contradicting to the principle of relativity.

Special relativity considers physical processes in inertial frames moving relative to each other with constant velocity in an isotropic space. Is used Einstein's clock synchronization in each frame. Its using is based on the assumption of independence in all frames of velocity of light in a vacuum from direction of propagation. The velocity of light is considered to be the maximum velocity of propagation of physical signals, owing to what a number of other synchronizations along with Einsteinian are admissible according to the known conventionalist concept of simultaneity [1-5]. Is permissible, in particular, the introduction of a unified simultaneity for all inertial frames.

The essence of the conventionalist concept consists in the following. Let light signal is sent at time t_1 from point A, and after reflection at point B is returned to A at the time t_3 . The time of arrival of the signal at the point B can be considered as simultaneous with any moment t_2 at point A, satisfying the condition

$$t_2 = t_1 + \eta(t_3 - t_1), \quad (1)$$

where $0 < \eta < 1$ is the so-called synchronization parameter.

It is necessary to select among synchronizations, defined by the equality (1), one synchronization, in which the time t in the considered frame does not depend on the spatial coordinate \mathbf{r} (vectors written here and below in bold). We suppose, that such synchronization is performed. We now introduce the time τ , that different from t by clock synchronization. It is necessary in this case take into account the following circumstance. Change of synchronization means execution of unequal for different points of space shift of start of timing. Therefore, the time τ differs from t on some function $f(\mathbf{r})$. That is

$$\tau = t + f(\mathbf{r}).$$

Since t does not depend on \mathbf{r} , then τ is a function of \mathbf{r} . If to operate with the time τ in the normal way, you can come to incorrect physical results. Consider a simple example. We suppose, that $f(\mathbf{r})$ is a linear function. In this case $\nabla f = \text{const}$. We introduce a Cartesian coordinate systems x, y, z in the considered frame, so that the x direction coincides with the direction of the vector ∇f . We will consider the free rotation of a rigid body about the z -axis. We get for "angular velocity" of rotation $d\varphi/d\tau$

$$\frac{d\varphi}{d\tau} = \frac{\omega}{1 - \nabla f \omega r \sin\varphi},$$

where φ is the angle measured from the x axis, r is the distance of the considered point of the rigid body to the z -axis, $\omega = d\varphi/dt = \text{const}$. "Angular speed" $d\varphi/d\tau$ is dependent on the angle and on the distance from the axis of rotation.

We choose Einstein's synchronization condition only in one inertial frame K. We choose the synchronization condition in all other inertial frames depending on their velocity relative to the frame K so as to provide in these frames unified simultaneity with the frame K. We assume that one of the inertial frames K' moves relative to K with velocity \mathbf{V} . We introduce in K and K' the Cartesian coordinate systems with axes, respectively, xyz and $x'y'z'$ so that the direction of the coordinate axes x and x' coincided with the direction of the vector \mathbf{V} . We believe that the time t' in the frame K' differs by the amount $\frac{Vx'}{c^2}$ from the time τ' corresponding to the Einstein's synchronization in this frame

$$t' = \tau' + \frac{Vx'}{c^2}.$$

That is, the synchronization parameter η in K' is

$$\eta = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{V}{c} \cos\theta' \right), \quad (2)$$

where θ' is the angle between the axis x' and the direction of light emission from point A. Is selected the synchronization condition in all other inertial frames same as in K'. This choice of synchronization condition is equivalent to Einstein's synchronization from the viewpoint of the conventionalist concept. But this choice of synchronization condition in the isotropic space means, in contrast to Einstein's synchronization, the introduction of time depending on the spatial coordinate x' . This choice of synchronization condition can be correct only in the anisotropic space with the corresponding character of anisotropy. But the anisotropy in such space must to manifest itself in physical processes. Let's see what the physical results are the consequence of the choice of the synchronization condition (2).

Transformations of spatial coordinates and time from K to K', corresponding to the synchronization condition (2), have the

form

$$x' = \frac{x - Vt}{\sqrt{1 - V^2/c^2}}, \quad y' = y, \quad z' = z, \quad t' = \sqrt{1 - V^2/c^2} t. \quad (3)$$

The transformation of time (3) is different from the Lorentz transformation of time by an amount $\frac{Vx'}{c^2}$. But the transformations (3) can also be considered as Lorentz transformations, since Lorentz did not recognize the relativity of simultaneity, and he believed that the time t' , appearing in the transformations (3), is a true time and the aforementioned time τ' called, citing his, "no more than an auxiliary mathematical value" [6].

We obtain the transformations of components of the velocity \mathbf{u} of the particle and the angle θ_u between vectors \mathbf{u} and \mathbf{V} using the coordinate transformations (3)

$$u'_x = \frac{u_x - V}{1 - V^2/c^2}, \quad u'_y = \frac{u_y}{\sqrt{1 - V^2/c^2}}, \quad u'_z = \frac{u_z}{\sqrt{1 - V^2/c^2}}, \quad (4)$$

$$\cos\theta'_u = (\cos\theta_u - \frac{V}{u}) \left[(1 - \frac{V}{u} \cos\theta_u)^2 + \left(\frac{V^2}{u^2} - \frac{V^2}{c^2} \right) \sin^2\theta_u \right]^{-\frac{1}{2}}, \quad (5)$$

where θ'_u - the angle between the velocity vector \mathbf{u}' of the particle in the frame K' and the axis x' . We obtain for the speed of light in a vacuum in the frame K' , by using the transformations (4), (5)

$$c' = \frac{c}{1 + \frac{V}{c} \cos\theta'}, \quad (6)$$

where θ' - the angle between the direction of light propagation and the axis x' .

The equations of physical laws have the usual kind in the frame K , where selected Einstein's synchronization condition. We obtain the expression of the Lagrange function of a charged particle in an electromagnetic field in the frame K' , writing the equation of the principle of minimal action in the frame K and performing in this equation the change of variables

$$L' = -mc^2 \sqrt{\left(1 - \frac{\mathbf{V}\mathbf{u}'}{c^2}\right)^2 - \frac{u'^2}{c^2}} + \frac{e}{c} \mathbf{A}'\mathbf{u}' - e\varphi', \quad (7)$$

where \mathbf{u}' - the velocity vector of the particle, m is the mass, e is the charge, \mathbf{A}' and φ' - vector and scalar potentials, which are associated with the corresponding values \mathbf{A} and φ in the frame K by the equalities

$$A'_x = A_x \sqrt{1 - V^2/c^2}, \quad A'_y = A_y, \quad A'_z = A_z, \quad \varphi' = \frac{\varphi - \frac{V}{c} A_x}{\sqrt{1 - V^2/c^2}}. \quad (8)$$

We have similarly for the generalized impulse \mathbf{P} and energy \mathcal{E} of a particle

$$P'_x = P_x \sqrt{1 - V^2/c^2}, \quad P'_y = P_y, \quad P'_z = P_z, \quad \mathcal{E}' = \frac{\mathcal{E} - VP_x}{\sqrt{1 - V^2/c^2}}. \quad (9)$$

The expressions for \mathbf{P}' and \mathcal{E}' is written in the form

$$\mathbf{P}' = \frac{m[\mathbf{u}' + \mathbf{V}(1 - \frac{\mathbf{V}\mathbf{u}'}{c^2})]}{\sqrt{\left(1 - \frac{\mathbf{V}\mathbf{u}'}{c^2}\right)^2 - \frac{u'^2}{c^2}}} + \frac{e}{c} \mathbf{A}', \quad (10)$$

$$\mathcal{E}' = \frac{mc^2(1 - \frac{\mathbf{V}\mathbf{u}'}{c^2})}{\sqrt{\left(1 - \frac{\mathbf{V}\mathbf{u}'}{c^2}\right)^2 - \frac{u'^2}{c^2}}} + e\varphi'. \quad (11)$$

The equality is true for the kinetic energy \mathcal{E}'_0 of a particle moving under the action of the force \mathbf{F}'

$$\frac{d\mathcal{E}'_0}{dt'} = \mathbf{F}'\mathbf{u}'.$$

Equation of dynamics can be written considering this equation and expressions (10) and (11) in the form

$$\frac{d}{dt'} \frac{m\mathbf{u}'}{\sqrt{\left(1 - \frac{\mathbf{V}\mathbf{u}'}{c^2}\right)^2 - \frac{u'^2}{c^2}}} = \mathbf{F}' - \frac{\mathbf{V}}{c^2} (\mathbf{F}'\mathbf{u}'), \quad (12)$$

or

$$\frac{d}{dt'} \left[\frac{\mathcal{E}'_0}{c^2} \left(\mathbf{V} + \frac{\mathbf{u}'}{1 - \frac{\mathbf{u}'\mathbf{V}}{c^2}} \right) \right] = \mathbf{F}'. \quad (13)$$

We introduce in K' electric \mathbf{E}' and magnetic \mathbf{H}' fields and produce in the equalities

$$\mathbf{E}' = -\frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{A}'}{\partial t'} - \nabla\varphi', \quad \mathbf{H}' = \text{rot}\mathbf{A}'$$

change variables by using the transformations (3), (8). At that, should take into account here and further that

$$\frac{\partial}{\partial t'} = \frac{1}{\sqrt{1 - V^2/c^2}} \left(\frac{\partial}{\partial t} + V \frac{\partial}{\partial x} \right),$$

since $\frac{\partial}{\partial t'}$ is calculated at constant x' , which corresponds to

$$x = Vt + \text{const}.$$

The result is the transformations of electric and magnetic fields \mathbf{E} and \mathbf{H} in the form

$$\begin{aligned} E'_x &= E_x, & E'_y &= \frac{E_y - \frac{V}{c} H_z}{\sqrt{1 - V^2/c^2}}, & E'_z &= \frac{E_z + \frac{V}{c} H_y}{\sqrt{1 - V^2/c^2}}, \\ H'_x &= H_x, & H'_y &= H_y \sqrt{1 - V^2/c^2}, & H'_z &= H_z \sqrt{1 - V^2/c^2}. \end{aligned} \quad (14)$$

We obtain the following equations for the frame K' from the second pair of Maxwell's equations, using the transformations (3), (14)

$$\text{rot} \mathbf{H}' = \left(1 - \frac{V^2}{c^2} \right) \frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{E}'}{\partial t'} + \frac{4\pi}{c} [\mathbf{j}' + (\rho' - \frac{\mathbf{j}' \mathbf{V}}{c^2}) \mathbf{V}] - \frac{V}{c} \frac{\partial \mathbf{E}'}{\partial x'} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial}{\partial t'} [\mathbf{V} \mathbf{H}'], \quad (15)$$

$$\text{div} \mathbf{E}' = 4\pi \left(\rho' - \frac{\mathbf{j}' \mathbf{V}}{c^2} \right) - \frac{1}{c^2} \frac{\partial \mathbf{E}' \mathbf{V}}{\partial t'}, \quad (16)$$

where ρ' is charge density, \mathbf{j}' is current density.

The first pair of Maxwell's equations has in K' the same kind, as in K .

We define field of a motionless point charge in the frame K' . The expressions for fields of a charge moving in the frame K with constant velocity \mathbf{V}

$$\mathbf{E} = \frac{\left(1 - \frac{V^2}{c^2} \right) \mathbf{e} \mathbf{r}}{r^3 \left(1 - \frac{V^2}{c^2} \sin^2 \psi \right)^{1.5}}, \quad \mathbf{H} = \frac{1}{c} [\mathbf{V} \mathbf{E}]. \quad (17)$$

We obtain the expressions for \mathbf{E}' and \mathbf{H}' , doing change of variables in the expressions (17) using the transformations (3), (14),

$$\mathbf{E}' = \frac{\mathbf{e} \mathbf{r}'}{r'^3}, \quad \mathbf{H}' = \frac{1}{c} [\mathbf{V} \mathbf{E}']. \quad (18)$$

It follows from (18) that the magnetic field exists in the K' near motionless charges. It can be detected, for example, by the action on the conductors with an electric current. It follows from equation (16) and the equation of continuity, that conductor with a constant current, motionless in the frame K' , contains electric charge with density

$$\rho' = \frac{\mathbf{j}' \mathbf{V}}{c^2}. \quad (19)$$

The force acts on the element $d\Omega'$ of this conductor in an electric field

$$d\mathbf{F}'_1 = \frac{\mathbf{E}'}{c^2} (\mathbf{j}' \mathbf{V}) d\Omega'. \quad (20)$$

Using the equality (18), (20), we obtain the expression for the force $d\mathbf{F}'_2$ acting from the motionless of the charges on the element $d\Omega'$ of conductor with a constant current

$$d\mathbf{F}'_2 = \frac{\mathbf{V}}{c^2} (\mathbf{E}' \mathbf{j}') d\Omega'. \quad (21)$$

We write equation of dynamics for a homogeneous linear conductor of length L , mass m with a constant current \mathbf{I}' in a uniform field generated by motionless charges. We obtain, substituting the expression (21) in the equation (12),

$$\frac{d}{dt'} \frac{m \mathbf{u}'}{\sqrt{\left(1 - \frac{\mathbf{V} \mathbf{u}'}{c^2} \right)^2 - \frac{u'^2}{c^2}}} = \frac{\mathbf{V} L'}{c^2} (\mathbf{E}' \mathbf{I}') \left(1 - \frac{\mathbf{u}' \mathbf{V}}{c^2} \right). \quad (22)$$

It follows from equation (22), in particular, that initially motionless conductor begins to move under the action of the field with acceleration $\frac{\mathbf{V} L'}{mc^2} (\mathbf{E}' \mathbf{I}')$.

According to the equation of continuity for a homogeneous conductor with a constant electric current,

$$\text{div} \mathbf{E}' = 0.$$

Therefore, the conductor does not create an electric field around it. It follows from equations (16) and (19) that equation (15) for the magnetic field of a homogeneous conductor with a constant electric current must be

$$\text{rot} \mathbf{H}' = \frac{4\pi}{c} \mathbf{j}'.$$

Therefore, should be normal magnetic field, which is independent of speed \mathbf{V} , around a homogeneous conductor with constant current. Suppose a particle moves with an initial velocity \mathbf{u}'_n in a constant and homogeneous magnetic field \mathbf{H}' generated

by the conductors with the electric current and oriented in the z' axis direction. We perform in the equation (13) variable change

$$t' = \tau' + \frac{Vx'}{c^2}$$

and get the equation of motion in the usual form

$$\frac{\mathcal{E}'_0}{c^2} \frac{d\mathbf{u}^*}{d\tau'} = [\mathbf{u}^* \mathbf{H}'], \quad (23)$$

where

$$\mathbf{u}^* = \frac{\mathbf{u}'}{1 - \frac{\mathbf{u}'\mathbf{V}}{c^2}}.$$

The dependence is for the coordinate r' of the particle

$$\mathbf{r}' = \mathbf{r}'_0(\mathbf{r}'_n, \mathbf{u}'_n, \mathbf{H}', \tau'),$$

where \mathbf{r}'_0 - the solution of equation (23) with the initial conditions: $\mathbf{r}'_0 = \mathbf{r}'_n$ and $\mathbf{u}^* = \mathbf{u}'_n$. It follows from equation (23) [7]

$$x' = x'_0 + r \sin(\omega\tau' + \zeta), \quad y' = y'_0 + r \cos(\omega\tau' + \zeta), \quad z' = z'_0 + \frac{u'_{zn}\tau'}{1 - \frac{\mathbf{V}\mathbf{u}'_n}{c^2}},$$

where

$$\omega = \frac{eH'}{\mathcal{E}'_0}, \quad \zeta, \quad u'_{zn}, \quad r = \frac{\mathcal{E}'_0 u'_0}{eH'} = \frac{mcu'_0}{eH' \sqrt{(1 - \frac{\mathbf{V}\mathbf{u}'_n}{c^2})^2 - \frac{u'^2_n}{c^2}}}, \quad u'_0 = \sqrt{u'^2_x + u'^2_y}$$

are constants.

The particle moves along a spiral. The radius r of the spiral depends on the scalar product $\mathbf{V}\mathbf{u}'_n$, and the drift velocity along the z' -axis is proportional to $1 - \frac{\mathbf{V}\mathbf{u}'_n}{c^2}$ and, therefore, does not remain constant.

Let us consider some mechanical processes, in which the anisotropy of the space in the frame K' should have been manifested itself. We consider the motion of a particle in a force field perpendicular to the axis x' . Suppose that at the initial moment $u'_x(0) = 0$ and $\mathcal{E}'_0(0) = \mathcal{E}'_n$. We get from equation (13)

$$u'_x = - \frac{V(\mathcal{E}'_0 - \mathcal{E}'_n)}{\mathcal{E}'_0 - (\mathcal{E}'_0 - \mathcal{E}'_n) \frac{V^2}{c^2}}. \quad (24)$$

That is, the particle is deflected in the opposite direction to the vector \mathbf{V} , when its kinetic energy is increasing and - in the direction of the vector \mathbf{V} when its kinetic energy decreases.

The equality binding the velocity of a particle with its kinetic energy follows from the expression (11)

$$\mathbf{u}' = \frac{c\sqrt{\mathcal{E}'_0{}^2 - m^2c^4}}{\mathcal{E}'_0 + \sqrt{\mathcal{E}'_0{}^2 - m^2c^4} \frac{V}{c} \cos\theta'_u}. \quad (25)$$

Hence it follows, for example, that angular velocity ω' of the rotator, that is, of a material point of mass m , which withheld by means of a weightless rigid rod at a constant distance from the center of rotation, will be at the free rotation

$$\omega' = \frac{c\sqrt{\mathcal{E}'_0{}^2 - m^2c^4}}{r' \left(\mathcal{E}'_0 - \sqrt{\mathcal{E}'_0{}^2 - m^2c^4} \frac{V}{c} \sin\varphi' \cos\psi' \right)}, \quad (26)$$

where r' - rod length, φ' - the angle between the rod and the projection of vector \mathbf{V} onto the plane of rotation, ψ' - the angle between the plane of rotation and the vector \mathbf{V} . At that the energy \mathcal{E}'_0 of the particle remains constant. The observer located at the center of rotation can fix the dependency of the angular velocity from the angles φ' and ψ' .

Formula (25) is fair, obviously, and for the velocity of the charged particle in a constant homogeneous magnetic field. And formula (26) is fair in the case of a flat rotational motion of this particle. At that r' should be understood as the radius-vector drawn from the center of rotation to the particle and φ' - as the angle between r' and the projection of vector \mathbf{V} onto the plane of rotation.

We will consider some optical phenomena in which the anisotropy of the space in the frame K' should have been manifested itself. We define a change of direction of light propagation at the transition from the frame K' to the frame K'' moving relative of K' with a constant velocity \mathbf{u}' (the phenomenon of aberration). We assume that the vector \mathbf{u} lies in the xy plane and its direction coincides with the direction of the x'' -axis of the frame K'' . We introduce in the frame K another Cartesian coordinate system x_1, y_1, z , the axis z which coincides with the axis z of the existing coordinate system and the axis x_1 is oriented in the direction of the vector \mathbf{u} .

The angle of aberration

$$\Delta\theta = \theta_{c''v''} - \theta_{c'uv'},$$

where $\theta_{c'uv'}$ is the angle between the vector c' of the velocity of light in the frame K' and the vector \mathbf{u}' , $\theta_{c''v''}$ is the angle between the vector c'' of the velocity of light in the frame K'' and the vector $-\mathbf{v}''$ equal to the velocity of the frame K' relative to the frame K'' , but aimed in the opposite direction. We define the cosine of the angle $\theta_{c'uv'}$ according to the formula

$$\cos\theta_{c'uv'} = \frac{c'\mathbf{u}'}{c'u'}.$$

We obtain, turning to the variables of the frame K using formulas (4), (6)

$$u' = \frac{\sqrt{(\mathbf{u} - \mathbf{V})^2 - \frac{V^2}{c^2} u^2 \sin^2 \theta_{uv}}}{1 - V^2/c^2}, \quad c' = c \frac{1 - \frac{V}{c} \cos \theta_{cv}}{1 - V^2/c^2},$$

where θ_{uv} - the angle between the vectors \mathbf{u} and \mathbf{V} , and θ_{cv} - the angle between the vectors \mathbf{c} and \mathbf{V} , and, finally,

$$\cos \theta_{c'u'} = \frac{\frac{\mathbf{c}(\mathbf{u} - \mathbf{V})}{c^2} - \frac{\mathbf{u}\mathbf{V}}{c^2} + \frac{V^2}{c^2} (1 - \frac{c_y u_y}{c^2})}{(1 - \frac{V}{c} \cos \theta_{cv}) \sqrt{\frac{(\mathbf{u} - \mathbf{V})^2}{c^2} - \frac{V^2 u^2}{c^4} \sin^2 \theta_{uv}}}. \quad (27)$$

A similar expression is for $\cos \theta_{c''v''}$. It differs from (27) by sign and the fact, that the magnitudes \mathbf{u} and \mathbf{V} are interchanged, respectively θ_{cv} is replaced by θ_{cu} - the angle between the vectors \mathbf{c} and \mathbf{u} , $c_y u_y$ is replaced by $c_{y_1} V_{y_1}$. In addition, we must take into account that

$$-V^2 c_y u_y = -V^2 \mathbf{c}\mathbf{u} + (\mathbf{V}\mathbf{c})(\mathbf{V}\mathbf{u}), \quad -u^2 c_{y_1} V_{y_1} = -u^2 \mathbf{c}\mathbf{V} + (\mathbf{u}\mathbf{c})(\mathbf{V}\mathbf{u}).$$

As a result, we get for the difference of the cosines of the angles $\theta_{c'u'}$ and $\theta_{c''v''}$ with precision up to magnitudes of second degree with respect to V/c and u/c

$$\cos \theta_{c'u'} - \cos \theta_{c''v''} = \frac{|\mathbf{u} - \mathbf{V}|}{c} \sin^2 \theta_{cu-v} \left[1 + \frac{\mathbf{c}(\mathbf{u} + \mathbf{V})}{c^2} \right] - \frac{2(\mathbf{u} - \mathbf{V})}{c^3 |\mathbf{u} - \mathbf{V}|} [\mathbf{u}(\mathbf{V}\mathbf{c}) - \mathbf{V}(\mathbf{u}\mathbf{c})], \quad (28)$$

where θ_{cu-v} - the angle between the vectors \mathbf{c} and $\mathbf{u} - \mathbf{V}$.

For small values of the angle of aberration $\Delta\theta$

$$\cos \theta_{c'u'} - \cos \theta_{c''v''} = \Delta\theta \sin \theta_{c''v''}. \quad (29)$$

It follows from the formulas (4) in the first approximation on $\frac{V}{c}$ and on $\frac{u}{c}$

$$\mathbf{u} - \mathbf{V} \approx \mathbf{u}', \quad \mathbf{V} - \mathbf{u} \approx \mathbf{v}'', \quad (30)$$

and in the zero approximation $\mathbf{c}'' \approx \mathbf{c}$. We get the following expression for $\Delta\theta$, substituting (29) in (28) and taking into account (30)

$$\Delta\theta = \frac{u'}{c} \sin \theta_{c''v''} \left[1 + \frac{\mathbf{c}(\mathbf{u} + \mathbf{V})}{c^2} \right] + \frac{2\mathbf{v}''}{c^3 v'' \sin \theta_{c''v''}} [\mathbf{u}(\mathbf{V}\mathbf{c}) - \mathbf{V}(\mathbf{u}\mathbf{c})]. \quad (31)$$

The scalar product of the vector \mathbf{v}'' on the double cross product contains in the last summand in equation (31). We get, performing a cyclic permutation and replacing \mathbf{c} on \mathbf{c}'' ,

$$\Delta\theta = \frac{u'}{c} \sin \theta_{c''v''} \left[1 + \frac{\mathbf{c}(\mathbf{u} + \mathbf{V})}{c^2} \right] + \frac{2[\mathbf{v}'' \mathbf{c}''] [\mathbf{u}\mathbf{V}]}{c^3 v'' \sin \theta_{c''v''}}. \quad (32)$$

Thus the angle of aberration is equal to $\frac{u'}{c} \sin \theta_{c''v''}$ in a first approximation, according to (32), which coincides with the usual expression for the angle of aberration [7]. The dependence of $\Delta\theta$ on the velocities \mathbf{V} and \mathbf{u} of the frames K' and K'' relatively K appears in the second approximation according to (32).

The magnitude of the Doppler effect in the frame K' also should have been depend on \mathbf{V} . We consider the general case when source and observer are moving both. We get the transformation of frequency using the transformations (3) and based on the invariance of the phase

$$v' = v \frac{1 - \frac{\mathbf{V}\mathbf{k}}{c}}{\sqrt{1 - V^2/c^2}}, \quad (33)$$

where v - the frequency in the K, v' - the frequency in the K', \mathbf{k} - unit vector in the direction of the radiation in the frame K. The observed frequency, as follows from the formula (33), is equal

$$v_s = \frac{(1 - \mathbf{u}_s \mathbf{k}/c) \sqrt{1 - u_i^2/c^2}}{(1 - \mathbf{u}_i \mathbf{k}/c) \sqrt{1 - u_s^2/c^2}} v_i, \quad (34)$$

where v_i - source frequency in the comoving frame, \mathbf{u}_i and \mathbf{u}_s - the velocities in the frame K of source and observer, respectively. We will receive turning to the variables of the frame K' in equation (34) by using the transformations (4), (5)

$$v_s = \frac{\sqrt{(1 - \mathbf{V}\mathbf{u}_i/c^2)^2 - u_i^2/c^2} (1 - \mathbf{u}'_s \mathbf{k}'/c - \mathbf{V}\mathbf{u}'_s/c^2)}{(1 - \mathbf{u}'_i \mathbf{k}'/c - \mathbf{V}\mathbf{u}'_i/c^2) \sqrt{(1 - \mathbf{V}\mathbf{u}'_s/c^2)^2 - u_s'^2/c^2}} v_i. \quad (35)$$

Consider the experiment [8] for the detection of so-called "ether wind" as an example of the Doppler effect. The source and the absorber of radiation move around the circumference in this experiment, being on opposite ends of its diameter. The radiation comes from the source to the absorber along the chord at an angle to the diameter $\beta \approx \frac{u'_i}{c'}$. In this case

$$\mathbf{u}'_s \mathbf{k}'/c = \mathbf{u}'_i \mathbf{k}'/c = -u'_i \sin \beta / c \sim \frac{u_i'^2}{c^2}, \quad \mathbf{V}\mathbf{u}'_s/c^2 = -\mathbf{V}\mathbf{u}'_i/c^2 + \frac{V u_i'}{c^2} \beta \sin \theta'_i,$$

where θ'_i - the angle between the vectors \mathbf{V} and \mathbf{u}'_i . We get, by using decomposition in degrees of small parameters $\frac{u'_i}{c}$ and

$\frac{v}{c}$ in the expression (35),

$$\frac{v_s}{v_i} = 1 - \frac{1}{2} \left(\frac{\mathbf{V}\mathbf{u}'_i}{c^2} \right)^2 - \frac{5u_i'^2 \mathbf{V}\mathbf{u}'_i}{2c^4} - \frac{3u_i'^4}{8c^4}.$$

That is, the relative frequency change is the magnitude of the fourth degree of smallness according to the formula (35). Or, as we can easily see - third degree under the condition if the source and the absorber would be located on a circle at an angle different from zero and π on the magnitude of the order of unity.

We will define the change of temporal intervals at the transition from the frame K' to the frame K'' moving relative of K' with a constant velocity \mathbf{u}' using the transformation (3). Can be written time transformation in the form

$$t'' = \frac{\sqrt{1 - u^2/c^2}}{\sqrt{1 - V^2/c^2}} t', \quad (36)$$

where \mathbf{u} – the velocity vector of the frame K'' in the frame K. We get, going in the formula (36) from \mathbf{u} to \mathbf{u}' by using the transformations (4),

$$t'' = \sqrt{\left(1 - \frac{\mathbf{V}\mathbf{u}'}{c^2}\right)^2 - \frac{u'^2}{c^2}} t'. \quad (37)$$

Achieved very high accuracy when checking of the effect of time dilation in a fast moving frames in experiments with ultrarelativistic decaying particles [9]. Let t'' is the time in the frame K'' of disintegration of the motionless in this frame particle. We can imagine the equality (37), using the expression (11) for the energy of the particle, also in the form

$$\frac{t''}{t'} = \frac{mc^2}{\mathcal{E}'_0} \left(1 - \frac{\mathbf{V}\mathbf{u}'}{c^2}\right). \quad (38)$$

We get, assuming $u' \approx c$ for ultrarelativistic particle,

$$\frac{t''}{t'} = \frac{mc^2}{\mathcal{E}'_0} \left(1 - \frac{V}{c} \cos\theta'_u\right). \quad (39)$$

That is, the effect of the first degree relative to V/c should be.

In conclusion we note that the choice of synchronization condition (2), meaning the introduction of a unified simultaneity in the frames K and K', is not consistent to the principle of relativity not only in the field of optics which corresponds to the hypothesis of the existence of luminiferous ether but also in other areas of physics.

We note also, based on the above, that permissible by the conventionalist concept of simultaneity an arbitrariness for selection of value of the synchronization parameter can lead to depending of time on the spatial coordinates. If we believe the correct synchronization (2), we thus believe that Einstein's synchronization introduces in the frame K' the time dependence from the spatial coordinate x' and, thus, recognize that Einstein's synchronization is incorrect. If we believe proper synchronization of Einstein, we must recognize incorrect synchronization (2) through which is introduced a unified simultaneity for frames K and K'. As follows from the above, different physical realities correspond to these both synchronizations. Permissible by the conventionalist concept introduction of a unified simultaneity for all inertial frames is equivalent to the assumption of existence of a physically highlighted frame.

References:

1. Пуанкаре А. Избранные труды А. Пуанкаре, т. 3, Измерение времени. М.: Наука, 1974. – 772 с.
2. Reichenbach H. The philosophy of space and time. New York: Dover Publications, 1958. – 296p.
3. Grunbaum A. Philosophical Problems of Space and Time. Boston.: Reidel, 1973. – 884p.
4. Suvorov S. G. Sov. Phys. Usp., v.22, p.528 (1979).
5. Sjodin T. Nuovo Cimento, v.51b, p.229 (1979).
6. Goldberg S. Amer. J. Phys., v.37, p.982 (1969).
7. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теория поля. М.: Наука, 1988. – 512с.
8. Champney D. C. et al. Phys. Letters, v.7, p.241 (1963).
9. Bailey J. et al. Nature, v.268, p.301 (1977).

Физическая природа космологического красного смещения. Принцип формирования самой большой структуры Вселенной. Детектирование гравитационных волн

Гайсин Мурат Асгатович

Аннотация. В статье доказывается, что причиной космологического красного смещения является не расширение Вселенной как таковой, а определенные закономерности, проявляющиеся при эволюции структур галактик, и что теория Большого взрыва является неверной концепцией и противоречит реальной картине Вселенной. Автор также через свое понимание поля тяготения дает объяснение физической природе эффекта Козырева и указывает на возможность детектирования гравитационных волн.

Доплеровское красное смещение это эффект удлинение световых волн при удалении источника света. Механизм эффекта очевиден и понятен, для наглядности эффект Доплера можно проверить на звуковых волнах. А как быть с пониманием механизма гравитационного красного смещения? Гравитационное красное смещение есть удлинение волны излучения исходящего из центра гравитации. В теории относительности гравитационное красное смещение объясняется частным проявлением гравитационного замедления времени. Для автора статьи время не является физическим параметром, а является субъективным феноменом и соответственно замедляться и ускоряться не может. А могут ускоряться или замедляться процессы по каким-то определенным причинам. Излучение, исходящее из центра гравитации, испытывает красное смещение. То есть проявляется эффект убегания центра гравитации от наблюдателя. Но так как центр гравитации на самом деле не убегает от наблюдателя, то это значит, что эффект убегания проявляется из-за прохождения излучения через изменяющуюся метрику пространства. При этом излучение проходит с пространства со сжатой метрикой к пространству с более разряженной метрикой. И никакого искривления в топологии пространства не происходит, и поэтому излучение в пространстве идет прямо. Но автору сразу могут возразить, что множество данных наблюдений показывают искривление топологии пространства возле массивных космических объектов. Но на самом деле видимость искривления топологии пространства возникает из-за эффекта преломления излучения при прохождении границы двух сред. Первая среда - это космическое пространство со своим уровнем деформации, а вторая среда - это сферическое гравитационное поле массивного объекта тоже со своим уровнем деформации пространства. А как быть с пониманием механизма космологического красного смещения? Физики из факта космологического красного смещения пришли к выводу, что пространство расширяется и, соответственно, была первоначальная точка и момент начала расширения, то есть Большой Взрыв. А что же на самом деле? Есть наблюдения галактик, красное смещение которых в принципе невозможно объяснить, исходя из модели расширяющейся Вселенной. [7] «Известны исследования Хальтона Арпа, в которых приводятся космические объекты - галактики и квазары, имеющие различные красные смещения, но при этом визуально расположенные в непосредственной близости и даже взаимодействующие. На рис. 1 спиральная Галактика NGC7603 ($z=0.029$) связана с соседней галактикой ($z=0.059$) при помощи светящегося моста, из чего следует, что обе галактики физически связаны и, следовательно, находятся от нас на одном и том же расстоянии. Если же судить по разнице их красных смещений, то соседняя к NGC7603 галактика должна находиться на 436 миллионов световых лет дальше неё. Для сравнения: наша Галактика отстоит от ближайшей галактики M31 ("Туманность Андромеды"), всего на 2,9 миллиона световых лет. Понятно, что красные смещения $z=0.029$ и $z=0.059$ двух соседок никак невозможно объяснить расширением Вселенной по закону Хаббла $z = Ht/c$, так как расстояние $г$ до обеих галактик должно быть одинаковым (по космическим меркам). На рис. 2 приведены ещё две взаимосвязанные радиогалактики с $z=0.34$ и $z=0.75$.

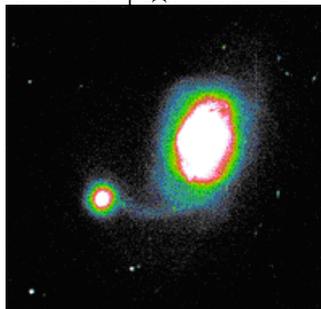


Рис. 1.

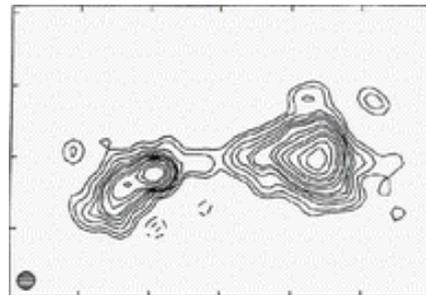


Рис. 2.

Арпом составлен "Каталог пекулярных (особых) галактик" (теперь он называется "Каталог Арпа" или "Атлас пекулярных галактик Арпа"), содержащий большое количество подобных примеров». В космологическом представлении автора эти факты имеют естественное объяснение. Во-первых, современное представление о структуре галактик и их эволюции в корне неверно. Современное представление о галактике как о гравитационно-связанной системе из звезд, межзвездного газа, пыли и темной материи сильно отличается от авторского представления. В авторском представлении ядро и только ядро галактики связывает своей гравитацией в единую систему свою звездную оболочку. В современном представлении разница между галактиками относительно гравитационного красного смещения небольшая. Но на самом деле это не так, так как галактики могут иметь гравитационные ядра разных мощностей и даже не иметь их, как некоторые карликовые галактики. К тому же уровень экранирования гравитационного ядра звездной оболочкой тоже может сильно варьироваться у галактик. Отсюда можно сделать однозначный вывод, что основной компонентой в космологическом красном смещении является гравитационное красное смещение.

Вторым компонентом в космологическом красном смещении является эффект проявляющийся при эволюции материи и пространства во времени. Рассмотрим это на примере эволюции галактик. Квазары эволюционируют в эллиптические галактики, а эллиптические галактики соответственно в спиральные. При этом гравитационные поля у галактик уменьшаются, так как деформированные пространства ядер все больше и больше экранируются звездными оболочками от окружающего пространства. А у окружающего пространства при этом будет изменяться уровень деформации. И соответственно излучение, проходя через пространство с изменяющимся уровнем деформации во времени, будет испытывать красное смещение.

Принцип формирования самой большой структуры Вселенной.

Международная команда ученых (Six Degree Field Galaxy Survey, 6dFGS), провела одно из самых масштабных исследований Вселенной, они просмотрели более 40% всей площади небосвода и определили расположение галактик находящихся в радиусе 2 млрд. световых лет от Земли. При этом ученые обнаружили войд (гигантская пустота во Вселенной) невероятных размеров, диаметр которой составляет 3,5 млрд. световых лет.

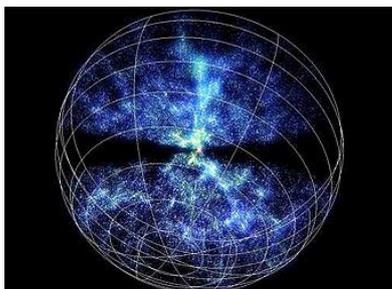


Рис. 3.



Рис. 4.

Существование войда таких размеров невозможно объяснить в рамках современных космологических теорий. Так как за время, прошедшее с момента Большого взрыва, галактики и их скопления, сближаясь друг с другом и тем самым, увеличивая разделяющие их области пространства, не успели бы создать войд таких размеров.

Автор статьи даст объяснение причине возникновения войда таких размеров в частности и формированию структуры Вселенной подобного вида в целом. Для этого автор предложит на обозрение читателей рисунок проекции атома рис. 4.

Если внимательно сравнить рис. 3 и рис. 4, то можно прийти к выводу, что принцип структурирования материи в них должен быть одинаков. Этот вывод автор считает разумным, так как данное умозаключение базируется на естественном предположении, что законы природы на всех уровнях структур материи должны быть едиными. Автор в своей статье «Физическая природа формирований конфигураций фигур вращения у электронных оболочек атомов» объяснил принцип формирования подобных структур. Поэтому же принципу эволюционирует и наша галактика Млечный Путь.

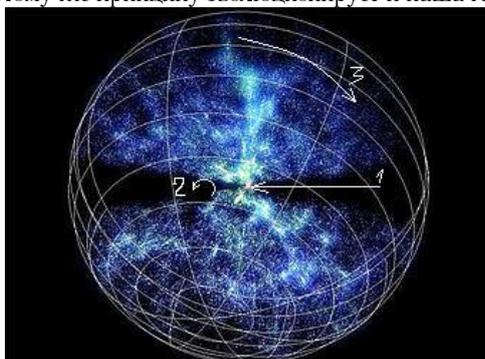


Рис. 5.

Зная принципы эволюции подобных структур можно сделать предварительные выводы. Во-первых, это то, что теория Большого взрыва является абсолютно неверной, а более верной явилась бы теория академика В.А. Амбарцумяна, где эволюция космической материи начинается со сверхплотного тела. Во-вторых, в нашей части Вселенной есть материя образующее тело 1 рис. 5, это тело имеет собственное вращение 2 рис. 5 и из полюсов этого тела выбрасывается материя, из которой формируются галактики. И из-за невероятно большого размера объекта мы видим в дальнем пучке прошлое состояние объекта, а в ближнем пучке как бы его эволюционный путь. На рис. 5 виден небольшой сдвиг пучков относительно оси симметрии. Сдвиг, который на самом деле является только оптическим эффектом, возникшего из-за запаздывания информации, говорит о том, что есть еще вращение всего объекта 3 рис. 5. В целом, эволюционное развитие структуры нашей части Вселенной очень похоже на более ранний этап эволюции структуры нашей галактики. И поэтому по аналогии с развитием структуры нашей галактики можно прогнозировать дальнейшее развитие структуры нашей части Вселенной.

Физическая природа эффекта Козырева. Детектирование гравитационных волн.

Автор в своей статье «Единая теория поля» вывел определение поля тяготения как — «область пространства, деформированная некантованной материей». Из этого определения следует, что материальный объект и его поле тяготения являются единым целым. Причем, автор под полем тяготения имеет в виду, не само деформированное пространство, как сущее, а деформированную топологию пространства существующее из-за воздействия материального объекта на пространство. Это очень важное замечание, так как в таком понимании нет места таким понятиям как «эфирный ветер», «скрученное пространство» и т. д. И соответственно из этого следует, что где бы не находился в поле тяготения прибор, регистрирующий центр тяготения, он всегда будет показывать реальное местонахождение этого центра на момент регистрации. Причем это не связано с передачей информации от центра поля тяготения, а является текущим состоянием геометрии самого поля тяготения. Автор рассмотрит эффект Козырева в контексте этого определения поля тяготения. Суть эффекта Козырева заключается в том, что любая удаленная от нас звезда фиксируется резистором, помещенное в фокусе зеркального телескопа, в двух различных местах небосвода. Там, где ее видно глазом и там где звезда реально находится на момент регистрации. Вопрос, почему резистор фиксирует истинное положение звезды, в контексте предыдущего определения гравитационного поля имеет естественный ответ. А вот почему резистор регистрирует оптическое место, где звезды уже давно нет, отдельный и очень интересный вопрос. Итак, весь диапазон излучения звезды формируется на фоне уровня деформации топологии пространства существующей у оболочки звезды. Отсюда автор делает вывод, что излучение звезды достигает резистора с сохранением уровня деформации топологии пространства, при котором она

образовалась. А это означает, что резистор детектирует гравитационную волну, исходящую от звезды, так как само оптическое излучение звезды экранируется от резистора экраном. Интересно, что гравитационная волна может частично отразиться от зеркала телескопа и резистор покажет еще и мнимое место звезды, как бы из будущего ее местонахождения.

Эффект Козырева, не совместим с общепринятой научной парадигмой миропонимания. Из-за этого, возникла очень интересная ситуация, вместо того, что бы пересмотреть научную парадигму, что было бы естественно и правильно, научное сообщество предпочитает игнорировать факт существования этого физического явления.

Заключение. Автор считает, что его статьи логичны и очевидны для понимания, но только не для физиков. Возникает вопрос почему? Ведь вроде бы физики это самая высокоинтеллектуальная часть общества и соответственно, как профессионалы, должны хорошо ориентироваться в своих проблемах. Но на самом деле это не так. Для автора вся современная теоретическая физика выглядит даже не как научная фантастика, а как логически увязанный бред. По логике физиков законы природы выявлены правильно, и развитие физики идет в правильном направлении. А автор же утверждает, что в теоретической физике существуют системные ошибки, которые появились вследствие применяемой там логики и метода мышления. Возникает вопрос, чем же логика автора отличается от логики, применяемой в теоретической физике? Главное отличие логик в том, что автор во главу угла ставит наглядное представление процессов и структур изучаемых объектов. Логика автора - это построение наглядного представления реальности. А логика, применяемая в теоретической физике, во главу угла ставит математическое отражение реальности, путем представления физических явлений в виде формул и через преобразования этих формул, даже если это идет в ущерб пониманию, не говоря уж о наглядности. Например, СРТ преобразование - это чисто математическое преобразование, не имеющее к реальности никакого отношения. Но мы в результате имеем ложное математическое отражение реальности, в которой существуют античастицы. А как же тогда эксперименты, которые как бы подтверждают эти теории? Тут не все так просто, результаты экспериментов не очевидны, их нужно интерпретировать. Вот на этом-то этапе и происходит подгонка результатов экспериментов под теории. Физики игнорируют наблюдательные данные, противоречащие современным космологическим представлениям, и, тем самым, сохраняют ложную научную картину мира.

Литература:

1. Гайсин М. А. «Понимание отрицательных величин в математике и материальных объектов с отрицательными свойствами в физике (Критика Канта)». Сборник научных работ ЕНО за март 2015 г. Москва.
2. Гайсин М. А. «Физическая природа формирований структур электронных оболочек атомов». Сборник научных работ ЕНО за апрель 2015 г. Москва.
3. Гайсин М. А. «Единая теория поля. Физическая природа отрицательного заряда». Сборник научных работ ЕНО за май 2015 г. Москва.
4. Гайсин М. А. «Наглядное представление физической природы фотона и нейтрино. Позитрон — математический фантом реального электрона». Сборник научных работ ЕНО за июнь 2015 г. Москва.
5. Гайсин М. А. «Новая космологическая модель Вселенной. Решение проблемы идентификации темной материи. Структура млечного пути». Сборник научных работ ЕНО за август 2015 г. Москва.
6. Гайсин М. А. «Ньютон — основоположник принципиально ошибочного метода в науке». Сборник научных работ ЕНО за сентябрь 2015 г. Москва.
7. Топтунова Л. М. «Трудности господствующих космологических теорий» <http://www.astrogalaxy.ru/785.html>
8. Астролябия. Войд — гигантская пустота во Вселенной. <http://www.astrolabia.ru/news/2009-04-06-52>

Новый физический Принцип Обобщенных Лучей и явный метод решения прямых и обратных задач для уравнений математической физики

Гребенников Александр Иванович, профессор
Заслуженный Независимый Университет (г. Пуэбла, Мексика)

Автором предложен новый подход для решения прямых и обратных задач для уравнений математической физики, т.е. уравнений в частных производных (УЧП), на основе нового физического Принципа Обобщенных Лучей (ПОЛ). Прямые задачи (ПЗ) представляют краевые задачи, состоящая в определении решения уравнения с известными в уравнении коэффициентами, правой частью, граничными и начальными условиями. Обратные задачи (ОЗ) состоят в определении неизвестных коэффициентов или правой части уравнения с помощью некоторых более полных граничных и начальных условий.

Существует два основных подхода для решения ПЗ для дифференциальных уравнений в явной аналитической форме: разложение Фурье и метод функции Грина [1]. Разложение Фурье используется, как правило, только в теоретические исследования. Метод функции Грина является явным, но трудно построить функции Грина для

сложной геометрии рассматриваемой области, а также для уравнения с переменными коэффициентами. Известные численные методы и алгоритмы основаны на конечных разностях, конечных элементах и граничных интегральных уравнений. Эти численные подходы приводят к решения систем линейных алгебраических уравнений [2], которые требуют много памяти компьютера и времени вычислений. Известные математические методы для решения обратных задач являются нелинейными [3] - [6] и также требуют много времени и памяти в компьютерной реализации.

Современные исследования в различных прикладных областях, основанный на решение упомянутых ПЗ и ОЗ, характеризуются необходимостью более существенного проникновения в структуру исследуемых объектов и явлений, а также рассмотрением областей сложной геометрической структуры. Это требует разработки новых аналитических и численных методов исследования, адаптированных

ных к современным требованиям. Одним из наиболее важных из этих требований является возможность получить достаточное увеличение точности на решения проблем в режиме реального времени, или, что эквивалентно, решить проблему с соответствующей точностью быстрым образом. Математические модели и известных численные методы часто не удовлетворяют этим требованиям при их компьютерной реализации. Таким образом развитие новых методов и быстрых алгоритмов для решения упомянутых проблем очень актуально.

В ряде работ автора [7] - [12] предложен новый подход для решения ПЗ и ОЗ с использованием ПОЛ. ПОЛ состоит в рассмотрении физических полей на суперпозиции векторов (обобщенных лучей), соответствующий всевозможным линиям, которые пересекают рассматриваемую область решения задачи. Применение ПОЛ к исследуемым проблемам означает трансформацию УЧП и граничных значений в семейство обычных дифференциальных уравнений (ОДУ) с соответствующими граничными условиями. Трансформация использует классические прямое преобразование Радона (ППР) и обратное преобразование Радона (ОПР) [13] - [15]. ПОЛ приводит к Методу Обобщенных Лучей (МОЛ), который дает явные аналитические решения рассмотренных проблем и быстрые алгоритмы для вычислений.

Разработаны две версии МОЛ: тау-версия и р-версия,

Литература:

1. Tijonov A. N., Samarsky A. A. Equations of Mathematical Physics. Moscow: Nauka, 1980.
2. Samarsky A. A. Theory of Difference Schemes, Moscow: Nauka, 1977.
3. Tikhonov A. N., Arsenin V. Ya. Methods for Solving Ill-Posed Problems. Washington: Winston & Sons, 1977.
4. Isakov, V., Inverse Problems for Partial differential Equations, New York: Springer, 1998.
5. Morozov V.A. Regularization Methods for ill-posed problems. London: CRC Press, 1993.
6. Alifanov O. M. Inverse Heat Transfer Problems, Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag, 1994.
7. Grebennikov A. Fast Algorithm for Solution of Dirichlet Problem for Laplace Equation. WSEAS TRANSACTION on COMPUTERS Journal, Issue 4, Vol. 2, pp. 1039-1043 (2003).
8. Grebennikov A. Study of the Approximation Quality of GR-Method for Solution of Dirichlet Problem for Laplace Equation. WSEAS TRANSACTION on MATHEMATICS Journal, Issue 4, Vol. 2, pp. 312 – 317 (2003).
9. Alexandre Grebennikov. A Novel Approach for Solution of Boundary Problems for Differential Equations of Mathematical Physics. WSEAS Transaction on Systems Journal, Issue 4, Vol. 3, pp. 1410-1415, 2004
10. Alexandre Grebennikov. A General Ray (GR) Method for Solution of Differential Equations for Electromagnetic Field. WSEAS Transaction on Communications Journal, Issue 2, Vol. 3, pp. 809-811, 2004.
11. Alexandre Grebennikov, Fast Algorithms and MATLAB Software for Solution of the Dirichlet Boundary Value Problems for Elliptic Partial Differential Equations in Domains with Complicated Geometry. WSEAS Transactions on Mathematics J., Vol. ISS 4, 2008, pp.173-182,
12. Alexandre Grebennikov, Armando Espindola Pozos. Mathematical and Computer Investigation of Heat Conductive Properties of Materials by General Ray Method, Journal of Materials Science and Engineering, Apr. 2010, Volume 4, No.4 (Serial No.29).
13. Radon J. “Uber Die Bestimmung von Funktionen Durch Ihre Integrawerte Langs Gewisser Mannigfaltigkeiten”, Leipzig: Berichte Sachsische Academic der Wissenschaften Math.-Phys. Kl., no. 69, pp. 262-267, 1917.
14. Helgason Sigurdur, The Radon Transform, Boston-Basel-Berlin: Birkhauser, 1999.
15. Stanley R. Deans. The Radon Transform and some of its Applications, New-York: John Wiley & Sons, Inc., 1983.
16. Grebennikov A. I. “Spline approximation method for solving some incorrectly posed problems”, Doclady Akad. Nauk SSSR, vol. 298, no. 3, pp. 533-537, 1988.
17. Grebennikov A. I. “Spline approximation method for restoring functions”, Sov. J. Numer. Anal. Mathem. Modelling, vol. 4, no. 4, pp. 1-15, 1989.
18. Grebennikov A. I. Spline Approximation Method and its Applications. Moscow: MAX Press, 2004.
19. Morozov V. A., Grebennikov A. I. Methods for solution of ill posed problems: algorithmic aspects. Moscow: University Pres, 2005.
20. Grebennikov Alexandre. New Electric Tomography Scheme and Algorithms for Fast Recognition of Compound Structures. MRS on line Proceedings: 2011 IMRC Meeting - Symposium S3 – Structural and Chemical Characterization of Metal Alloys and Compounds, Volume I372, (7 pages), Cambridge University Press, 2012.
21. Grebennikov Alexandre. New Mathematical Model and Measurement Scheme of Electrical Tomography and Its Fast Resolution by General Ray Method, Progress In Electromagnetics Research Symposium, August 2012, PIERS Proceedings,

которые имеют разные схемы трансформации УЧП в ОДУ. Тау-версия использует известные в физике варианты уравнений, которые описывают распределение характеристик поля на прямой линии, или трансформацию УЧП в ОДУ чисто математической подстановкой с параметризацией Радона соответствующей прямой линии. Р-версия основана на непосредственном применении ППР к соответствующим УЧП. Для ПЗ применимы обе версии МОЛ, для ОЗ применяется тау-версия.

Анализ явных формул МОЛ демонстрирует ее неустойчивость относительно возмущений исходных данных [3]. Поэтому в численной реализации сконструированных вариантов МОЛ используется регуляризация в самом простом и быстрм варианте – рекурсивном сглаживании кубическими сплайнами [16] - [19].

Итак, на базе ПОЛ, построены две версии МОЛ, которые дают явные приближенного решения упомянутых проблем. Построены алгоритмы и реализованы как программный пакет в системе MATLAB, что дает возможность решить проблемы с хорошим качеством и более быстро, чем традиционные методы. Это подтверждается численными примерами, в частности при сравнении с PDE Toolbox MATLAB [11]. Алгоритмы и программный пакет использованы при решении ряда прикладных задач, в частности задач томографии [20] - [25].

Published by the Electromagnetics Academy, Cambridge, pp. 256 - 259, ISSN: 1559-9450

22. Grebennikov Alexandre. General Ray Method for Solution of Direct and Inverse Problems of Electromagnetism, Progress In Electromagnetics Research Symposium, August 2012, PIERS Proceedings, Published by the Electromagnetics Academy, Cambridge, pp. 412 - 415, ISSN: 1559-9450.

23. Grebennikov A. I. Identification of thermo-conductive structures of micro scale by general ray method. *Thermal Processes in Engineering Journal*, Publishing House "Sciences and Technologies" Ltd., Russia, 2013, V. 5, No 8, pp. 361 – 369.

24. Grebennikov Alexandre. Reconstruction Image of Discrete Structure of Materials by Projective Computer Tomography. *Advanced Materials Research J*, Vol. 739 , pp. 106-110. Trans Tech Publications, Switzerland, 2013.

25. Grebennikov Alexandre. Explicit fast and stable method for solution of some coefficient inverse problems for partial differential equations and applications. *Eurasian Journal of Mathematical and Computer Applications*. Volume 1, Issue 2 (2013), pp. 92-101.

УДК 519.6

Об одном применении собственных значений матриц при обработке статистических данных

Елеуов Абдрахман Абуович, кандидат физико-математических наук доцент;
Нестеренкова Лариса Алексеевна, кандидат физико-математических наук доцент;

Толеугазы Банкат

Казахский национальный университет имени аль-Фараби

В работе вариационным методом вычисляются собственные значения матриц при обработке статистических данных. Приведенный метод главных компонент может применяться в различных задачах, где возникают симметрические матрицы. Например, когда исходной информацией об объектах служат экспертные данные о различиях между ними, выраженных числами. Разработанные алгоритмы были применены в случае самосопряженных и положительно определенных матриц, затем обобщены на случай матриц произвольного типа. Отдельно необходимо отметить, что разработанный приближенный метод был применен к процедуре приведения матриц к треугольному виду. Данный метод был применен к решению практической задачи экономики и получены удовлетворительные результаты. Следующим применением данного метода служат для задач биологии и биотехнологии. Работа может быть аттестована по физико-математическим наукам.

Ключевые слова: метод, собственные значения матрицы, симметрические матрицы, самосопряженная матрица, определенной матрица, собственный вектор, матрица, корреляционный анализ.

An application of the eigenvalues of the matrices in the processing of statistical data

Abdrahman Eleuov, Larisa Nesterenkova, Bankat Toleugazy
Al-Farabi Kazakh National University

Annotation. *In this paper a variational method to calculate the eigenvalues of the matrices in the processing of statistical data. The above method of principal components can be used in various applications where there are symmetric matrices. For example, when the initial information about the objects are expert data about the differences between them expressed by numbers. The developed algorithms have been applied in the case of self-adjoint and positive definite matrices, and then extended to the case of matrices of arbitrary type. Separately, it should be noted that an approximate method was applied to the process of reducing a matrix to triangular form. This method was applied to solve practical problems of the economy and gives satisfactory results. Following the application of the method used for problems of biology and biotechnology.*

Keywords: *method, eigenvalues, symmetric matrices, self-adjoint matrix defined matrix eigenvector matrix, correlation analysis.*

В статье обсуждается одно полезное наблюдение, которое имеет *наглядный смысл и полезно при обработке статистических данных. Материал изложен без лишних математических премудростей и доступен экономистам, социологам и специалистам в других областях, использующих статистические методы.*

При статистическом анализе таблицы данных, состоящей из нескольких признаков, необходимо иметь в виду эффект существенной многомерности, из-за которого к верным выводам можно прийти лишь при одновременном учете всей совокупности взаимосвязанных признаков. К примеру, попытка различить два типа потребительского поведения семей сначала по одному признаку (расходы на питание), потом по другому (расходы на промышленные товары и услуги) не дала результата, в то время как одновременный учет обоих признаков позволил обнаружить значимое различие между анализируемыми совокупностями семей.

Если число признаков - достаточно большое число, то разбиение множества исследуемых объектов на компактные группы (так называемые кластеры) может оказаться непростой задачей. В этом состоит задача классификации или кла-

стер - анализ. После того, как объекты разбиты на однородные группы (классы), возникает задача изучения взаимосвязей признаков внутри отдельного класса. Если однородная группа образует «облако» эллиптического типа, то применяют методы корреляционного анализа. Когда объекты располагаются в окрестности некоторой кривой (поверхности и так далее) надо применять приемы регрессионного анализа.

Теория собственных векторов матриц и их применение в корреляционном анализе

Предположим, что каждый из n объектов описывается k признаками (рост, вес, длина черепа, длина и ширина верхней челюсти и так далее), и представим данные для отдельного класса объектов в форме таблицы $X = \|x_{il}\|_{n \times k}$. Вычислим для каждого признака среднее значение $\bar{x}_l = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{il}$ и центрируем данные: $y_{il} = x_{il} - \bar{x}_l$. Тогда $\bar{y}_l = 0$, $l=1, \dots, k$. Обозначим через $S = \|c_{il}\|_{k \times k}$ выборочную ковариационную матрицу признаков: $S = \frac{1}{n} Y^T Y$,

то есть c_{il} - выборочная ковариация i -го и l -го столбцов матрицы Y . Из того, что матрица ковариаций $S = \|c_{il}\|_{k \times k}$ является неотрицательно определенной матрицей, иначе говоря, самосопряженной матрицей следует ее приводимость к диагональному виду. Следовательно, существует ортогональная матрица U , приводящая S к главным осям: $U^T S U = \Lambda$. Здесь Λ - диагональная матрица с неотрицательными элементами $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_k$ на главной диагонали, которые являются корнями уравнения $\det(S - \lambda E) = 0$. Они называются собственными значениями матрицы S . Предположим, что все $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_k$ положительны и различны. Для экспериментальных данных это условие выполняется практически всегда. Заметим также, что столбцы u_1, u_2, \dots, u_k матрицы U представляют главные

оси и определяются однозначно с точностью до выбора направления оси. Они образуют ортонормированный базис в R^n , обладающий важными свойствами:

1. Проекция объектов на первую главную ось u_1 имеют наибольшую выборочную дисперсию среди проекций на всевозможные направления в пространстве R^n , причем этот максимум равен λ_1 .

2. Проекция объектов на вторую главную ось u_2 имеют наибольшую выборочную дисперсию среди проекций на всевозможные направления в пространстве R^n , которые ортогональны вектору u_1 . Причем этот максимум равен λ_2 .

3. Сумма выборочных дисперсий исходных признаков $tr S = \sum_{i=1}^k c_{ii}$ в силу подобия матриц S и Λ равна $tr \Lambda = \lambda_1 + \dots + \lambda_k$, то есть сумме выборочных дисперсий проекций объектов на главные оси. Эта величина может рассматриваться как мера общего разброса объектов относительно их центра масс. Представляет интерес относительная доля разброса, приходящаяся на l первых главных осей,

$$\gamma_l = \frac{\lambda_1 + \dots + \lambda_l}{\lambda_1 + \dots + \lambda_k}$$

Если эта величина при некотором l достаточно близка к 1, то возможно уменьшение размерности пространства признаков за счет перехода от k исходных признаков к l новым признакам. На практике нередко удается ограничиться двумя или тремя компонентами без существенной потери информации.

Пример применения собственных векторов матриц в корреляционном анализе

В таблице указаны размеры челюстей и зубов тридцати собак (номера 1 – 30), двенадцати волков (номера 31 – 42) и ископаемого черепа неизвестного животного (номер 43), найденного в четверичном слое (по данным Де Бониса [1]). В таблицах показаны измеряемые характеристики: 1 – длина черепа, 2 – длина верхней челюсти, 3 – ширина верхней челюсти; следующие измерения относятся к зубам: 4 – длина верхнего карнивова, 5 – длина первого верхнего моляра, 6 – ширина первого верхнего моляра. Требуется узнать, к какому из классов (собак или волков) следует отнести неизвестное животное.

Здесь мы займемся более скромной задачей: найдем и интерпретируем главные компоненты для данного примера.

Алгоритм определения главных осей.

1. В каждом столбце исходной таблицы 1 находим среднее значение.
2. Из столбцов вычитаем найденные значения, соответствующие средним. Результат обозначим через таблицу 1а.
3. Затем составим новую таблицу 1б из квадратов элементов таблицы 1а. Результат обозначим через таблицу 1б.
4. В каждом столбце новой таблицы 1б находим среднее значение.
5. Столбцы таблицы 1а поделим на корни квадратные из соответствующих средних значений шага 4. Результат оформим в виде таблицы 2.
6. Таблица 2 представляет собой продолговатую матрицу (строка 43, столбцов 6). Умножим ее на ее транспонирование так, чтобы получилась матрица размерности 6 на 6.
7. Результат шага 6 поделим на 43. Смотрите таблицу 3.

Таблица 1.

	1	2	3	4	5	6
1	129	64	95	17,5	11,2	13,8
2	154	74	76	20	14,2	16,5
3	170	87	71	17,9	12,3	15,9
4	188	94	73	19,5	13,3	14,8
5	161	81	55	17,1	12,1	13
6	164	90	58	17,5	12,7	14,7
7	203	109	65	20,7	14	16,8
8	178	97	57	17,3	12,8	14,3
9	212	114	65	20,5	14,3	15,5
10	221	123	62	21,2	15,2	17
11	183	97	52	19,3	12,9	13,5
12	212	112	65	19,7	14,2	16
13	220	117	70	19,8	14,3	15,6
14	216	113	72	20,5	14,4	17,7
15	216	112	75	19,6	14	16,4
16	205	110	68	20,8	14,1	16,4
17	228	122	78	22,5	14,2	17,8
18	218	112	65	20,3	13,9	17
19	190	93	78	19,7	13,2	14
20	212	111	73	20,5	13,7	16,6
21	201	105	70	19,8	14,3	15,9
22	196	106	67	18,5	12,6	14,2
23	158	71	71	16,7	12,5	13,3
24	255	126	86	21,4	15	18
25	234	113	83	21,3	14,8	17
26	205	105	70	19	12,4	14,9
27	186	97	62	19	13,2	14,2
28	241	119	87	21	14,7	18,3
29	220	111	88	22,5	15,4	18
30	242	120	85	19,9	15,3	17,6
31	199	105	73	23,4	15	19,1
32	227	117	77	25	15,3	18,6
33	228	122	82	24,7	15	18,5
34	232	123	83	25,3	16,8	15,5
35	231	121	78	23,5	16,5	19,6
36	215	118	74	25,7	15,7	19
37	184	100	69	23,3	15,8	19,7
38	175	94	73	22,2	14,8	17
39	239	124	77	25	16,8	27
40	203	109	70	23,3	15	18,7
41	226	118	72	26	16	19,4
42	226	119	77	26,5	16,8	19,3
43	210	103	72	20,5	14	16,7
среднее арифм. знач.	204,9535	106,4651	72,53488	21,05581	17,05814	16,8093

Таблица 2.

	1	2	3	4	5	6
1	-2,81171	-2,86441	2,491943	-1,3857	-0,32938	-1,23658
2	-1,88624	-2,18987	0,384368	-0,41145	-0,1607	-0,1271
3	-1,29394	-1,31298	-0,17026	-1,22982	-0,26753	-0,37365
4	-0,6276	-0,84081	0,051593	-0,6063	-0,21131	-0,82566
5	-1,62711	-1,7177	-1,94506	-1,54158	-0,27878	-1,56532
6	-1,51605	-1,11062	-1,61228	-1,3857	-0,24504	-0,86675
7	-0,07232	0,170986	-0,83581	-0,13866	-0,17195	-0,00382
8	-0,99779	-0,63845	-1,72321	-1,46364	-0,23942	-1,03112
9	0,260853	0,508252	-0,83581	-0,2166	-0,15508	-0,53802
10	0,594022	1,11533	-1,16858	0,056189	-0,10448	0,078361
11	-0,81269	-0,63845	-2,27783	-0,68424	-0,2338	-1,35986

	1	2	3	4	5	6
12	0,260853	0,373345	-0,83581	-0,52836	-0,1607	-0,33256
13	0,557004	0,710611	-0,28118	-0,48939	-0,15508	-0,49693
14	0,408929	0,440799	-0,05933	-0,2166	-0,14946	0,366005
15	0,408929	0,373345	0,273443	-0,56733	-0,17195	-0,16819
16	0,001722	0,238439	-0,50303	-0,09969	-0,16633	-0,16819
17	0,853154	1,047877	0,606218	0,562797	-0,1607	0,407097
18	0,482966	0,373345	-0,83581	-0,29454	-0,17757	0,078361
19	-0,55356	-0,90826	0,606218	-0,52836	6,462765	-1,1544
20	0,260853	0,305892	0,051593	-0,2166	-0,18882	-0,08601
21	-0,14635	-0,09883	-0,28118	-0,48939	-0,15508	-0,37365
22	-0,33145	-0,03137	-0,61396	-0,996	-0,25067	-1,07221
23	-1,73816	-2,39223	-0,17026	-1,69746	-0,25629	-1,44204
24	1,852661	1,31769	1,493618	0,134129	-0,11572	0,489281
25	1,075267	0,440799	1,160843	0,095159	-0,12697	0,078361
26	0,001722	-0,09883	-0,28118	-0,80115	-0,26191	-0,78457
27	-0,70164	-0,63845	-1,16858	-0,80115	-0,21693	-1,07221
28	1,334398	0,845518	1,604543	-0,02175	-0,13259	0,612557
29	0,557004	0,305892	1,715468	0,562797	-0,09323	0,489281
30	1,371417	0,912971	1,382693	-0,45042	-0,09885	0,324913
31	-0,22039	-0,09883	0,051593	0,913526	-0,11572	0,941293
32	0,816135	0,710611	0,495293	1,537044	-0,09885	0,735833
33	0,853154	1,047877	1,049918	1,420135	-0,11572	0,694741
34	1,001229	1,11533	1,160843	1,653954	-0,01451	-0,53802
35	0,96421	0,980424	0,606218	0,952496	-0,03138	1,146753
36	0,37191	0,778064	0,162518	1,809833	-0,07636	0,900201
37	-0,77567	-0,43609	-0,39211	0,874556	-0,07074	1,187845
38	-1,10884	-0,84081	0,051593	0,445888	-0,12697	0,078361
39	1,260361	1,182783	0,495293	1,537044	-0,01451	4,187559
40	-0,07232	0,170986	-0,28118	0,874556	-0,11572	0,776925
41	0,779116	0,778064	-0,05933	1,926743	-0,0595	1,064569
42	0,779116	0,845518	0,495293	2,121592	-0,01451	1,023477
43	0,186816	-0,23373	-0,05933	-0,2166	-0,17195	-0,04491

Таблица 3.

1	0,958741	0,348183	0,612949	0,032121	0,587251
0,958741	1	0,200333	0,661002	-0,085869	0,594653
0,348183	0,200333	1	0,369962	0,120454	0,354777
0,612949	0,661002	0,369962	1	-0,015032	0,762643
-0,03212	-0,08587	0,120454	-0,015032	1	-0,120108
0,587251	0,594653	0,354777	0,762643	-0,120108	1

Таблицы 2 и 3 вычислены в популярной программе для обработки электронных таблиц Microsoft Excel. Собственные векторы и собственные значения матрицы, вычислены с использованием вариационных методов. В работе [2] нами предложены различные алгоритмы вычисления собственных значений и собственных векторов матриц на основе вариационного метода. В работе [3] эти методы применялись для некоторых задач экономики. В данной работе предлагается применение указанных алгоритмов к некоторым задачам статистических данных.

$$\vec{c}_1 = \begin{bmatrix} 0.43 \\ 0.43 \\ 0.23 \\ 0.44 \\ 0.46 \\ 0.42 \end{bmatrix}, \vec{c}_2 = \begin{bmatrix} 0.23 \\ 0.38 \\ -0.89 \\ -0.07 \\ 0.02 \\ -0.10 \end{bmatrix}, \vec{c}_3 = \begin{bmatrix} 0.53 \\ 0.39 \\ 0.38 \\ -0.40 \\ -0.27 \\ -0.44 \end{bmatrix}, \vec{c}_4 = \begin{bmatrix} 0.11 \\ 0.01 \\ -0.02 \\ -0.52 \\ -0.31 \\ 0.79 \end{bmatrix}, \vec{c}_5 = \begin{bmatrix} 0.05 \\ -0.20 \\ 0.00 \\ -0.58 \\ 0.78 \\ -0.09 \end{bmatrix}, \vec{c}_6 = \begin{bmatrix} 0.68 \\ -0.69 \\ -0.13 \\ 0.18 \\ -0.09 \\ -0.01 \end{bmatrix}$$

$$\lambda_1 = 4.100, \lambda_2 = 0.883, \lambda_3 = 0.639, \lambda_4 = 0.259, \lambda_5 = 0.097, \lambda_6 = 0.022$$

След матрицы равен 6, при этом:

- первое собственное значение составляет 68,3% от следа,
- сумма первых двух собственных значений составляет 83,0%,
- сумма первых трех собственных значений составляет 93,7%.

Обсуждение и интерпретация полученных результатов

На первые 3 компоненты приходится 93.7% полной дисперсии «облака». При этом первая компонента имеет смысл общего размера. Это следует из того, что все компоненты у \vec{c}_1 одного знака и примерно одинаковы по величине, то есть при проектировании на эту ось координаты нормированных признаков складываются. Вторая компонента в основном отвечает за ширину верхней челюсти (признак 3), поскольку третья координата у \vec{c}_2 по абсолютной величине равна 0.89 (почти 1), а вторая — 0.38. Так как знаки этих координат разные, то эти признаки отражают различие в пропорциях челюстей и отличают удлиненные формы от укороченных (гончих и колли от бульдогов и боксеров). Второй и третий признаки у волков и немецких овчарок почти одинаковы. Третья ось противопоставляет размеры челюстей размерам зубов: первые три координаты у \vec{c}_3 примерно равны по сумме без знака последним трем, но противоположны по знаку. Эта ось позволяет отличить животных с развитыми зубами (волки, немецкие овчарки, доберманы) от собак других пород (сенбернары, сеттеры).

Заключение

Приведенный метод главных компонент может применяться в различных задачах, где возникают симметрические матрицы. Например, когда исходной информацией об объектах служат экспертные данные о различиях между ними, выраженных числами.

Литература:

1. Жамбю М. Иерархический кластер — анализ и соответствия. — М.: Наука «Финансы и статистика», 1988. — 385 с.
2. Елеуов А.А., Отелбаев М.О. Вычисление собственных чисел и собственных векторов матриц // Евразийский математический журнал ЕНУ им. Л.Н. Гумилева и МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Астана, 2005. — № 1. — с. 57-78.
3. Елеуов А.А., Алгоритмы счета собственных чисел и собственных векторов матриц // Вестник КазНПУ им. Абая. Серия физика, математика, информатика, 2007. — №1(17). — с.23-28.
4. Елеуов А.А., Отелбаев М.О. Об одном методе нахождения всех собственных чисел матрицы // Совместный выпуск по материалам международной конференции / Вестник КазНУ. Серия математика, механика, информатика. — Алматы, Новосибирск, 2004. — с. 190-193.
5. Елеуов А.А., Отелбаев М.О. К вопросу нахождения всех собственных чисел матрицы // Материалы 10-ой международной межвузовской конференции по математике и механике. — Алматы, 2004. — с. 138-140.
6. Елеуов А.А., Отелбаев М.О. К численному методу треугольного представления матриц // Материалы II международной научно-методической конференции «Математическое моделирование информационных технологий в образовании и науке» (ММ ИТОН), посвященной 75-летию КазНПУ им Абая. — Алматы, 2003. — с. 280-283.

Электродинамика движущихся сред в тензорной релятивистской форме

Львов Олег Сергеевич
г. Пенза

Рассматривается вариант решения уравнений электродинамики движущихся сред в тензорной релятивистской форме. Вводятся понятия 4-тензоров электрической проводимости и электромагнитной проницаемости сред. Приводятся примеры решения указанным методом некоторых задач электродинамики движущихся сред.

Введение

Вопросы электродинамики (ЭД) движущихся сред обычно рассматриваются с привлечением уравнений Максвелла, записанных в нерелятивистской форме [1, 2]. При этом получаются достаточно сложные для анализа математические зависимости, зачастую не допускающие решений в явном виде. Между тем математическое описание рассматриваемых процессов может быть упрощено при использовании соотношений электродинамики, записанных в форме тензоров 4-пространства теории относительности. Определенные шаги в этом направлении сделаны в работе И.Е. Тамма [3]. Однако указанную работу нельзя считать завершенной в части рассмотрения ЭД движущихся сред в тензорной релятивистской форме.

Для получения уравнений ЭД движущихся сред предлагается следующая методика. Предварительно записываются соотношения в тензорной релятивистской форме для простейшего случая неподвижной изотропной среды. Эти соотношения обобщаются на случай анизотропной среды, и на основании факта записи в строгой тензорной релятивистской форме объявляются справедливыми в общем случае движущейся среды. Для перехода к тензорам движущейся среды используется их лоренцево преобразование. В заключение производится анализ полученных выражений для наиболее интересных случаев, как в тензорной, так и в нерелятивистской векторной форме записи.

При переходе в движущуюся систему отсчета для упрощения расчетов рассматривается движение вдоль координаты x^1 . При этом преобразование компонент тензоров производится следующим образом. В случае компонент с идентичными индексами вклад исходных в новые компоненты производится с коэффициентами $1/(1 - \beta^2)^{n/2}$, где $\beta = v/c$, v - скорость движения среды и n — общее число компонентных индексов 0 или 1. В случае замены индексов $0 \rightarrow 1'$ или $1 \rightarrow 0'$ при

прочих идентичных индексах вклад исходных в новые компоненты производится с коэффициентами $(-\beta)^m/(1-\beta^2)^{n/2}$ при контравариантных индексах и с коэффициентами $\beta^m/(1-\beta^2)^{n/2}$ при ковариантных индексах 0 и 1. Здесь m – число указанных замен, n – общее число индексов 0 и 1 в компоненте. Другие варианты межкомпонентных вкладов отсутствуют.

Известно [1], что в релятивистской теории электрическое и магнитное поля в некоторой среде представляются в виде единого антисимметричного тензора второго ранга, ковариантные компоненты которого могут быть записаны в виде следующей таблицы:

$$F_{ij} = \begin{pmatrix} 0 & E_1 & E_2 & E_3 \\ -E_1 & 0 & -B_3 & B_2 \\ -E_2 & B_3 & 0 & -B_1 \\ -E_3 & -B_2 & B_1 & 0 \end{pmatrix} \quad (1)$$

Здесь E_i – компоненты вектора напряженности электрического поля и B_i – компоненты вектора магнитной индукции. Контравариантные компоненты тензора напряженностей электромагнитного поля (ЭМП) отличаются от указанных обратным знаком членов, отвечающих вектору электрического поля.

Электрические свойства проводящей движущейся среды

Сначала рассмотрим простейший вариант использования предложенной методики для исследования электропроводящих свойств движущейся среды.

Как известно, плотность тока в неподвижной проводящей изотропной среде описывается векторным выражением $\mathbf{j} = \sigma \mathbf{E}$. При записи в компонентной форме это выражение имеет вид $j^i = \sigma E^i$. В случае анизотропной среды последнее выражение приобретает вид $j^i = \sigma^{ik} E^k$. Здесь $\sigma = 1/\rho$ – удельная проводимость изотропной среды, а σ^{ik} – симметричный тензор проводимости анизотропной среды, включающий 9 пространственных компонент.

Как указывалось выше, в релятивистской теории электрическое и магнитное поля в некоторой среде представляются в виде единого антисимметричного тензора второго ранга F_{ij} . Нетрудно понять, что выражению для плотности электрического тока \mathbf{j} в неподвижной изотропной проводящей среде отвечает релятивистское тензорное выражение $j^i = 1/2 \sigma^{ikl} F_{kl}$. Здесь σ^{ikl} – тензор третьего ранга, антисимметричный по двум последним индексам, у которого отличны от нуля 3 компоненты вида σ^{i0i} , равные σ , а также 3 компоненты σ^{i0i} , равные $-\sigma$. Индексы i могут принимать значения 1, 2, или 3. Здесь по повторяющимся индексам k и l согласно правилам тензорной алгебры производится суммирование, $k, l = \{0, 1, 2, 3\}$.

Действительно, в указанном случае мы имеем равенства для компонент вектора плотности тока $j^i = (\sigma^{i0i} F_{0i} + \sigma^{i0i} F_{i0})/2 = \sigma E^i$, где $i = (1, 2, 3)$, которые отвечают вышеприведенному выражению в нерелятивистской векторной форме.

В случае анизотропной среды мы имеем дело с симметричным тензором проводимости второго ранга σ^{ik} . В релятивистской записи компонентам пространственного тензора проводимости σ^{ik} должны соответствовать 9 компонент 4-тензора проводимости вида σ^{i0k} , а еще 9 компонент этого тензора вида σ^{ik0} должны соответствовать тем же компонентам 3-тензора, взятым с обратным знаком. В этом случае формула для компонент плотности электрического тока, записанная через тензоры 4-пространства, принимает вид

$$j^i = \frac{1}{2} \sigma^{ikl} F_{kl} = \sigma^{ik} E_k, \quad (2)$$

отвечающий вышеуказанному нерелятивистскому выражению.

В случае изотропной среды, движущейся вдоль координаты x^1 , компоненты 4-тензора проводимости σ^{110} и σ^{101} изменяются, принимая значения $\sigma^{110} = -\sigma^{101} = \sigma/(1-\beta^2)^{3/2}$, а компоненты вида σ^{i0i} и σ^{i0i} , где $i \neq 1$, принимают значения $\sigma^{i0i} = -\sigma^{i0i} = \sigma/(1-\beta^2)^{1/2}$. Различие указанных компонент, отвечающих разным пространственным направлениям, свидетельствует об анизотропии проводимости движущейся среды, незначительной при нерелятивистских скоростях движения.

Кроме того появляются новые отличные от нуля компоненты вида $\sigma^{001} = -\sigma^{010} = -\sigma\beta/(1-\beta^2)^{3/2}$ и вида $\sigma^{i1i} = -\sigma^{i1i} = -\sigma\beta/(1-\beta^2)^{1/2}$, где $i \neq 1$. Влияние первых указанных компонент σ^{001} и σ^{010} выражается в появлении распределенного электрического заряда ρ в движущейся среде при наличии напряженности электрического поля E_1 : $\rho = -\sigma\beta/(1-\beta^2)^{3/2} E_1$.

Влияние же компонент вида σ^{i1i} и σ^{i1i} выражается в появлении электрического тока при наличии магнитного поля, ортогонального к направлению движения среды. Значение компонент плотности этого тока при записи в тензорной форме отвечает выражению $J^i = \sigma^{i1i} F_{1i} = \sigma\beta/\sqrt{1-\beta^2} F_{1i}$, где $i = 2$ или 3. При записи в нерелятивистской векторной форме плотность рассматриваемого тока отвечает выражению

$$\mathbf{j} = \sigma[\mathbf{vB}]/(c\sqrt{1-\beta^2}), \quad (3)$$

где \mathbf{v} – вектор скорости движения среды.

Последняя формула может быть использована для объяснения работы и расчета униполярных генераторов [4]. При этом следует учитывать снижение расчетного тока под влиянием встречного электрического поля, возникающего при не нулевом сопротивлении нагрузки генератора.

Электродинамика движущейся диэлектрической среды

Как известно [1, 2], уравнения Максвелла для неподвижной изотропной среды в векторном представлении имеют вид

$$\text{rot } \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{c \partial t}, \text{div } \mathbf{B} = 0, \quad (4a)$$

$$\text{rot } \mathbf{H} = \frac{\partial \mathbf{D}}{c \partial t} + \mathbf{j}, \text{div } \mathbf{D} = \rho, \quad (4b)$$

Здесь $\mathbf{D} = \varepsilon \mathbf{E}$ и $\mathbf{B} = \mu \mathbf{H}$, где ε и μ - соответственно диэлектрическая и магнитная проницаемости среды.

В случае анизотропных сред скалярные величины ε и μ заменяются симметричными пространственными тензорами ε^{ik} и μ^{ik} , а приведенные выше векторные зависимости между напряженностями и индукциями полей - тензорными зависимостями в 3-пространстве

$$D^i = \varepsilon^{ik} E_k \text{ и } B^i = \mu^{ik} H_k. \quad (5)$$

В релятивистской тензорной записи согласно [1] уравнения Максвелла имеют следующий вид:

$$\frac{\partial F^{ij}}{\partial x^k} + \frac{\partial F^{ki}}{\partial x^j} + \frac{\partial F^{jk}}{\partial x^i} = 0 \quad (\text{или } \varepsilon^{ijkl} \frac{\partial F_{kl}}{\partial x^j} = 0) \quad (6a)$$

$$\text{и } \frac{\partial H^{ik}}{\partial x^k} = j^i. \quad (6b)$$

Здесь F^{ij} - указанный ранее тензор напряженностей ЭМП, ε^{ijkl} - полностью антисимметричный единичный тензор. Компоненты же нового антисимметричного 4-тензора индукции H^{ik} , введенного на основании уравнений (4b), отвечают матричному выражению

$$H^{ij} = \begin{pmatrix} 0 & D_1 & D_2 & D_3 \\ -D_1 & 0 & -H_3 & H_2 \\ -D_2 & H_3 & 0 & -H_1 \\ -D_3 & -H_2 & H_1 & 0 \end{pmatrix}. \quad (7)$$

Ввиду релятивистской формы записи уравнения (6) остаются справедливыми в движущейся среде. Однако при обратном переходе к нерелятивистскому представлению в рассматриваемом случае получается весьма сложное, не разрешаемое в явном виде соотношение между векторами напряженности и индукции ЭМП (см. формулы (76.9) в источнике [1]).

Ниже предлагается другой вариант записи уравнений Максвелла в релятивистской форме с исключением дополнительного тензора H^{ik} . Принимая во внимание линейную связь тензоров напряженностей и индукции ЭМП, для компонент тензора H^{ik} может быть записано тензорное соотношение

$$H^{ij} = 1/2 \gamma^{ijkl} F_{kl}. \quad (8)$$

Здесь γ^{ijkl} - 4-тензор электромагнитной проницаемости, антисимметричный по первой и второй паре индексов, который определяет вклад от каждой компоненты исходного тензора ЭМП F_{kl} в любую компоненту тензора индукции H^{ij} . При учете формулы (8) второе тензорное уравнение Максвелла (6b) преобразуется к виду

$$\frac{1}{2} \gamma^{ijkl} \frac{\partial F_{kl}}{\partial x^j} = j^i. \quad (9)$$

На основе первого уравнения (6a) может быть введен 4-вектор-потенциал ЭМП A_i , связанный с напряженностями поля соотношением $F_{ij} = \frac{\partial A_j}{\partial x^i} - \frac{\partial A_i}{\partial x^j}$. При этом второе уравнение Максвелла (9) записывается в виде совокупности вторых производных от вектора-потенциала A_i . В ряде случаев введение вектора-потенциала упрощает решение уравнений (6,9).

Введенный тензор электромагнитной проницаемости γ^{ijkl} легко определяется для неподвижной среды. При этом его "электрические" компоненты определяются тензором диэлектрической проницаемости по формуле $\gamma^{i0j0} = \varepsilon^{ij}$. В случае изотропной среды формула имеет вид $\gamma^{i0j0} = \delta^{ij} \varepsilon$, где δ^{ij} - единичный диагональный тензор.

В случае "магнитных" компонент связь тензоров γ^{ijkl} и μ^{ik} несколько сложнее. Поскольку взаимосвязь векторов \mathbf{B} и \mathbf{H} в случае анизотропных сред отвечает соотношению $B^i = \mu^{ik} H_k$, то интересующая нас обратная связь компонент векторов \mathbf{H} и \mathbf{B} будет определяться соотношением $H^i = \tilde{\mu}^{ik} B_k$, где $\tilde{\mu}^{ik}$ -тензор обратный тензору магнитной проницаемости ($\tilde{\mu}^{ik} \mu_{jk} = \delta_j^i$).

При этом чисто пространственные компоненты тензора γ^{ijkl} , отвечающие магнитным компонентам тензоров H_{ij} и F_{ij} , будут определяться соотношением $\gamma^{ijkl} = \varepsilon^{ijp} \varepsilon^{klq} \tilde{\mu}_{pq}$, где ε^{ijp} и ε^{ijp} - полностью антисимметричные единичные тензоры 3-пространства. В случае магнитной изотропии среды $\gamma^{ijkl} = \varepsilon^{ijp} \varepsilon^{klq} \delta_{pq} / \mu$.

Ввиду симметрии тензоров ε^{ij} и μ^{ij} тензор γ^{ijkl} обладает симметрией при перестановке первой и второй пары индексов. В случае анизотропной неподвижной среды тензор γ^{ijkl} при общем количестве компонент - 144 может иметь до 72 отличных от нуля компонент, включающих до 12 констант.

В случае неподвижной изотропной среды тензор электромагнитной проницаемости имеет 12 отличных от нуля компонент электрического типа, включающих 3 базовые компоненты вида $\gamma^{i0i0} = \varepsilon$ и 9 компонент, получаемых из базовых перестановками индексов, а также 12 компонент магнитного типа, включающих 3 базовые компоненты вида $\gamma^{ijij} = -1/\mu$ и 9 перестановочных компонент. Здесь всюду ($i \neq j$) $\neq 0$.

В случае движущейся изотропной среды часть тензорных компонент изменяется и появляется ряд новых ненулевых компонент. А именно, в среде, движущейся вдоль координаты x^1 , базовые компоненты вида γ^{0i0i} ($i = 2, 3$) принимают новые значения $\varepsilon(1 + \beta^2) - \beta^2/\mu$, а базовые компоненты γ^{1i1i} ($i = 2, 3$) - новые значения $-(1 + \beta^2)/\mu + \beta^2 \varepsilon$. Соответственно изменяются еще 6 перестановочных компонент. Здесь значения компонент указаны с точностью до величины порядка β^2 .

Кроме того появляются новые не нулевые компоненты вида γ^{0212} и γ^{0313} , равные с точностью до членов порядка β величине $\beta(1/\mu - \varepsilon)$. Те же значения модуля имеют еще 14 перестановочных компонент тензора γ^{ijkl} .

Займемся далее анализом свойств рассматриваемой движущейся среды.

Во-первых, нарушается свойство изотропии среды в части электрической и магнитной проницаемости, связанное с изменением компонент γ^{0i0i} и γ^{1i1i} ($i = 2, 3$). Однако указанные отклонения от изотропии имеют порядок величины β^2 , и экспериментально трудно обнаружимы. Более значимо появление новых базовых компонент γ^{0212} и γ^{0313} порядка величины β , которые, как будет показано ниже, приводят к относительно большому изменению скорости электромагнитных (ЭМ) волн в среде.

Рассмотрим далее ЭМ волны в анализируемой среде, движущиеся в направлении координаты x^1 или в обратном направлении. В данном случае достаточно введение вектора-потенциала, содержащего одну компоненту A_2 , производящую две базовые компоненты ЭМП $F_{02} = -\partial A_2/\partial x^0$ и $F_{12} = -\partial A_2/\partial x^1$.

После подстановки в уравнение (9) указанных компонент напряженности ЭМП, выражаемых через вектор-потенциал A_2 , получим с точностью до членов порядка β следующее дифференциальное уравнение:

$$\varepsilon \frac{\partial^2 A_2}{\partial x^{02}} - \frac{1}{\mu} \frac{\partial^2 A_2}{\partial x^{12}} - 2\beta \left(\varepsilon - \frac{1}{\mu} \right) \frac{\partial^2 A_2}{\partial x^0 \partial x^1} = 0. \quad (10)$$

Определим решения этого уравнения вида синусоидальной волны $A_2 = \sin(\omega t - kx^1)$. После подстановки указанного выражения в (10) получаем следующее соотношение для компонент волнового вектора ω и k :

$$\frac{\varepsilon \omega^2}{c^2} - \frac{k^2}{\mu} - 2\frac{\beta}{c} \left(\varepsilon - \frac{1}{\mu} \right) \omega k = 0. \quad (11)$$

Решая это квадратное уравнение, получаем значение ω с точностью до членов порядка β

$$\omega = \beta c \left(1 - \frac{1}{\varepsilon \mu} \right) k \pm \frac{ck}{\sqrt{\varepsilon \mu}}. \quad (12)$$

По формуле $v_{\text{гр}} = d\omega/dk$ определяем групповые скорости ЭМ волн

$$v_{\text{гр}} = v \left(1 - \frac{1}{\varepsilon \mu} \right) \pm \frac{c}{\sqrt{\varepsilon \mu}}. \quad (13)$$

Здесь выражение $\pm c/\sqrt{\varepsilon \mu}$ отвечает основной скорости прямой и обратной ЭМ волны, которая равна скорости волны в неподвижной среде. Выражение же $v \cdot (1 - 1/\varepsilon \mu)$ отвечает дополнительной скорости увлечения ЭМ волны движущейся средой [5]. Можно видеть, что с ростом произведения $\varepsilon \mu$ скорость увлечения ЭМ волны приближается к скорости движения среды.

Литература:

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика, том VIII. Электродинамика сплошных сред, М. «Наука», 1982, 621 с.
2. Новожилов Ю.В., Яппа Ю.А. Электродинамика, М. «Наука», 1978, 352 с.
3. Тамм И. Е. Собрание научных трудов в двух томах. Т.1, М «Наука», 1975, стр.19-67. Электродинамика анизотропной среды в специальной теории относительности, 1924.
4. Униполярный генератор – Википедия. https://ru.wikipedia.org/wiki/Униполярный_генератор
5. Опыт Физо – Википедия. https://ru.wikipedia.org/wiki/Опыт_Физо

Развитие представлений о геометрии окружающего пространства

Ромакина Людмила Николаевна, кандидат физико-математических наук, доцент
Саратовский государственный университет (г. Саратов)

1. Введение. Представления об окружающем пространстве менялись на протяжении всего пути развития человечества. От моделей мира, основанного на трех словах, китах или черепахах, сильнейшие мыслители своих эпох выводили человечество к новым высотам понимания геометрии и физики "реального" пространства. Тысячелетиями формировалось геометрическое учение, систематически и наиболее полно для своего времени изложенное в труде «Начала» древнегреческим ученым Евклидом (ок. 365-300 до н.э.) и названное позднее евклидовой геометрией. Выполнимость основных положений учения Евклида не вызывала сомнений, и почти два тысячелетия от создания «Начал» евклидова геометрия была единственной геометрической системой, принятой человечеством. Именно ее считали геометрией окружающего пространства. Параллельно развивалась и сферическая геометрия, но сферу рассматривали как поверхность в евклидовом пространстве, поэтому к кардинальным переменам в понимании геометрии окружающего мира сферическая геометрия не привела.

Первая половина девятнадцатого века ознаменовала переход человечества к новым геометрическим представлениям. Два выдающихся геометра, Н.И. Лобачевский и Я. Больяи, независимо друг от друга построили и подарили миру новую геометрическую систему. Цена подарка для самих создателей оказалась очень высокой, платить пришлось тяжелыми жизненными потрясениями и жестокими лишениями. Дождаться признания своих идей ученым так и не удалось. Но по меркам мироздания их идеи были приняты довольно скоро и привели многих математиков и физиков к соблазну утверждать, что окружающее физическое пространство при переходе к большим размерам подчиняется законам геометрии Лобачевского, или гиперболической геометрии отрицательной кривизны. Николай Иванович Лобачевский называл развиваемую систему воображаемой геометрией и пангеометрией [1].

В следующий век после первого доклада о гиперболической геометрии, проведенного Н.И. Лобачевским в Казанском университете 23 (11) февраля 1826 г., были предложены и другие геометрические системы. Наиболее из-

вестные из них — геометрии Римана и Минковского. Некоторые новые системы с той или иной степенью настойчивости приписывались Вселенной, в то время как другим в применимости в окружающем пространстве было отказано. Например, Ф. Клейн считал [2, стр. 200], что из девяти плоских геометрий, включенных им в проективную схему, в реальном физическом пространстве могут быть реализованы лишь геометрии с эллиптическим типом измерения углов: евклидова, эллиптическая и геометрия Лобачевского. Обоснование своего суждения Ф. Клейн строил, опираясь на субъективное восприятие окружающего пространства, рассматривая движения деревянного клина.

Одной из геометрий, допускающих построение на проективной основе, но по субъективным причинам не входящей в классическую схему Кэли-Клейна (см. [3, гл. 3]), является геометрия гиперболического пространства положительной кривизны. Это пространство можно реализовать на идеальной области пространства Лобачевского или на гиперсфере вещественного радиуса в псевдоевклидовом пространстве на единицу большей размерности. Реализацию на гиперсфере псевдоевклидова пространства в 1917 г. нидерландский астроном Виллем де Ситтер предложил в качестве одной из космологических моделей [4]. Вполне закономерно, что следующий за этим событием век отмечен попытками ученых убедить Вселенную подчиниться предложенным ей на данном этапе законам модели де Ситтера.

В представленной статье, помня о китах, слонах и черепахах, к подобным идеям отнесемся скептически и от рассуждений о геометрии Вселенной воздержимся, разделяя при этом уверенность А. Пуанкаре [5] и П.А.М. Дирака [6] в том, что каждая непротиворечивая геометрическая система может найти свое применение в описании тех или иных явлений, тех или иных систем окружающего физического пространства.

Для того, чтобы утверждать, что мир евклидов, псевдоевклидов, гиперболический или какой-либо еще, необходимо понимать, какими особенностями отличаются примеряемые ко Вселенной, или к некоторым ее частям, геометрические системы. Причем рассматривать эти системы необходимо с общих позиций, в единой схеме. Такой схемой может служить проективная схема Кэли-Клейна [7, 8]. Опишем в этой схеме модели геометрических пространств.

2. Проективные интерпретации пространств. Трехмерное вещественное проективное пространство RP_3 пополним мнимыми точками так, чтобы каждой ненулевой тройке комплексных чисел, определенных с точностью до общего множителя, соответствовала точка, координатами которой в некотором репере с вещественными вершинами служит данная тройка чисел. В качестве преобразований пополненного пространства, обозначим его P_3 , будем рассматривать те проективные преобразования этого пространства, которые сохраняют природу объектов, т.е. вещественные (мнимые) точки переводят в вещественные (мнимые) точки. Другими словами, под P_3 будем понимать промежуточный объект между вещественным проективным пространством RP_3 и комплексным проективным пространством CP_3 . Именно этот объект, начиная с работ А. Кэли (см., например, [9, 10]), используют для построения проективных интерпретаций евклидова и неевклидовых пространств. В классической литературе по неевклидовым геометриям специальный термин для пространства P_3 обычно не используют, П.С. Александров называет пространство P_3 комплексным проективным пространством с фиксирован-

ной вещественной частью [11].

Зафиксируем в пространстве P_3 некоторую фигуру F , будем считать ее бесконечно удаленной, и рассмотрим пространство $K=P_3 \setminus F$, группу G всех линейных преобразований которого (в проективных координатах) составляют проективные автоморфизмы фигуры F . Фигуру F называют *абсолютом* пространства K , группу G — *фундаментальной группой* этого пространства. С помощью абсолюта в пространстве K можно вводить различные *метрики* — числовые характеристики совокупностей объектов, инвариантные в действиях группы G . Поскольку группа G является подгруппой группы проективных преобразований, пространство K называют *пространством с проективными метриками*. В классическую проективную схему Кэли-Клейна входят пространства, абсолютом которых — образ второго порядка.

Приведем примеры введенных понятий.

1. Пространство P_3 с фиксированной, или бесконечно удаленной в нем плоскостью α называют *аффинным трехмерным пространством*, плоскость α — *абсолютом* этого пространства, а группу всех проективных автоморфизмов плоскости α — *группой аффинных преобразований*. Группа аффинных преобразований — фундаментальная группа аффинного пространства. Пространства, фундаментальные группы которых являются подгруппами группы аффинных преобразований, называют *пространствами с аффинной базой*. К таким пространствам относятся, например, евклидово и псевдоевклидово пространства.

В абсолютной плоскости α евклидова (псевдоевклидова) пространства R^3 (R_1^3) дополнительно зафиксирована нулевая (овальная) линия. Напомним, что *овальной* (нулевой) линией называют невырожденную линию второго порядка, содержащую (не содержащую) вещественные точки [12, 13]. Таким образом, абсолютом евклидова (псевдоевклидова) пространства R^3 (R_1^3) является эллиптическая (расширенная гиперболическая) плоскость.

Фиксация овальной линии γ в абсолюте пространства R_1^3 позволяет с каждой точкой этого пространства связать вещественный конус изотропных направлений, называемый *изотропным*, или *световым* конусом данной точки.

Все прямые пространств с аффинной базой параболические, они имеют одну бесконечно удаленную вещественную точку, точку пересечения данной прямой с абсолютной плоскостью, вследствие этого незамкнуты. Все плоскости евклидова пространства одного типа — евклидовы. Абсолют евклидовой плоскости — вещественная прямая с фиксированной парой мнимо сопряженных точек на ней. Пространство R_1^3 содержит плоскости трех типов. Плоскость пространства R_1^3 является евклидовой (псевдоевклидовой), если она пересекает линию γ в двух мнимо сопряженных (вещественных) точках. Плоскость пространства R_1^3 является флаговой, или плоскостью Галилея, если она касается линии γ . Абсолют псевдоевклидовой (флаговой) плоскости — вещественная прямая с фиксированной на ней парой вещественных различных (совпавших) точек.

К метрическим инвариантам в аффинном пространстве относятся: простое отношение трех точек, простое отношение трех параллельных плоскостей, простое отношение трех параллельных прямых, лежащих в одной плоскости, и др.

К метрическим инвариантам в пространствах с аффинной базой относятся: мера угла между прямыми, мера угла между плоскостями и др. Фундаментальные группы пространств с аффинной базой составляют подобия. Группы

пы движений таких пространств — подгруппы соответствующих фундаментальных групп. Расстояния между точками, между параллельными прямыми, расстояния от точки до плоскости и другие аналогичные величины инвариантны в движениях пространств с аффинной базой, но в преобразованиях фундаментальных групп данных пространств инвариантами не являются.

2. *Гиперболическими* в классической теории неевклидовых геометрий называют пространства, реализуемые в проективном пространстве с фиксированной овальной гиперквадрикой [8, стр. 210]. Таким образом, абсолют гиперболического пространства является овальная поверхность, а его фундаментальной группой — группа автоморфизмов овальной поверхности.

Трехмерное гиперболическое пространство отрицательной кривизны, или *пространство Лобачевского* \mathbb{L}^3 , реализуется на внутренней относительно овальной поверхности области проективного пространства \mathbb{P}_3 . На внешней области относительно овальной поверхности в \mathbb{P}_3 реализуется *гиперболическое пространство \mathbb{H}^3 положительной кривизны* [14]. Пространство \mathbb{H}^3 является проективной моделью 3-пространства де Ситтера.

Все прямые пространства Лобачевского гиперболические, они имеют две различные вещественные бесконечно удаленные точки. В пространстве \mathbb{H}^3 прямые трех типов: гиперболические, параболические и эллиптические с двумя мнимо сопряженными точками на абсолют.

Все плоскости пространства Лобачевского — плоскости Лобачевского, а в пространстве \mathbb{H}^3 плоскости относятся к трем типам: коевклидовы, эллиптические и гиперболические плоскости положительной кривизны.

В отличие от пространств с аффинной базой фундаментальные группы гиперболических пространств являются группами движений. К метрическим инвариантам в гиперболических пространствах относятся: длины отрезков и квазиотрезков, мера угла между прямыми, мера угла между плоскостями, расстояние от точки до плоскости и др.

3. О геометрии реального физического пространства. В данном разделе ответим на два вопроса: является ли окружающее пространство евклидовым, и почему из множества возможных геометрических систем для описания окружающего мира мы выбираем евклидову геометрию?

1. Метрика в геометрическом пространстве вводится с помощью абсолюта (см., например, [3, 15, 16]), т.е. с помощью бесконечно удаленного объекта пространства. Следовательно, и в окружающем пространстве метрика определена объектом, который наблюдателем воспринимается как бесконечно удаленный. В качестве движений (подобий) пространства наблюдатель воспринимает такие преобразования, в которых бесконечно удаленный объект переходит в себя. В евклидовом пространстве бесконечно удалена плоскость и в ней зафиксирована нулевая линия. В пространстве Лобачевского бесконечно удалена овальная поверхность, а наблюдатель, вводящий метрику, находится внутри этой поверхности. В пространстве гиперболическом положительной кривизны абсолют также служит овальной поверхностью, но наблюдатель находится во внешней относительно нее области пространства. В псевдоевклидовом пространстве бесконечно удалена плоскость с фиксированной в ней овальной линией.

Понимая различия рассмотренных в единой схеме метрических систем, на вопрос о метрике реального пространства, о том, является ли оно евклидовым, ответим

вопросом: может ли окружающее физическое пространство зависеть от того, какой объект наблюдатель выбирает в качестве бесконечно удаленного? Реальное пространство без наблюдателя не является метрическим. Это наблюдатель, причем чаще всего субъективно, выбирает некоторую геометрическую систему для описания свойств фигур и процессов их взаимодействия в окружающем пространстве.

2. В работе [17] показано, что выбор человечеством евклидовой геометрии для описания свойств окружающего мира субъективен, он обусловлен строением человеческого глаза. В буквальном смысле справедливо утверждение: мы **видим** мир евклидовым.

Чтобы облегчить процесс осознания предложенной идеи, приведем простой пример. Предположим, мы от рождения видим мир сквозь розовое стекло. Если при этом все, с кем мы имеем возможность обсуждать мир, пользуются стеклом того же цвета, то мир мы будем считать розовым. Но что произойдет при изменении цвета стекла? Аналогичная ситуация складывается при восприятии метрики окружающего мира. Все представители человечества наделены одной и той же геометрической схемой строения глаз. Световые сигналы внешнего мира воспринимаются сетчаткой, имеющей вследствие внутреннего давления стекловидного тела форму сферы. Центр сферы сетчатки условно определен радиальным направлением нервных импульсов, передающих от сетчатки в мозг зрительную информацию. Полярная плоскость центра сферы сетчатки относительно самой сетчатки воспринимается мозгом как бесконечно удаленная плоскость (или абсолют). Нулевая линия пересечения этой плоскости со сферой сетчатки определяет евклидову метрику. Именно ее наблюдатель приписывает окружающему пространству. При существенном изменении формы зрительного органа наблюдатель утрачивает способность воспринимать евклидову геометрию окружающего мира.

Итак, мы **видим** мир евклидовым. Это, с одной стороны, позволяет человеческому сообществу адаптироваться в физическом пространстве и понимать многие важные вопросы мироздания. С другой стороны, отсутствие альтернативы в восприятии геометрии окружающего мира тормозит процесс его освоения. Поэтому важно не только развивать различные геометрические системы, следуя наставлениям Ф. Клейна, но и широко их популяризировать.

4. О применении гиперболических геометрий при изучении атома в модели Резерфорда. Гиперболические геометрии позволяют моделировать различные процессы окружающего нас мира, причем не только реального физического мира в привычном его понимании. Современные исследования предоставляют новые возможности применения неевклидовых геометрий, в частности, гиперболических, в весьма неожиданных направлениях. Например, в работе [18] М.П. Замаховским предложено использование неевклидовых геометрий в моделировании экономических процессов. Исследования М.П. Замаховского показывают, что специалист, глубоко понимающий неевклидовы геометрии, начинает "видеть" их проявления в окружающем мире.

Приведем пример возможного использования гиперболических геометрий для описания атома в модели Резерфорда. Основные общепризнанные на данном этапе развития науки представления о строении атома описаны моделью Резерфорда. Согласно этой модели при невозможности

щенных состояниях атома существуют заряженные частицы, находящиеся внутри атомного ядра, и противоположно к ним заряженные частицы, находящиеся во внешней относительно ядра области. Причем «ядро — предположительно сферическое — окружено очень мощным силовым барьером» [19, стр. 558]. Характеризуя ядро, Резерфорд также пишет: «эта область не сферическая, а скорее похожа на плоский эллипсоид» [19, стр. 556]. Применяя проективную модель Кэли-Клейна, данные представления можно описать следующим образом.

В рассматриваемой части пространства, содержащей атом, существует ограниченная замкнутая поверхность, недостижимая как для некоторых внутренних, так и для некоторых внешних относительно нее атомных частиц. Экспериментальные данные о строении атома получены наблюдателем с евклидовым восприятием мира, т.е. в предположении, что содержащее атом пространство евклидово. Наиболее простой ограниченной замкнутой поверхностью в трехмерном евклидовом пространстве является поверхность второго порядка — эллипсоид, или сфера в частном случае. С проективной точки зрения эллипсоид — овальная поверхность, не имеющая общих вещественных

точек с абсолютной плоскостью евклидова пространства, воспринимаемой наблюдателем как бесконечно удаленный объект.

Таким образом, для описания геометрических свойств траекторий движения атомных частиц, учитывая описанный физиками характер их взаимодействия, целесообразно применять геометрическую систему, в которой в качестве абсолюта выступает овальная поверхность. Такой системой является гиперболическая геометрия. Для описания внутриядерных процессов следует применять геометрию пространства Лобачевского \mathbb{L}^3 , а для описания процессов во внешней области относительно ядра — геометрию гиперболического пространства \mathbb{H}^3 положительной кривизны.

Обратим внимание, что при одновременном рассмотрении внутренних и внешних относительно ядра процессов геометрии пространств \mathbb{L}^3 и \mathbb{H}^3 должны быть согласованы (см., например, введение согласованных длин отрезков и квазиотрезков плоскостей \mathbb{L}^2 , \mathbb{H}^2 и согласованных мер гиперболических углов на гиперболической плоскости положительной кривизны [3]).

Литература:

1. Лобачевский Н. И. Геометрические исследования по теории параллельных линий. М.;Л.: Изд-во Академии Наук СССР, 1945.
2. Клейн Ф., Неевклидова геометрия. М.;Л.: ОНТИ НКТП СССР, 1936.
3. Ромакина Л. Н. Геометрия гиперболической плоскости положительной кривизны : в 4 ч. Ч. 1: Тригонометрия. Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 2013.
4. De Sitter W. On the Relativity of Inertia. Remarks Concerning Einstein's Latest Hypothesis // Proc. Royal Acad. Amsterdam, 1917. Vol. 19, iss. 2. P. 1217–1225.
5. Пуанкаре А. О науке: Пер. с фр. / Под ред. Л.С. Понтрягина. — 2-е изд. стер. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990.
6. Дирак П.А.М. Совершенство теории тяготения Эйнштейна // СМТ. М.: Наука, 1967. С. 640.
7. Розенфельд Б. А., Замаховский М. П. Геометрия групп Ли. Симметрические, параболические и периодические пространства. М.: МЦНМО, 2003.
8. Розенфельд Б. А. Неевклидовы пространства. М.: Наука, 1969.
9. Cayley A. A Six memoir upon quantities // Phil. Trans. Roy. Soc. London. 1859. № 149. P. 61-70.
10. Кэли А. Шестой мемуар о формах // Об основаниях геометрии. Сб. классических работ по геометрии Лобачевского и развитию ее идей. / Под ред. А.П.Нордена. М.: ГИИТЛ, 1956. С. 222-252.
11. Александров П. С. Лекции по аналитической геометрии. М.: Наука, 1968.
12. Атанасян Л. С., Базылев В. Т. Геометрия : в 2 ч. Ч. 2. М.: Просвещение, 1987.
13. Ефимов Н. В. Высшая геометрия. М.: Наука, 1971.
14. Ромакина Л. Н. Геометрия гиперболической плоскости положительной кривизны : в 4 ч. Ч. 2: Преобразования и простые разбиения. Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 2013.
15. Бушманова Г. В., Норден А. П. Введение в конформную геометрию. Казань: Изд-во Казанского ун-та, 1964.
16. Норден А. П. Пространства аффинной связности. М.: Наука, 1976.
17. Romakina L. N. An eye as the tool of a choice of the Euclidean metric for the description of real physical space // Journal of Basic and Applied Research International, IKP, 2015. Vol. 9, iss. 3, pp. 147-154.
18. Замаховский М. П. Геометрические модели статистического показателя // Proceedings of the international scientific conference «Science, Technology and Life — 2014». Czech Republic, Karlovy Vary, 27-28 December 2014. Karlovy Vary: Skleněná Mústek; Kirov: MCNIP, 2015. С. 441.
19. Резерфорд Э. Дискуссия о строении атомного ядра // Успехи физических наук, 1929. Т. 9, № 5.

Моделирование оптимизационной задачи на гиперграфах

Салпагаров Солтан Исмаилович, кандидат физико-математических наук, доцент
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
Российский университет дружбы народов (г. Москва)

Как известно, в современном мире непрерывно возрастает потребность в оптимизации экономических, социальных, информационных и технологических процессов. Основная сложность описания таких процессов заключается в том, что исходные данные, зачастую, слабо структурированы и нечетко представлены. Поэтому, исследование методов оптимизации дискретных задач методами теории графов является актуальной проблемой современного математического модели-

рования.

Использование теории графов в дискретном моделировании является классическим, позволяющим отражать отношения между различными данными задачи. Но нередко случается так, что с помощью аппарата этой теории не удастся достичь полного и адекватного результата, поэтому возникает потребность в использовании аппарата теории гиперграфов [1, с. 298].

В данной работе рассматривается достаточно важная прикладная задача дискретной математики о нахождении системы различных представителей, а также ее формулировка на языке теории гиперграфов.

Формальная постановка задачи о системе различных представителей.

Пусть S – множество, состоящее из m элементов, $|S| = m$, а $P(S)$ – множество всех его подмножеств.

Определение. Пусть $M(S) = \{S_1, \dots, S_n\}$ – некоторая совокупность подмножеств из $P(S)$, необязательно различных, $a = \{a_1, \dots, a_n\}$ – последовательность элементов из S , такая, что все элементы $a_i, i = 1, \dots, n$ различны. Если при этом $a_i \in S_i$, то говорят, что элемент a_i представляет множество S_i , а вся совокупность $\{a_1, \dots, a_n\}$ называется системой различных представителей (СРП) для $M(S)$.

Известно [2, с. 64], что подмножества S_1, \dots, S_n имеют систему различных представителей тогда и только тогда, когда удовлетворяется следующее условие: среди элементов любого конечного числа k множеств S_i , имеется по меньшей мере k различных элементов.

Рассмотрим известную задачу о свадьбах.

Пусть имеется некоторое количество мужчин и женщин. Каждый мужчина знаком с несколькими женщинами. Необходимо женить всех мужчин так, чтобы он сочетался браком только с одной знакомой ему женщиной.

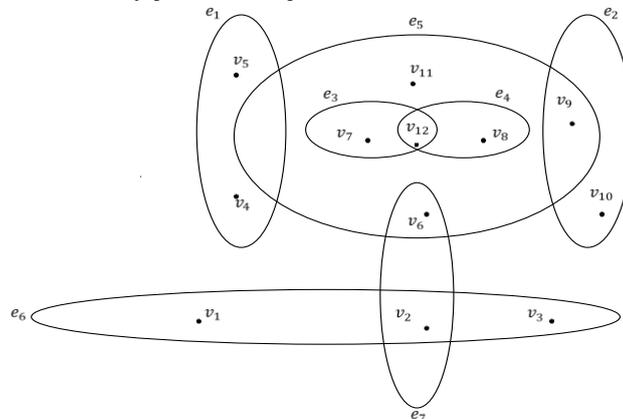
В качестве исходных данных выступают два множества – мужчины и женщины, а также информация о том, какие мужчины и женщины знакомы между собой. Таким образом, каждому мужчине из исходного множества соответствует некоторое подмножество женщин, причем элементы подмножеств (женщины) могут повторяться. Подмножества разбиваются по критерию знакомства и состоят из женщин, знакомых с одним и тем же мужчиной. Рассмотрим это на конкретном примере, для удобства будем обозначать каждого мужчину и женщину номером. Пусть количество мужчин равно семи, а количество женщин – двенадцати.

Таблица 1. Соответствие знакомств

Мужчины	Женщины, с которыми знаком мужчина (подмножества S_i)
1	5,4
2	9,10
3	7,12
4	8,12
5	6,7,8,9,11,12
6	1,2,3
7	2,6

Теперь, для каждого мужчины выбираем жен, запоминаем свой выбор, и не повторяем его на следующем шаге: 1-4, 2-9, 3-7, 4-8, 5-6, 6-1, 7-2.

На основании этого выбора имеем систему различных представителей каждого подмножества: $S = \{1,2,4,6,7,8,9\}$.



Сформулируем постановку задачи о СРП с применением теории гиперграфов. Исходные данные имеем те же, при этом мужчин будем обозначать в виде ребер, а женщин – в виде вершин см. рис. 1.

Для этого нам необходим гиперграф $G = (V, E)$, где множество всех вершин $V = \{v_1, v_2, \dots, v_{12}\}, |V| = 12$. Определим семейство его подмножеств V_1, V_2, \dots, V_7 , каждое из которых состоит из таких вершин v_i , инцидентных соответствующему ребру e_i , то есть будем иметь подмножества: $V_1 = \{v_4, v_5\}, V_2 = \{v_9, v_{10}\}, V_3 = \{v_7, v_{12}\}, V_4 = \{v_8, v_{12}\}, V_5 = \{v_6, v_7, v_8, v_9, v_{11}, v_{12}\}, V_7 = \{v_2, v_6\}$.

Условие существования СРП выполняется: для любого из подмножеств $V_i, i = 1, \dots, 7$ существует, по меньшей мере, семь различных представителей, то есть, задача имеет решение. Заключительный этап состоит в выборе из каждого подмножества представителя, заботясь о том, чтобы каждый последующий был отличен от предыдущего: от V_1 выбираем в

качестве представителя вершину $v_4, V_2 - v_9, V_3 - v_7, V_4 - v_8, V_5 - v_6, V_6 - v_1, V_7 - v_2$. Таким образом, имеем систему $S = \{v_1, v_2, v_4, v_6, v_7, v_8, v_9\}$ $S = \{v_1, v_2, v_4, v_6, v_7, v_8, v_9\}$ различных вершин-представителей для всех ребер гиперграфа.

Отметим, что формулировка задачи о СРП на языке гиперграфов является более наглядной и позволяет использовать наряду с терминами теории множеств, термины теории гиперграфов, что представляет интерес для дальнейшего исследования.

Литература:

1. Емеличев В.А., Мельников О.И., Сарванов В.И., Тышкевич Р.И. Лекции по теории графов. – М.: Наука, 1990. – 384 с.
 2. М.Холл Комбинаторика. – М.: Мир, 1970. – 420 с.

УДК 511.37+519.671

L_p -отклонения числовых последовательностей в задачах численного интегрирования

Севастьянов Евгений Александрович, доктор физ.-матем. наук, профессор
 Национальный Исследовательский Ядерный Университет "МИФИ" (г. Москва)

Понятие "отклонение" дает количественную меру отклонения распределения числовой последовательности от некоторого идеального распределения. Оно широко используется в теории равномерного распределения последовательностей и ее приложениях. В частности, качество аппроксимации интеграла Римана

$$\int_0^1 f(x)dx$$

средними арифметическими

$$\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n f(x_k) \quad (x_k \in [0,1])$$

непосредственно связано с отклонением последовательности $\{x_k\}$ "узлов".

Пусть $X = \{x_1, \dots, x_n\}$ — конечная последовательность действительных чисел такая, что $0 \leq x_1 < x_2 < \dots < x_n < 1$; $A([0, x], X)$ — так называемый счетчик, по определению равный количеству членов x_k последовательности X , для которых

$$x_k \in [0, x] \quad (0 < x \leq 1).$$

Положим

$$\Delta(x) = \Delta(x; X) = \frac{1}{n} A([0, x]; X) - x \quad (0 < x \leq 1), \Delta(0) = 0.$$

Функция $\Delta(x)$ — кусочно-линейная с разрывами в точках x_1, \dots, x_n и непрерывная слева на $[0, 1]$; $\Delta(0) = \Delta(1) = 0$.

Величину

$$D_p(X) = \|\Delta(x)\|_p = \left(\int_0^1 |\Delta(x)|^p dx \right)^{\frac{1}{p}}, \quad 0 < p \leq \infty,$$

принято рассматривать как количественную характеристику равномерности распределения последовательности X на отрезке $[0, 1]$ и называть L_p -отклонением заданной последовательности [1, гл.2, §1]. Значение $D(X) := D_\infty(X)$ наиболее употребительно в качестве характеристики последовательности X и называется просто отклонением или экстремальным отклонением. В задачах численного интегрирования могут представлять интерес L_p -отклонения при конечных p . Покажем это на примере следующего результата Г. Нидеррейтера [2] (см. также [1, гл.2, §5]).

Теорема А. Пусть f — непрерывная на $[0, 1]$ функция, $\omega(f; \delta)$ — ее равномерный модуль непрерывности, $X = \{x_1, \dots, x_n\}$, $0 \leq x_1 < x_2 < \dots < x_n < 1$.

Тогда

$$\left| \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n f(x_k) - \int_0^1 f(x) dx \right| \leq \omega(f; D(X)). \tag{1}$$

Ниже доказывается, что в этом неравенстве $D(X)(D_\infty(X))$ можно заменить на $D_1(X)$, если модуль $\omega(f; \delta)$ является выпуклым. В связи с этим заметим, что при конечных p порядок малости отклонений $D_p(X)$ может быть выше порядка малости экстремального отклонения $D(X)$. Например, пусть $0 < p < \infty$, m — достаточно большое натуральное число, $m_p = [m^{1/(p+1)}]$, $n = m - m_p$, натуральное $j \leq n - m_p$, $s = j + m_p$. Определим последовательность $X = \{x_1, \dots, x_n\}$ на $[0, 1]$:

$$x_1 = 0, x_2 = \frac{1}{m}, \dots, x_j = \frac{j}{m}, x_{j+1} = \frac{s}{m}, x_{j+2} = \frac{s+1}{m}, \dots, x_n = \frac{m-1}{m}.$$

Нетрудно видеть, что для этой последовательности (независимо от j)

$$\sup_{x \in [0,1]} |\Delta(x)| = \frac{m_p}{m} \sim \left(\frac{1}{n}\right)^{\frac{p}{p+1}}, \quad n \rightarrow \infty,$$

$$\|\Delta(x)\|_p = \left((j + (m-s)) \int_0^{\frac{1}{m}} x^p dx + \int_0^{\frac{s-j}{m}} x^p dx \right)^{\frac{1}{p}} = \left(\frac{1}{p+1}\right)^{\frac{1}{p}} \left(n \left(\frac{1}{m}\right)^{p+1} + \left(\frac{m_p}{m}\right)^{p+1} \right)^{\frac{1}{p}} \sim \left(\frac{2}{p+1}\right)^{\frac{1}{p}} \frac{1}{n}, \quad n \rightarrow \infty.$$

В частности, $D_1(X) \sim \frac{1}{n}$, тогда как $D(X) \sim \frac{1}{\sqrt{n}}$, $n \rightarrow \infty$. То.е., в этом примере $D_1(X) \sim D(X)^2$ при $card X \rightarrow \infty$.

Уточнение неравенства (1) основано на следующей теореме, в которой функция $\delta(x) = \delta(x; X)$ определяется так:

$$\delta(x) = x - x_k \text{ при } x \in \left[\frac{k-1}{n}, \frac{k}{n} \right), \quad k = 1, \dots, n; \quad \delta(1) = \delta(1-0).$$

Теорема 1. *Функции $\Delta(x; X)$ и $\delta(x; X)$ равноизмеримы, то есть при любом λ имеем:*

$$\text{mes}\{x \in [0,1]: \Delta(x) > \lambda\} = \text{mes}\{x \in [0,1]: \delta(x) > \lambda\}.$$

Доказательство. Наряду с функцией $\Delta(x)$ рассмотрим на отрезке $[x_1, 1+x_1]$ функцию $\tilde{\Delta}(x)$, положив $\tilde{\Delta}(x) = \Delta(x)$ при $x \in [x_1, 1]$, $\tilde{\Delta}(x) = \Delta(x-1)$ при $x \in [1, 1+x_1]$. Тогда нетрудно видеть, что

$$\text{mes}\{x \in [0,1]: \Delta(x) > \lambda\} = \text{mes}\left\{x \in [x_1, 1+x_1]: \tilde{\Delta}(x) > \lambda\right\} = \sum_{k=1}^n \min\{y_k^+, x_{k+1} - x_k\}, \tag{2}$$

где $a^+ = a$ при $a \geq 0$, $a^+ = 0$ при $a \leq 0$, $y_k = \frac{k}{n} - x_k - \lambda$, $x_{n+1} = 1 + x_1$.

Далее,

$$\text{mes}\{x \in [0,1]: \delta(x) > \lambda\} = \sum_{k=1}^n \min\left\{y_k^+, \frac{1}{n}\right\}. \tag{3}$$

Заметим теперь, что

$$x_{k+1} - x_k \leq y_{k+1}^+ \Leftrightarrow \frac{1}{n} \leq y_{k+1}^+, \quad k = 1, \dots, n \tag{4}$$

(действительно, $x_{k+1} - x_k \leq \frac{k}{n} - x_k - \lambda \Leftrightarrow \frac{1}{n} \leq \frac{k+1}{n} - x_{k+1} - \lambda$).

Пусть n_i и m_i - номера такие, что

$$\begin{aligned} 1 &\leq n_1 \leq m_1 < n_2 \leq m_2 < n_s \leq m_s \leq n, \\ x_{k+1} - x_k &\leq y_k \text{ при } n_i \leq k \leq m_i \quad (i = 1, \dots, s), \\ x_{k+1} - x_k &> y_k \text{ при остальных } k \quad (1 \leq k \leq n). \end{aligned}$$

Тогда

$$\sum_{k=n_i}^{m_i+1} \min\{y_k^+, x_{k+1} - x_k\} = \sum_{k=n_i}^{m_i} (x_{k+1} - x_k) + y_{m_i+1} = x_{m_i+1} - x_{n_i} + \frac{m_i+1}{n} - x_{m_i+1} - \lambda = y_{n_i} + \frac{m_i+1-n_i}{n} \quad (i=1, \dots, s). \quad (5)$$

Поскольку $y_{k+1} \geq \frac{1}{n}$ при $n_i \leq k \leq m_i$ ($i=1, \dots, s$) и $y_{k+1} < \frac{1}{n}$ при остальных k (см. (4)), то

$$\sum_{k=n_i}^{m_i+1} \min\left\{y_k^+, \frac{1}{n}\right\} = y_{n_i} + \sum_{k=n_i}^{m_i} \min\left\{y_{k+1}, \frac{1}{n}\right\} = y_{n_i} + \frac{m_i+1-n_i}{n} \quad (i=1, \dots, s). \quad (6)$$

Так как при $k \notin \cup_{i=1}^s [n_i, m_i+1]$ имеем

$$\min\{y_k^+, x_{k+1} - x_k\} = \min\left\{y_k^+, \frac{1}{n}\right\} = y_k^+,$$

то из (5) и (6) следует совпадение сумм в (2) и (3). Теорема доказана.

Следствие 1. Для любой монотонной на $[0, 1]$ функции $\varphi(u)$ выполняется неравенство

$$\int_0^1 \varphi(|\Delta(x)|) dx = \int_0^1 \varphi(|\delta(x)|) dx,$$

так что для L_p -отклонения $D_p(X)$ имеем:

$$D_p(X) = \left(\int_0^1 |\delta(x)|^p dx \right)^{\frac{1}{p}} \quad (0 < p \leq \infty). \quad (7)$$

Замечание 1. Поскольку $D(X) = \sup\{|\delta(x)| : x \in [0, 1]\}$, то из (7) получим

$$D(X) = \max_{1 \leq k \leq n} \max \left\{ \left| x_k - \frac{k}{n} \right|, \left| x_k - \frac{k-1}{n} \right| \right\}.$$

Эта формула была установлена Нидеррейтером [3] (см. также [1, гл.2, §1]).

Сформулируем теперь следствия из теоремы 1, относящиеся к оценке левой части неравенства (1). Для этого по произвольной функции f , определенной на отрезке $[0, 1]$, и по заданной последовательности X определим функцию $f_X(x)$, положив $f_X(x) = f(x - \delta(x))$.

Очевидно, что

$$\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n f(x_k) = \int_0^1 f_X(x) dx,$$

так что если $f(x)$ интегрируема на $[0, 1]$, то

$$\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n f(x_k) - \int_0^1 f(x) dx = \int_0^1 (f_X(x) - f(x)) dx = \int_0^1 (f(x - \delta(x)) - f(x)) dx,$$

и, тем самым,

$$\left| \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n f(x_k) - \int_0^1 f(x) dx \right| \leq \int_0^1 |f(x - \delta(x)) - f(x)| dx. \quad (8)$$

С помощью следствия 1 оценим теперь правую часть неравенства (8), а также более общую величину

$$\|f_X - f\|_p = \|f(x - \delta(x)) - f(x)\|_p = \left(\int_0^1 |f(x - \delta(x)) - f(x)|^p dx \right)^{\frac{1}{p}}, \quad p > 0.$$

Следствие 2. Если $f(x) = Mx$ ($M > 0$), то

$$\|f_X(x) - f(x)\|_p = M \|\delta(x)\|_p = MD_p(X).$$

Следствие 3. Если $\omega(f; \delta)$ — выпуклый модуль непрерывности функции f , то

$$\left| \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n f(x_k) - \int_0^1 f(x) dx \right| \leq \omega(f; D_1(X)). \quad (9)$$

В частности, если $\omega(f; \delta) \leq M\delta^\alpha$ ($\alpha \in (0, 1]$), то

$$\left| \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n f(x_k) - \int_0^1 f(x) dx \right| \leq MD_1(X)^\alpha. \quad (10)$$

Действительно, в силу определения модуля непрерывности, неравенства Иенсена и следствия 1

$$\int_0^1 |f(x - \delta(x)) - f(x)| dx \leq \int_0^1 \omega(f; |\delta(x)|) dx \leq \omega\left(f; \int_0^1 |\delta(x)| dx\right) = \omega(f; D_1(x)).$$

В связи со следствием 3 напомним, что по лемме С. Б. Стечкина для любой функции $\omega(\delta)$ типа модуля непрерывности существует такая ее выпуклая мажоранта $\omega^*(\delta)$, что $\omega^*(\delta) \leq 2\omega(\delta)$. Напомним также приведенный выше пример последовательности X , для которой $D_1(X) \sim D(X)^2$ при $\text{card}X \rightarrow \infty$.

Замечание 2. Фактически устанавливается более сильное, чем (9), неравенство

$$\|f_X - f\|_1 \leq \omega(f; D_1(X)).$$

Следствие 4. Если $\omega(f; \delta) \leq M\delta^\alpha$ ($0 < \alpha \leq 1$), то

$$\|f_X - f\|_p \leq M \left(\int_0^1 |\delta(x)|^{cp} \right)^{\frac{1}{p}} = MD_{cp}(X)^\alpha.$$

При $p = 1$ получаем уточнение неравенства (10).

Литература:

1. Л. Кейперс, Г. Нидеррейтер, *Равномерное распределение последовательностей*, Наука, М., 1985.
2. H. Niederreiter, "Methods for estimating discrepancy", *Applications of Number Theory to Numerical Analysis*, S. K. Zaremba (ed), Academic Press, N.Y., 1972, 203-236.
3. H. Niederreiter, *Discrepancy and convex programming*, 93, *Ann. Math. Pura Appl. (IV)*, 1972.

Однородная задача Римана с коэффициентом, заданным в виде степенной функции

Якшина Анна Сергеевна, кандидат физико-математических наук
ФГБОУ ВПО «Благовещенский государственный педагогический университет» (г. Благовещенск)

В статье приведён пример решения пространственной однородной задачи Римана, в краевом условии которой в качестве коэффициента рассматривается степенная функция. Решение задачи найдено в виде функции, определяемой интегралом типа Темлякова – Баврина I рода первого порядка.

Ключевые слова: задача Римана, интеграл типа Темлякова – Баврина, пространственная краевая задача.

Г.Л. Луканкин ([2] [3]) в 1963 году положил начало исследованиям по разработке теории задач линейного сопряжения функций двух комплексных переменных. В дальнейшем к этой работе подключились представители созданной профессором А.А. Темляковым при физико-математическом факультете МПУ научной школы, ученики профессоров Г.Л. Луканкина и И.И. Баврина: В.И. Боганов, И.Н. Виноградова, А.В. Нелаев и другие исследователи. При этом в качестве математического аппарата в \mathbb{C}^2 использовались интегралы типа Темлякова и интегралы типа Темлякова – Баврина с двоякокруговыми определяющими областями. Развивая теорию указанных интегралов, А.В. Нелаев [4] ввёл в рассмотрение классы функций, определяемых интегралами типа Темлякова и интегралами типа Темлякова – Баврина k -го порядка ($k \in \mathbb{N}$) с k -круговыми определяющими областями типа (Т) пространства \mathbb{C}^n ($n \geq 2$). Изучив свойства интеграла типа Темлякова с k -круговой областью D типа А в пространстве \mathbb{C}^n , он сформулировал и решил пространственную краевую задачу Римана в классе функций, представимых этим интегралом. В дальнейшем его ученик А.Е. Луковников, рассмотрел интеграл типа Темлякова – Баврина первого порядка с k -круговой определяющей областью D типа А, в котором компонента u задавалась по формуле $u = c_1 z_1 + c_2 \varepsilon z_2 e^{-i\theta_2} + \dots + c_n \varepsilon z_n e^{-i\theta_n}$.

Продолжая исследование в рамках теории краевых задач линейного сопряжения нами [6] были изучены интегралы типа Темлякова – Баврина с k -круговой ($n > 2$) определяющей областью D типа А и компонентой $u_{\nu(k)} = z_1 + c_2 \varepsilon^{\delta_2} z_2 e^{-i\theta_2} + \dots + c_n \varepsilon^{\delta_n} z_n e^{-i\theta_n}$, поставлена и решена в классе функций, определяемых указанными интегралами, пространственная краевая задача Римана. Далее, в работе [5], рассмотрена пространственная однородная краевая задача Римана с линейным и постоянным коэффициентами, решение которой найдено в виде интеграла типа Темлякова – Баврина I рода первого порядка с определяющей областью D типа А. В настоящей статье при-

ведём пример её решения в случае, степенной функции, взятой в качестве коэффициента, в краевом условии.

Будем считать известными понятие интеграла типа Темлякова – Баврина I рода первого порядка и его свойства, изложенные в статье [5]

Однородная задача Римана

Пусть на окружности $B_1 = \{\tilde{z}'_1 \in \mathbb{C}: (\eta_1, 0, \dots, 0), |\eta_1| = 1\}$ задана функция $G(\eta_1) = C\eta_1^p$, $C - const$, $C \neq 0$, $p \in \mathbb{N}$, которая нигде на ней не обращается в нуль и удовлетворяет на B_1 условию Гёльдера. Тогда краевое условие однородной задачи Римана принимает вид:

$$f^+(\eta_1) = C\eta_1^p \cdot f^-(\eta_1). \quad (1)$$

Индекс $\varkappa = \text{Ind } G(\eta_1) = \text{Ind } C\eta_1^p = p$.

Решение задачи (1) будем искать в виде интеграла типа Темлякова – Баврина I рода первого порядка с определяющей областью D типа A:

$$F_{v(k)}(z) = \frac{1}{(2\pi)^n i} \int_0^1 d\varepsilon \int_{|\eta|=1} d\omega_\theta \int \frac{\varphi(\theta, \eta)}{\eta - u_{v(k)}} d\eta, \quad (2)$$

в котором $u_{v(k)} = c_1 \varepsilon^{\delta_1} z_1 + c_2 \varepsilon^{\delta_2} z_2 e^{-i\theta_2} + \dots + c_n \varepsilon^{\delta_n} z_n e^{-i\theta_n}$, где k – натуральное число с условием $2 \leq k \leq n-1$, показатели $\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_n$ представляют собой набор из нулей и единиц, причём нулю равны $\delta_{v_1}, \delta_{v_2}, \dots, \delta_{v_k}$, $v_1 < v_2 < \dots < v_k$, а единице – все остальные.

Подставляя в условие (1) предельные значения интеграла (2), получаем уравнение

$$\frac{1}{2 \cdot (2\pi)^{n-1}} \int \left[(1 + C\eta_1^p) \cdot \varphi(\theta, \eta_1) + \frac{1 - C\eta_1^p}{\pi i} \int_{|\eta|=1} \frac{\varphi(\theta, \eta)}{\eta - \eta_1} d\eta \right] d\omega_\theta = 0, \text{ или}$$

$$(1 + C\eta_1^p) \cdot \varphi(\theta, \eta_1) + \frac{1 - C\eta_1^p}{\pi i} \int_{|\eta|=1} \frac{\varphi(\theta, \eta)}{\eta - \eta_1} d\eta = 2\lambda(\theta, \eta_1), \quad (3)$$

где $\lambda(\theta, \eta_1)$ – некоторая функция, предполагаемая непрерывной по совокупности аргументов и удовлетворяющей по η_1 условию Гёльдера, независимо от θ_h , $h = 2, \dots, n$, являющаяся решением уравнения $\int \lambda(\theta, \eta_1) d\omega_\theta = 0$, а коэффициент 2 взят для удобства дальнейших выкладок.

Возьмём в качестве $\lambda(\theta, \eta_1)$ функцию $\lambda(\theta, \eta_1) = \cos \theta_2$. Тогда интегральное уравнение (3) принимает вид:

$$(1 + C\eta_1^p) \cdot \varphi(\theta, \eta_1) + \frac{1 - C\eta_1^p}{\pi i} \int_{|\eta|=1} \frac{\varphi(\theta, \eta)}{\eta - \eta_1} d\eta = 2 \cos \theta_2, \quad (4)$$

Уравнение (4) является сингулярным интегральным уравнением с ядром Коши. Решать его будем тем же способом, каким решают характеристическое уравнение в теории функций одного комплексного переменного [1]. Для этого рассмотрим интеграл типа Коши

$$\Psi(\theta, u_{v(k)}) = \frac{1}{2\pi i} \int_{|\eta|=1} \frac{\varphi(\theta, \eta)}{\eta - u_{v(k)}} d\eta. \quad (5)$$

Учитывая, что $\lim_{z \rightarrow \tilde{z}'_1} u_{v(k)} = \eta_1$, и используя формулы Сохоцкого для интеграла (5), перепишем интегральное уравнение (4) в виде

$$\varphi(\theta, \eta_1) + C\eta_1^p \varphi(\theta, \eta_1) + 2\Psi^+(\theta, \eta_1) - \varphi(\theta, \eta_1) - C\eta_1^p \varphi(\theta, \eta_1) - 2C\eta_1^p \Psi^-(\theta, \eta_1) = 2 \cos \theta_2 \text{ или}$$

$$\Psi^+(\theta, \eta_1) = C\eta_1^p \cdot \Psi^-(\theta, \eta_1) + \cos \theta_2. \quad (6)$$

Таким образом, решение сингулярного интегрального уравнения (4), а значит и поставленной однородной задачи Римана, свелось к решению задачи Римана с краевым условием (6).

Учитывая, что $\varkappa = \text{Ind } G(\eta_1) = p > 0$, решение задачи имеет вид

$$\Psi(\theta, u_{v(k)}) = \frac{X(u_{v(k)})}{2\pi i} \int_{|\eta|=1} \frac{\cos \theta_2}{X^+(\eta)} \cdot \frac{d\eta}{\eta - u_{v(k)}} + X(u_{v(k)}) \cdot c_0, \quad (7)$$

$$\text{где } X(u_{v(k)}) = \begin{cases} \exp \Gamma^+(u_{v(k)}) = \exp[\ln C] = C, & \text{если } |u_{v(k)}| < 1, \\ u_{v(k)}^{-\varkappa} \exp \Gamma^-(u_{v(k)}) = u_{v(k)}^{-p} \exp 0 = u_{v(k)}^{-p}, & \text{если } |u_{v(k)}| > 1, \end{cases}$$

$$\Gamma(u_{v(k)}) = \frac{1}{2\pi i} \int_{|\eta|=1} \frac{\ln[\eta^{-p} \cdot C\eta^p]}{\eta - u_{v(k)}} d\eta = \frac{\ln C}{2\pi i} \int_{|\eta|=1} \frac{d\eta}{\eta - u_{v(k)}} = \begin{cases} \ln C, & \text{если } |u_{v(k)}| < 1, \\ 0, & \text{если } |u_{v(k)}| > 1, \end{cases}$$

или, что то же самое,

$$\Psi^+(\theta, u_{v(k)}) = \frac{X^+(u_{v(k)})}{2\pi i} \int_{|\eta|=1} \frac{\cos\theta_2}{X^+(\eta)} \cdot \frac{d\eta}{\eta - u_{v(k)}} + X^+(u_{v(k)}) \cdot c_0 = \cos\theta_2 + Cc_0,$$

$$\Psi^-(\theta, u_{v(k)}) = \frac{X^-(u_{v(k)})}{2\pi i} \int_{|\eta|=1} \frac{\cos\theta_2}{X^+(\eta)} \cdot \frac{d\eta}{\eta - u_{v(k)}} + X^-(u_{v(k)}) \cdot c_0 = \frac{c_0}{u_{v(k)}^p}.$$

Подставляя определяющие функции $\Psi^+(\theta, u_{v(k)})$ и $\Psi^-(\theta, u_{v(k)})$ интеграла (2) в формулы, по которым вычисляется этот интеграл в областях D и E_1 , получаем решение поставленной задачи:

в области D:

$$F_{v(k)}(z) = \frac{1}{(2\pi)^{n-1}} \int_0^1 d\varepsilon \int [\cos\theta_2 + Cc_0] d\omega_\theta = \frac{1}{(2\pi)^{n-1}} \int_0^1 d\varepsilon \int_0^{2\pi} d\theta_2 \cdots \int_0^{2\pi} \cos\theta_2 d\theta_n + Cc_0 = Cc_0,$$

$$\text{в области } E_1: F_{v(k)}(z) = \frac{1}{(2\pi)^{n-1}} \int_0^1 d\varepsilon \int \frac{c_0}{u_{v(k)}^p} d\omega_\theta = \frac{c_0}{(2\pi)^{n-1}} \int_0^1 d\varepsilon \int \frac{d\omega_\theta}{u_{v(k)}^p}. \tag{8}$$

Учитывая структуру компоненты $u_{v(k)}$ в интеграле (2), для определённости положим, что $k = 2, v_2 = 2$ и, следовательно, $\delta_2 = 0, \delta_3 = \dots = \delta_n = 1$. Тогда $u_{v(k)} = z_1 + c_2 z_2 e^{-i\theta_2} + c_3 \varepsilon z_3 e^{-i\theta_3} + \dots + c_n \varepsilon z_n e^{-i\theta_n}$. Подставляя компоненту $u_{v(k)}$ в формулу (8), вычислим интеграл в области E_1 . Для упрощения вычислений введём обозначения: $a = z_1 + c_2 z_2 e^{-i\theta_2} + c_3 \varepsilon z_3 e^{-i\theta_3} + \dots + c_{n-1} \varepsilon z_{n-1} e^{-i\theta_{n-1}}, b = c_n \varepsilon z_n$. Тогда, применяя методы интегрирования имеем

$$F_{v(k)}^-(z) = \frac{c_0}{(2\pi)^{n-1}} \int_0^1 d\varepsilon \int \frac{d\omega_\theta}{(z_1 + c_2 z_2 e^{-i\theta_2} + c_3 \varepsilon z_3 e^{-i\theta_3} + \dots + c_n \varepsilon z_n e^{-i\theta_n})^p} = \\ = \frac{c_0}{(2\pi)^{n-1}} \int_0^1 d\varepsilon \int \frac{d\omega_\theta}{(a + b e^{-i\theta_n})^p} = 0.$$

Следовательно, интеграл типа Темлякова – Баврина I рода первого порядка принимает вид:

$$F_{v(k)}(z) = \begin{cases} Cc_0, & \text{в области D,} \\ 0, & \text{в области } E_1. \end{cases}$$

Таким образом, интеграл типа Темлякова – Баврина I рода первого порядка при переходе через точки окружности B_1 из области D в область E_1 делает скачок равный Cc_0 .

Найдём решение однородной задачи Римана в виде интеграла типа Темлякова – Баврина (2) с плотностью $\varphi(\theta, \eta)$,

где $\varphi(\theta, \eta_1) = \Psi^+(\theta, \eta_1) - \Psi^-(\theta, \eta_1)$: $\varphi(\theta, \eta_1) = \cos\theta_2 + Cc_0 - \frac{c_0}{\eta_1^p}$, тогда

$$F_{v(k)}(z) = \frac{1}{(2\pi)^n i} \int_0^1 d\varepsilon \int_{|\eta|=1} d\omega_\theta \int \frac{\cos\theta_2 + Cc_0 - \frac{c_0}{\eta^p}}{\eta - u_{v(k)}} d\eta.$$

Наличие в найденном решении задачи произвольной постоянной C_0 и некоторой функции $\lambda(\theta, \eta) = \cos\theta_2$, которую мы взяли произвольно, указывает на неоднозначность решения. Коэффициент C_0 можно вычислить, если наложить на искомую функцию $F_{v(k)}^+(z) = F_{v(k)}(z)$ (или $F_{v(k)}^-(z) = F_{v(k)}(z)$) одно из независимых условий. Например, задать в начале координат (где $u_{v(k)} = 0$) значение определяющей функции $\Psi^+(\theta, u_{v(k)})|_{u_{v(k)}=0} = \Psi^+(\theta, 0) = A_1$, тогда подставляя его в уравнение, задающее определяющую функцию $\Psi^+(\theta, u_{v(k)})$, получаем $c_0 = A_1$, и, следовательно,

$$\varphi(\theta, \eta_1) = \cos\theta_2 + CA_1 - \frac{A_1}{\eta_1^p}.$$

Обобщая результаты, полученные в настоящей статье и статье [5], можно сделать вывод: решением однородной задачи Римана с коэффициентом $G(\eta_1) = C\eta_1^p$, где $C - const$, $C \neq 0$, $p \in \mathbf{N}$, в краевом условии, при любом натуральном p является интеграл типа Темлякова – Баврина I рода первого порядка

$$F_{v(k)}(z) = \frac{1}{(2\pi)^n i} \int_0^1 d\varepsilon \int_{|\eta|=1} d\omega_0 \int \frac{\cos\theta_2 + Cc_0 - \frac{c_0}{\eta^p}}{\eta - u_{v(k)}} d\eta, \text{ значение которого вычисляется по формуле:}$$

$$F_{v(k)}(z) = \begin{cases} Cc_0, & \text{в области } D, \\ 0, & \text{в области } E_1. \end{cases}$$

Литература:

1. Гахов, Ф.Д. Краевые задачи. – М.: Наука. – 1977. – 640 с.
2. Луканкин Г.Л. О задачах линейного сопряжения функций двух комплексных переменных // Математический анализ и теория функций: Респ. сб. трудов. – М.: изд-во МОПИ. – 1973. – Вып. 1. – С. 10 – 24.
3. Луканкин Г.Л. Пространственная задача линейного сопряжения // Вестник МАН ВШ, № 4(6). – 1998. – С. 82 – 90.
4. Нелаев А.В. Пространственная краевая задача линейного сопряжения для функций, голоморфных в кратных областях \mathbf{C}^n // Математика. Компьютер. Образование: Сб. науч. тр. 2001. Т. 8, № 2. С. 406 – 414.
5. Нелаев А.В., Якшина А.С. Пространственная однородная краевая задача Римана с линейным коэффициентом // Естественные и технические науки, 2015, № 2 (80). С. 12 – 25.
6. Якшина А.С. Исследование свойств интегральных представлений функций, голоморфных в кратных областях, и их приложение к решению пространственной краевой задачи Римана: Автореф. дис. ... кандидата физ.-мат. наук. – Москва, 2004. – 19 с.

УДК 004.65.004.451

Информационные ресурсы глобальных систем мониторинга океана для задач гидроакустики

Магазов Сергей Салимович, к.ф.-м.н. доцент
МГТУ им. Н.Э. Баумана (г. Москва)

Аннотация. В статье дан обзор технологических возможностей, принципов организации глобальных систем наблюдения за океаном ARGO и Jason ½. Рассмотрена деятельность подразделений ООН, ЮНЕСКО и ряда национальных организаций, занимающихся разработкой и эксплуатацией глобальных систем наблюдения за океаном. Глобальные системы наблюдения создают информационный ресурс, который используется при решении важнейших государственных задач. Нами рассмотрены основные характеристики информационных ресурсов ARGO и Jason ½ и принципы их формирования. Проведен анализ возможности использования глобальных систем наблюдения ARGO и Jason ½ для решения задач гидроакустики.

Ключевые слова: глобальные системы наблюдения, NOAA, UN, UNESCO, ARGO, Jason ½, гидроакустика, спутник.

Information resources of global ocean monitoring systems for the problem of underwater acoustics

S.S. Magazov
Bauman Moscow State Technical University (Moscow)

Abstract. The article gives an overview of technological capabilities, the principles of organization of global ocean observing systems ARGO and Jason ½. We will review the activities of UN, UNESCO and a number of national organizations involved in the development of global ocean observing systems. Global observing systems create an information resource that provides a solution to the most important government problems. We will review the basic characteristics of information resources ARGO, Jason ½ and principles of their formation. The analysis of the possibilities of using these information resources to solve problems sonar.

Keywords: Global Observing System, NOAA, UN, UNESCO, ARGO, Jason ½, underwater acoustics, satellite.

Введение

Прошло почти два десятилетия с того момента, как начали эксплуатироваться первые глобальные системы наблюдения за мировым океаном (GOOS – Global Ocean Observing System). На настоящий момент GOOS представляет собой сложную хорошо скоординиро-

ванную систему, включающую в себя наземные и космические подсистемы. В состав наземных подсистем могут входить: сети морских береговых и устьевых гидрометеорологических станций, добровольные и штатные суда наблюдения, сети автоматических буйковых станций, самолеты метеостанции и сети центров по приему и обработки ин-

формации. В состав космической подсистемы входят группировки метеорологических и специализированных спутников, наземные центры по приему и обработке космической информации. [1-2]

Новые возможности, предоставляемые системой GOOS, востребованы в научных исследованиях, субъектами хозяйственной деятельности и военными ведомствами. При помощи GOOS сделаны фундаментальные открытия в теории процессов формирования климата. Технологии GOOS сделали возможным разработку надежных методов предупреждения катастрофических явлений, существенно улучшили информационное обеспечение морских операций, промышленного рыболовства и т.д. Возможности технологий GOOS далеко не исчерпаны, существует множество важных проблем, которые могли бы быть решены при помощи этих технологий.

В первой части статьи дан краткий обзор системы международных и национальных организаций, занимающихся разработкой и эксплуатацией GOOS. Знание системы административного управления необходимо для организации доступа к информационным ресурсам GOOS и участия в международных проектах. Более подробное изучение вопросов, касающихся сложившейся мировой системы управления GOOS, правовой базы, на основе которой они действует, требует отдельного рассмотрения.

Вторая часть содержит описание научного инструментария, используемого на спутниках Jason S и набуях ARGO.

Результатом работы GOOS является информация, ценность которой заключается в том, что она позволяет принимать правильные и своевременные решения.

Третья часть посвящена информационным ресурсам, предоставляемым Jason S и ARGO. Рассмотрены инструменты доступа к информационным ресурсам и приведены

характеристики информационного взаимодействия, представляющие интерес для решения гидроакустических задач.

В четвертой части дан анализ возможности использования информационных ресурсов Jason S и ARGO при решении задач расчета акустических полей. В процессе анализа рассмотрены проблемы, возникающие на этом пути, и даны рекомендации по их решению.

1. Подразделения ООН и ЮНЕСКО, обеспечивающие мониторинг океана

Общепризнано, что достигнуть эффективного управления глобальными системами наблюдения можно только путем широкой международной кооперации технологических возможностей и опыта. Здесь дается обзор целей и функций подразделений ООН и ЮНЕСКО, обеспечивающих функционирование и развитие важнейших GOOS.

ООН(UN) Всемирная Метеорологическая Организация

Одной из важнейших функций Всемирной Метеорологической Организации (WMO – World Meteorological Organization), действующей в рамках ООН, является организация планетарного наблюдения за океаном, погодой, климатом и состоянием экологии [3]. На рисунке 1 представлен фрагмент организационных структур WMO, ответственный за сбор и распространение океанографических данных. В таблице 1 приведены программы WMO, которые могут быть полезны для гидроакустических исследований. В составе WMO действуют технические комиссии, которые занимаются обеспечением разработки GOOS.

Комиссия по основным системам (CBS). CBS является ведущей технической комиссией, обеспечивающей реализацию космических программ, разработкой, внедрением и эксплуатацией GOOS, а так же систем передачи данных.

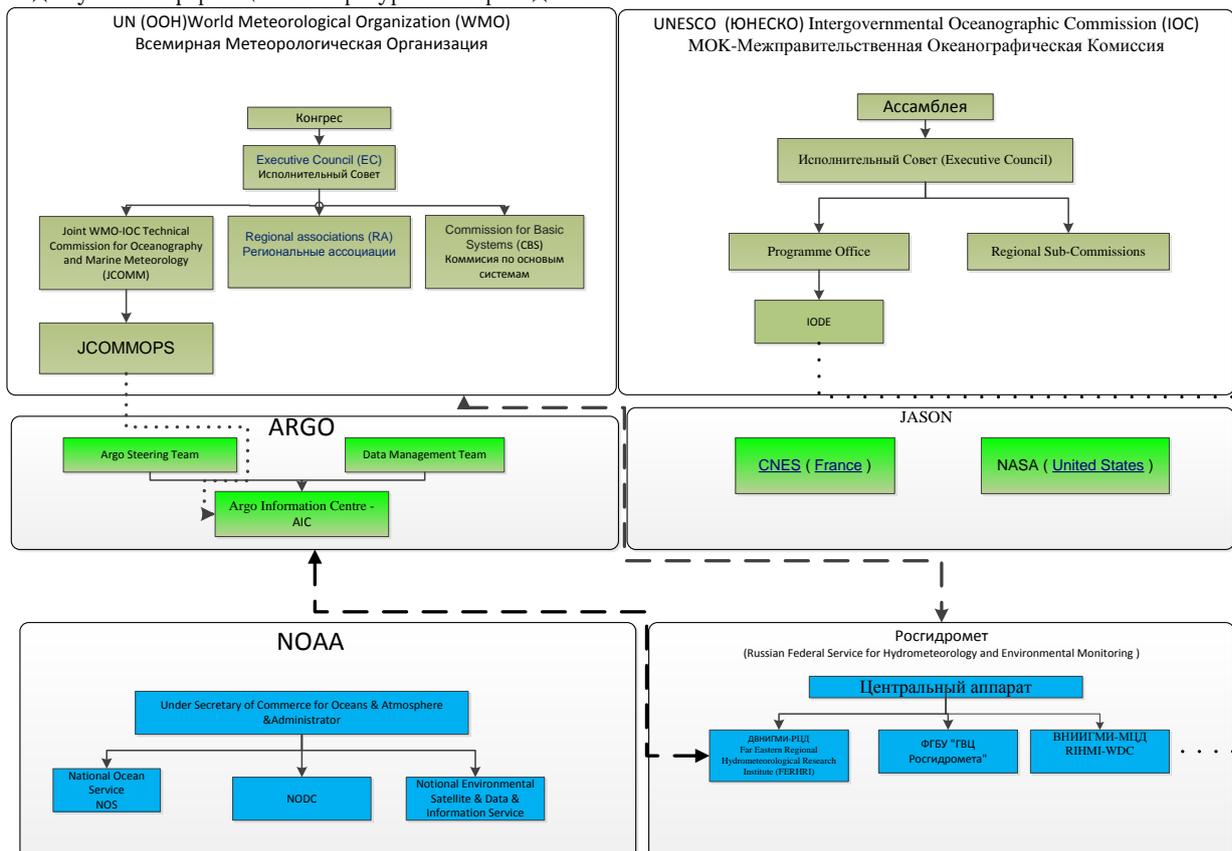


Рис. 1 Фрагменты структур международных и национальных организаций, участвующих в развитии и эксплуатации GOOS. Пунктирные линии обозначают информационные связи

Таблица 1. Программы Всемирной Метеорологической Организации, представляющие интерес для гидроакустических исследований

Программы Всемирной Службы Погоды (WWW – World Weather Watch)	Космические программы (WMO Space Programme)	Программы по морской метеорологии и океанографии (ММОП - Marine Meteorology and Oceanography Programme)
<ul style="list-style-type: none"> - глобальные системы наблюдений; - глобальные системы связи; - глобальные системы обработки данных и прогнозирования; - программы управления данными; - программы систем мониторинга; - программы оперативного информационного обслуживания; - программное обеспечение приборов наблюдения; - методики наблюдения за океаном. 	<ul style="list-style-type: none"> - интегрированные космические системы наблюдения; - доступ к спутниковым данным; - подготовка кадров. 	<ul style="list-style-type: none"> - регулирование, координация и содействие устойчивому обеспечению данными наблюдений глобального и регионального масштаба; - развитие технологий интегрального представления данных; - разработка технических стандартов; - разработка систем управления данными и сервисных систем.

Таблица 2. Программы ЮНЕСКО, представляющие интерес для гидроакустических исследований

Программы международного обмена океанографическими данными и информацией (IODE – "International Oceanographic Data and Information Exchange")	Глобальные программы измерения профайлов температуры и солености (GTSP – Global Temperature and Salinity Profile Programme)
<ul style="list-style-type: none"> - развивать исследования океана путем обмена океанографическими данными и информацией в режимах реального времени, близкому к реальному времени и задержки; - содействовать использованию международных стандартов, в соответствии с политикой ИОС; - поощрять долгосрочное архивирование, сохранение, документирование, управление и услуги по всем морским данным и получение новых данных и информации; - разработка методов управления обменом данными; - контроль качества и информации; - разработка международных стандартов качества информации; - оказывать помощь членам ИОС в приобретении необходимого потенциала для морских исследований; - поддержка международных научных и оперативных морских программ, в том числе, рамочные программы наблюдений за океаном. 	<ul style="list-style-type: none"> - разработка системы мониторинга потоков данных в режиме реального времени и системы мониторинга данных в отложенном режиме. - контроль качества данных согласно международным требованиям. - развитие систем анализа данных; - формирование глобальной базы данных профайлов температуры и солености (GTSP) - обеспечение доступа к океанографическим данным в режиме реального времени. - сбор данных от якорных буев.

Объединенная техническая комиссия по океанографии и морской метеорологии (JCOMM). JCOMM обеспечивает международную координацию океанографических, морских метеорологических наблюдений, а также отвечает за обмен океанографическими данными, полученными GOOS. JCOMM разрабатывает и рекомендует стандарты и процедуры для океанографических наблюдений, а так же определяет потребности в данных наблюдений, технологиях измерений, режимах обмена и т.д. В рамках JCOMM действует подкомиссия JCOMMOPS JCOMMOPS (OPS-Observing Platform Support Centre), которая обеспечивает международную координацию океанографических наблюдений с дрейфующих и пришвартованных буйев....

ЮНЕСКО (UNESCO): Межправительственная океанографическая комиссия

В рамках UNESCO действует ИОС – Межправительственная Океанографическая Комиссия (**Intergovernmental Oceanographic Commission**). В круг решаемых ИОС задач входит:

- развитие систем глобального мониторинга за океаном;
- развитие сетей обмена океанографической информацией;
- создание и развитие национальных и региональных центров данных.

На рисунке 1 представлены подразделения ИОС, в обязанности которых входит формирование океанографической информации.

В состав ИОС входит Международное управление обмена океанографическими данными и информацией (IODE – International Oceanographic Data and Information Exchange) которое отвечает за развитие системы сбора, хранения, обработки и распространение океанографической информации. Многие страны – члены ИОС создали национальные центры управления данными, которые ведут информационный обмен с глобальными ресурсами IODE. Особый интерес для гидроакустических исследований представляет подразделение GTSP (Global Temperature and Salinity Profile Programme), обеспечивающее поддержку базы данных температуры и солености. Офис GTSP расположен в Великобритании.

В таблице 2 приведены программы, которые имеют отношение к гидроакустическим исследованиям [4].

2. Национальные организации, обеспечивающие мониторинг океана

Здесь дается краткое описание целей, функций и организационных структур крупнейших национальных организаций США и России, обеспечивающих наблюдения за океаном.

Национальное управление океанических и атмосферных исследований США NOAA

Правительство США придает большое значение развитию систем наблюдения за окружающей средой: так, Национальное Управление Океанических и Атмосферных Исследований (NOAA-National Oceanic and Atmospheric Administration) является структурным подразделением всеильного Министерства Торговли США. Руководитель NOAA имеет статус заместитель-секретаря этого министерства.

NOAA располагает интегрированной системой наблюдения, которая включает в себя спутники, радары, буи, специально оснащенные самолеты и т.д. Для обработки данных создана интегрированная информационная инфраструктура, которая обеспечивает достижение четырех основных целей:

- обеспечение адаптации нации к изменению климата;
- смягчение последствий изменения климата;
- наблюдение за состоянием океана и прибрежными зонами;
- наблюдение за экосистемами.

Интегрированная информационная инфраструктура обеспечивает экономику США океанографической информацией. Так, NOAA выпустила в 2013-м базу данных по мировому океану, включающую наиболее полную на сегодняшний день коллекцию научной океанологической информации. База данных содержит записи за период с 1772 года по настоящее время. На начало 2014 года база хранит в себе около 13 миллионов профилей температуры, и чуть менее шести миллионов измерений солёности. В сборе данных приняло участие более 90 стран.

Штаб-квартира NOAA (headquarters NOAA) обеспечивает выполнение общих кооперативных функций и оперативное управление службами. Рассмотрим две из них: NOS- National Ocean Service (Национальная океаническая служба) и NESDIS -The National Environmental Satellite, Data, and Information Service (Национальная служба экологических спутниковых данных и информации).

NOS состоит из ряда управлений, одно из которых разрабатывает интегральную систему наблюдений за океаном. Интегральная система наблюдения собирает данные от различных источников (спутники, датчики температуры воды и т.д.) и обеспечивает доступ к комплексной информации в режиме реального времени, а также ретроспективно.

В состав NESDIS входит ряд управлений и специализированных центров, а также три Национальных Центра Данных. Цель NESDIS-предоставлять разнообразные информационные услуги, в частности, обеспечение доступа к данным полученных со спутников, и т.д. NESDIS вносит важный вклад в национальную безопасность США, предоставляя военным в режиме реального времени или в режиме близком к реальному времени данные о состоянии окружающей среды по всему миру.

NESDIS получает данные от спутниковых группировок POES и GOES. Эти группировки и наземные службы обеспечивают непрерывный поток данных для информационных систем NESDIS.

Спутники группировки POES имеют почти полярные орбиты на высоте около 520 км над поверхностью Земли.

Спутники группировки GOES движутся по геостационарной орбите. При оптимальных условиях, скорость передачи данных со спутников составляет около 2,048 Мбит/с в

двух направлениях.

Данные, полученные от GOES и POES, используются при прогнозе погоды, климатических исследованиях и прогнозировании глобальных изменений температуры поверхности моря, атмосферного зондирования температуры и влажности, океанических исследованиях и т.д.

NESDIS работает с партнерами из Европейской организации, эксплуатирующей метеорологические спутники серии METEOSAT, которые дополняют возможности американской группировки.

Национальный центр океанографических данных (NODC) расположен в Силвер-Спринг, штат Мэриленд, и состоит из пяти подразделений. Центр предоставляет информацию и услуги по передаче данных для ученых, менеджеров и других пользователей в США и во всем мире. NODC поддерживает базы данных с профилями различных параметров океана, то есть, измерениями, проведенными одновременно в одном месте на разных глубинах. Например, широко известна база данных WOD по температуре и солёности [5]. БД WOD была создана в 1994-ом году и постоянно расширяется и дополняется. Эта база данных является мощным инструментом в исследовании климата, и используется для решения гидроакустических задач.

Национальная система мониторинга морей России

Наблюдение за океаном является одной из важных государственных задач. Разработана федеральная целевая программа "Мировой океан" (Постановление Правительства РФ от 10 августа 1998 г. N 919), обеспечивающая развитие национальных систем мониторинга океана.

Росгидрометцентр (Росгидромет)

Росгидромет - это головная организация, обеспечивающая функционирование систем наблюдения за окружающей средой. Информационный ресурс создаваемые Росгидрометцентром используются для повышения безопасности и эффективности морских операций, для управления промыслами и других областей экономики.

В состав Росгидромет входит отдел морских гидрологических прогнозов, который подготавливает краткосрочные (на двое суток), среднесрочные и долгосрочные прогнозы ветра и другую информацию необходимую для проведения оперативных гидроакустических расчетов.

Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации (ВНИИГМИ)

ВНИИГМИ занимается разработкой методов и технологий для Российского государственного фонда метеорологических данных. Институт отвечает за функционирование Единой Государственной Системы Информации об Обстановке в Мировом Океане (ЕСИМО). Задача ЕСИМО комплексное информационное обеспечение морской деятельности [6-9]. Кроме того в рамках ВНИИГМИ-МЦД действуют два центра:

Национальный центр океанографических данных (НЦОД) решает задачи разработка проектов по автоматизации сбора, накопления, обработки и обмена информацией о морской среде.

Мировой центр океанографических данных (ВНИИГМИ-МЦД) был создан при поддержке IODE ODP. МЦД обеспечивает реализацию программы международного обмена океанографическими данными и работу портала океанических данных.

Дальневосточный региональный научно-исследовательский гидрометеорологический институт (ФГБУ "ДВНИГМИ")

ДВНИГМИ является филиалом «ВНИИГМИ-МЦД». На базе ДВНИГМИ создан региональный центр океанографических данных по Дальневосточному региону. В базе данных содержатся данные 35-ти прибрежных гидрометеорологических станций, 102-х тысяч станций глубоководных океанографических наблюдений в Охотском море, а также многолетние данные попутных и прибрежных судовых наблюдений и другая информация, полезная для задач гидроакустики [10]. Все эти данные доступны широкому кругу пользователей.

3. Международные проекты

Интеграция усилий происходит не только на уровне ООН и ЮНЕСКО, параллельно действуют региональные и национальные проекты исследования океана. Здесь мы рассмотрим два международных проекта глобальных системы наблюдения: спутниковая система Jason-Si ARGO.

Проект Jason-1/2

Дистанционное зондирование Мирового Океана из космоса на настоящий момент является одним из самых мощных методов исследования океана [11]. Крупнейшие организации, CNES (France), NOAA, NASA (United States) и EUMETSAT, разработали первый масштабный проект спутниковой глобальной системы наблюдения за океаном TOPEX/Poseidon. TOPEX/Poseidon начал проводить систематические измерения топографии поверхности океана с конца 1990 года. Проект оказался чрезвычайно успешным, задачи, которые были решены с его помощью, в принципе невозможно решить наземными средствами наблюдения. К 2008 году группировка TOPEX/Poseidon выработала свой ресурс, и ее сменила группировка спутников Jason-1 и Jason-2. В декабре 2001 года был запущен Jason-1, затем в июле 2008 был запущен Jason-2. Jason-1 и Jason-2 движутся по одной и той же орбите. Jason-1 находится на противоположной стороне Земли относительно спутника Jason-2. Центры управления группировкой находятся в США и Франции.

Работа спутниковой системы Jason-S поддерживается развитой наземной инфраструктурой. Так, в дополнение к бортовой GPSP-станции, для калибровки орбит спутников используется наземная лазерная система слежения LRA (Laser Retroreflector Array), которая представляет собой сеть от десяти до пятнадцати наземных спутниковых станций лазерной локации. Также в систему входят 60 разбросанных по всему миру маяков, обеспечивающих точное доплеровское измерение скорости. Эти наземные системы позволяют определять орбиту спутника с точностью до трех сантиметров и измерять уровень моря с точностью 2-3 см.

Для обработки потоков информации, поступающей со спутников, были созданы два информационных центра, которые обрабатывают данные в режиме, близком к реальному времени. Французский информационный центр Jason-S входит в европейский проект DUACS. В 2002-м году проект DUACS был интегрирован в сегмент CNES (основанный в 1961-м году Национальный центр космических исследований) системы SSALTO. Этот переход позволил DUACS перейти из исследовательского проекта в режим оперативной системы SSALTO/DUACS. SSALTO/DUACS стал основным многофункциональным центром обработки данных. Американский центр подчинен OSPO, эта организация входит в состав NOAA.

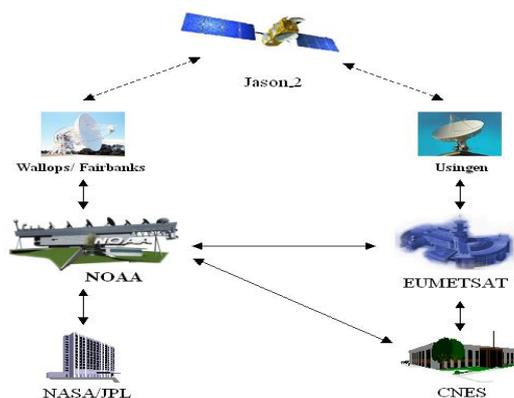


Рис. 2. Схема информационных потоков Jason S (<http://www.ospo.noaa.gov/Products/ocean/ostm/operations.html>)

Центры обеспечивают высокое качество информации [12]. Информация доводится до пользователя в режиме почти реального времени и в отложенном режиме. Информация доступна для широкого круга исследователей при помощи современных Internet технологий.

В число задач, решаемых спутниковой группировкой Jason входят:

- океанологическая топография;
- расчет мезомасштабной изменчивости и глобальных характеристик вихрей;
- мониторинг фронтов Антарктического Циркумполярного тока;
- изучение глобальной циркуляции и моделирование теплового баланса океана;
- наблюдение за волнами Rossby;
- наблюдение за климатическими изменениями;

Измерения топографии поверхности океана позволили рассчитать скорость и направление океанических течений и контролировать глобальную океаническую циркуляцию. Так же анализ топографии океана позволил определить места накопления тепла и траектории движения тепла вокруг Земли. Что позволило изучить влияние этих процессов на погоду и климат [13-17]. Благодаря SSALTO/DUACS было проведено исследование 20-летней мезомасштабной альтиметрии. В проекте участвовал ряд крупнейших научных центров Европы. Для задач гидроакустики представляет интерес наблюдение вихрей и течений, в частности, мезомасштабных вихрей, длиннопериодических океанских волн, апвеллингов изменения океана, топографии поверхности.

ARGO

Наблюдения за океаном при помощи буев являются традиционным и незаменимым инструментом мониторинга Океана. Глобальный массив буев ARGO разрабатывался как инструмент, дополняющий технологию спутниковой альтиметрии [18]. Проект ARGO был впервые предложен в 1999 г. небольшой группой ученых во главе с Динном Ремишем (Dean Roemmich). Предполагалось создать глобальный массива ныряющих буев, обеспечивающего сбор широко спектра океанологической информации. Проект был принят в рамках программы CLIVAR. В настоящее время в проекте участвует более 30 стран. Каждый участник ARGO имеет право организовать центр обработки данных, работающий по общей технологии и стандартам. О важности проекта можно судить по тому, что он интегрирован в программы JCOMMOPS и тесно взаимодействует с NOAA (Рисунок 1).

Запланированный в начале проекта массив из 3000 буев был сформирован уже к ноябрю 2007 года. В насто-

ящее время за год производится порядка 100000 измерений профилей.

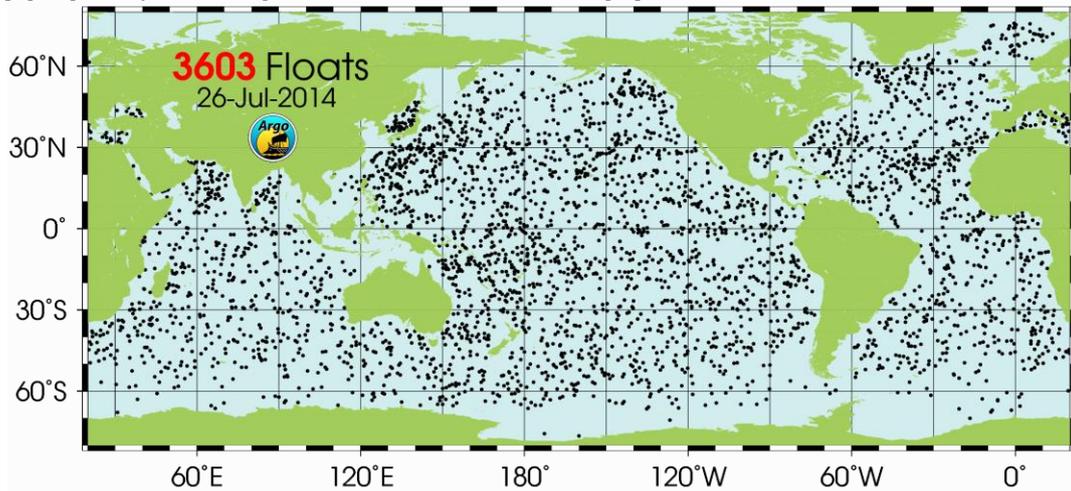


Рис. 3. Карта распределения буев ARGO в Мировом Океане.

(<http://www.sciencelearn.org.nz/Contexts/The-Ocean-in-Action/Sci-Media/Images/Positions-of-Argo-floats-4-May-2010>)

Данные, полученные ARGO, позволили лучше понять причины глобального повышения уровня океана, так же они позволили выявлять и анализировать крупномасштабные океанические циркуляции, последствия изменения климата, а так же обеспечивают калибровку и проверку данных спутниковой альтиметрии [19-20]. Скоординированная обработка информации ARGO и спутниковых систем наблюдения за океаном создала синергетический эффект, который позволил принципиально улучшить наблюдение за течениями Гольфстрим и Куроисио, при этом существенно расширились возможности наблюдения за биологическими и химическими изменениями в океане.

Рассмотрим систему административного управления ARGO. Оперативное управление осуществляют две группы: AST (International Argo Steering Team) - группа и ADMT (ARGO Data Management Team) - группа. За архив данных ARGO отвечает внешняя организация NODC/USA.

Группа AST обеспечивает научное руководство и осуществляет надзор за развитием и эксплуатацией массива буев. В перечень функций AST входит:

- определение способов доставки, численность массива и районы дислокации;
- поощрение развертывания ARGO в различных регионах земного шара;
- предоставление данных для научных исследований и производственных потребностей;
- поддержание связи с другими глобальными системами наблюдения, в том числе, с системами спутниковой альтиметрии, корабельной гидрографией, в частности, с OOPC, GSSC, GCOS SC, JCOMM/OCG и JCOMMOPS.
- содействие финансированию национальных и региональных программ, обеспечивающих функционирование массива буев ARGO.

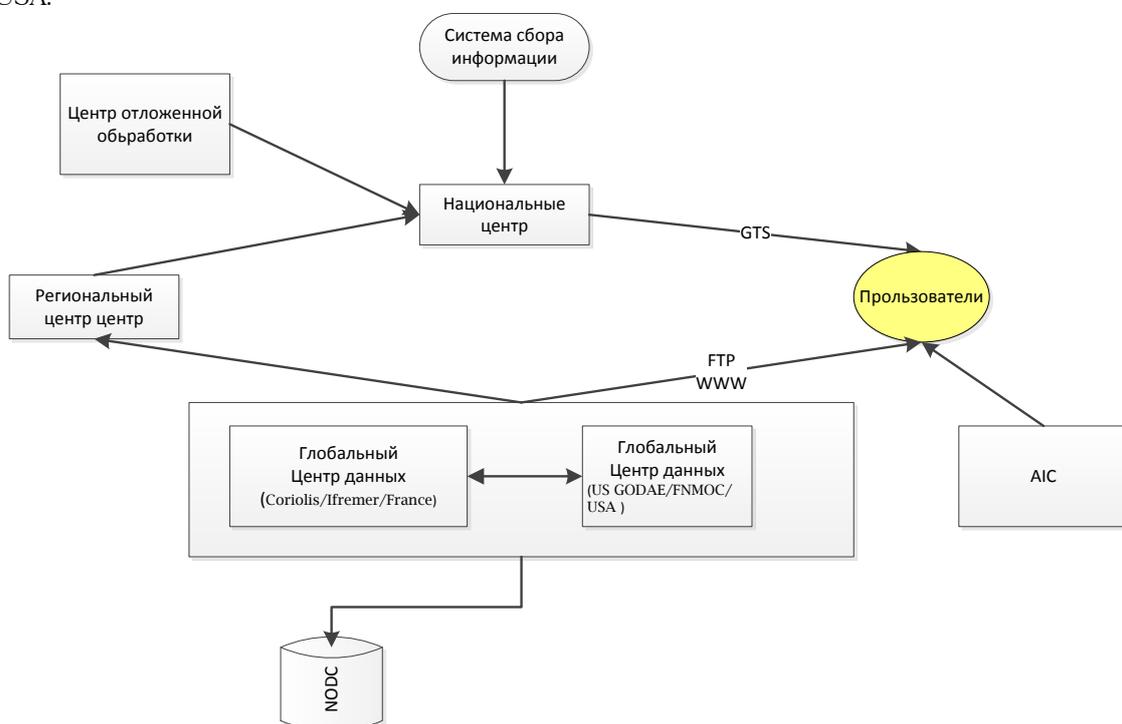


Рис. 4. Схема взаимодействия центров обработки информации ARGO

Группа ADMT обеспечивает:

- функционирование сайта управления данными;
- предоставление информации по методам обработке данных;
- документацию по форматам данных и процедурам контроля качества;
- доступ к справочной базе данных, необходимой для обработки сырых данных;
- доступ к данным глобального информационного центра;
- доступ к региональным центрам ARGO.

Функционирование информационной системы ARGO обеспечивает сеть информационных центров (рисунок 4). Данные ARGO обрабатываются и распространяются через сеть GTS и Internet. Рассмотрим схему взаимодействия центров обработки информации ARGO [21].

Информационный центр (AIC)

AIC входит в состав системы мониторинга и оперативного управления ARGO и расположен в Тулузе (Франция). AIC подчиняется JCOMMOPS. AIC отвечает за поступление данных от буев. Для обеспечения функционирования AIC было разработано оригинальное программное обеспечение. Часть программного обеспечения доступна для всех пользователей, а часть доступна только для ограниченной группы пользователей.

Глобальные центры сбора данных (GDACs - Global Data Assembly Centers)

Глобальных центров сбора данных два: один расположен во Франции (Coriolis/Iremer/France), а другой в США (GODAE/FNMOC/USA). Основной кластер серверов GODAE находится в управлении военно-морских исследований (ONR-Office of Naval Research). Информационный обмен между центрами происходит в режиме реального времени. Центры отвечают за:

- хранение архива океанографических наблюдений;
- функционирование набора океанографических моделей;
- описания температуры, солености и скорости течений;
- доступ к данным конечных пользователей.

Региональные центры

Участники проекта ARGO могут создавать региональные центры, список функций которых должен включать:

- проверку региональных данных на внутреннюю согласованность;
- проверку соответствия данных ARGO с данными судовых измерений;
- содействие развитию эталонной базы данных для контроля качества измерений;
- регулярное распространение информации ARGO.

Национальные центры данных

Национальные центры данных собирают, обрабатывают и распространяют данные с буев. Данные распределяются по сети в течение 24 часов. Национальные центры также отправляют данные в глобальные центры данных.

Алгоритм работы центров следующий: данные с буев передаются через спутники на наземные станции, откуда несколько раз в день информация отправляется либо в национальные центры, либо в региональные центры. Каждый центр отвечает за данные, полученные от закрепленных за ним буев. Центры поддерживают в актуальном состоянии метаданные, касающиеся технических характеристик, а также информацию о буях. Проверенные данные поступают в глобальные центры данных.

4. Технологии глобальных систем наблюдения за океаном

Рассмотрим ряд научных инструменты, с помощью которых ведется наблюдение за океаном.

Спутниковые инструменты наблюдения за океаном

Здесь мы кратко опишем научные инструменты спутниковых систем наблюдения за океаном.

Альтиметр (радиолокационный высотомер)

Альтиметр *измеряет при помощи* радиолокационных сигналов высоту, на которой находится космический аппарат [22-23]. Альтиметр Poseidon-2, основной инструмент миссии Jason. Poseidon-2 использует импульсы на частотах 13,6 и 5,3 ГГц. Частота 5,3 ГГц служит для определения содержания электронов в атмосфере, что необходимо для точных расчетов высоты. Время приема-передачи сигнала оценивается очень точно, в расчетах учитывается поправка от системы позиционирования. Poseidon-2 измеряет высоту морской поверхности с точностью около 1,7 см. Точность измерения высоты волн и модуля скорости приводного ветра составила 0,4 м и 1,5–1,7 м/с соответственно. Такая точность измерений сделала спутниковую альтиметрию эффективным методом контроля за изменением глобального среднего уровня Океана.

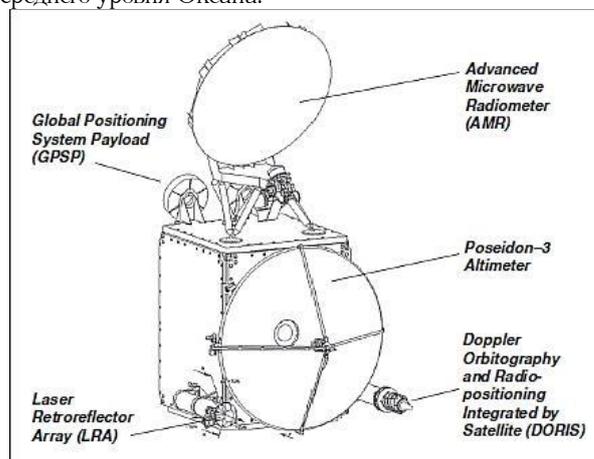


Рис. 5. Альтиметр Poseidon-1

(https://coportal.org/documents/163813/183517/Jason2_AutoC)

Микроволновый радиометр

Микроволновый радиометр представляет собой пассивный приемник, который на разных частотах измеряет радиояркость подстилающей поверхности. Антенна радиометра в радиочастотном диапазоне осуществляет коническое сканирование, заключающееся в перемещении визирного луча по поверхности конуса. Ось конуса совпадает с земной вертикалью. Геометрические искажения, обусловленные таким сканированием, исправляются математически при обработке сигнала.

Физический принцип действия *радиометра* заключается в следующем: в каждом интервале частотного диапазона радиояркость излучения подстилающей поверхности поразному зависит от значений геофизических параметров поверхности. В список параметров, влияющих на радиояркость, входят: соленость океана, поверхностный ветер, температура, концентрация водяного пара, облаков, и т.д. [24-25] Этот факт позволяет при определенных модельных предположениях вычислить значения каждого геофизического параметра в отдельности. Для этого решается обратная задача переноса или используется статистическая модель.

Спутник Jason-1 используют трехканальный микроволновый радиометр JMR (Jason Microwave Radiometer), Jason-2 использует AMR (Advanced Microwave Radiometer). Оба радиометра используют канал 23,8 ГГц для измерения интегрального содержания водяного пара в столбе атмосферы, а каналы 18,7 и 34 ГГц используются для учета скорости ветра и облачности соответственно. Эта информация позволяет рассчитать поправку на влажность, необходимую для обработки данных измерений альтиметра.

На спутниках группировки POES используются расширенные радиометры очень высокого разрешения AVHRR [26]. AVHRR измеряют отражательную способность Земли в пяти относительно широких спектральных полосах. Первые две полосы сосредоточены на красном (500 ТГц) и ближнем инфракрасном (300 ТГц) участках спектра, третий полоса спектра в районе 3,5 микрон, а последние два участка в районе 11 и 12 мкм соответственно.

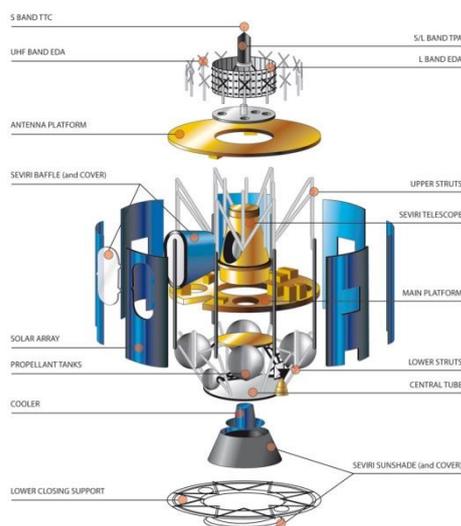


Рис. 6. Оптический радиометр SEVIRI (<http://www.eumetsat.int>)

Европейские геостационарные метеорологические спутники серии METEOSAT снабжены оптическим радиометром SEVIRI (Spinning Enhanced Visible and InfraRed Imager), который работает на 12-ти участках. SEVIRI разработан и производится в Европе. METEOSAT сбрасывает данные каждые 15 минут для оперативного использования метеорологами.

Скаттерометр (рефлектометр)

Скаттерометр — микроволновой радар, который облучает подстилающую поверхность и измеряет удельную эффективную площадь рассеивания (УЭПР) [27]. Существует зависимость УЭПР поверхности от геометрических параметров диаграммы направленности (угол падения луча, азимутальный угол) и характеристик зондирующего сигнала (длина волны, поляризация сигнала). На основании этих зависимостей определяются размеры и формы объектов, восстанавливается панорама движения воздушных потоков и морского волнения, и т.д. Конструкция скаттерометра имеет параболическую вращающуюся антенну, при помощи которой ведется обзор земной поверхности. Диаграмма антенны остронаправленная. Обработка сигнала построена на основе теории рассеивания.

На сегодняшний день скаттерометр RapidScat, разработанный в США для работы на МКС, считается наиболее совершенным.

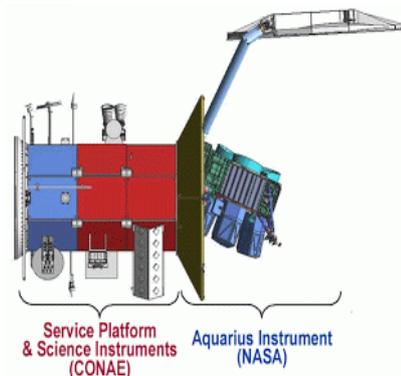


Рис. 7. Скаттерометр спутника Aquarius/SAC-D (<http://danielmarin.naukas.com/files/2011/06/aq2.gif>)

Таблица 3. Научные инструменты спутников

Спутник/Инструмент наблюдения	Альтиметр	Микроволновой радиометр	Примечание
Jason-1	Poseidon-2	JMR	
Jason-2	Poseidon-3	AMR	Экспериментальные инструменты Carmen-2, LPT и T2L2
METEOSAT		SEVIRI	
POES		AVHRR	

Буи ARGO

Буи ARGO — мощный инструмент исследования широкого спектра физических характеристик Мирового Океана. Каждый буй комплектуется, как минимум, датчиками: давления, температуры, электропроводности, и может быть доукомплектован дополнительными датчиками [28-29]. Алгоритм работы буя представлен на рисунке 4.1.1.

Буй погружается на заданную глубину и дрейфует в течение 10 дней, а затем всплывает со скоростью 1 м/с. Во время всплытия он измеряет температуру и соленость. Если установлены соответствующие датчики, то буй измеряет содержание кислорода, нитратов, скорость и направление течения и т.д. Точность измерения удовлетворяет международным стандартам. Горизонт дрейфа на буях можно изменять командами, передаваемыми по спутниковому каналу связи. После всплытия буй находится на

поверхности до тех пор, пока не передаст данные на спутник. Буи используют каналы спутниковой связи международной компании Inmarsat. Объем информации передаваемый за сеанс составляет порядка 200 измерений.

Буи ARGO имеют оригинальную конструкцию, которая была разработана с нуля. Производством буев занимаются: американская фирма Teledyne Webb Research, японская фирма Tsurumi Seiki Co. Ltd. (TSK) в кооперации с JAMSTEC и французская фирма PROVOR. PROVOR и Teledyne Webb Research используют CTD (Conductivity, Temperature, and Depth) датчики фирм Sea-Bird electronics, Falmouth Scientific, Inc. (FSI). Японская фирма использует датчики фирмы The Tsurumi-Seiki и Sea-Bird electronics. Основные характеристики буев приведены в таблице.

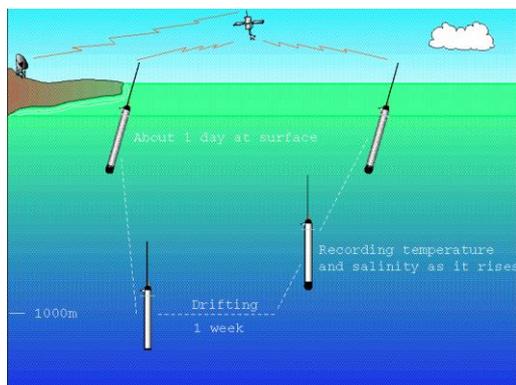


Рис. 8. Схема цикла работы буя ARGO [28]

5. Информационные ресурсы глобальных систем наблюдений

GOOS создают информационные ресурсы, поэтому эффективность этих дорогостоящих систем определяется степенью востребованности создаваемой ими информации. В этой части статьи мы познакомимся с информационными ресурсами ARGO и Jason 1/2.

Система коммуникаций глобальных систем наблюдения

Здесь дадим обзор информационных технологий, при-

меняемых в глобальных системах наблюдения.

Глобальная телекоммуникационная система GTS

Глобальные системы сбора данных интегрированы в сеть передачи метеорологических данных GTS (Global Telecommunication System). GTS представляет собой сеть центров метеорологической телесвязи, соединённых каналами наземной и спутниковых связи. Сеть организована иерархически:

- главная сеть телесвязи (MTN);
- региональные сети метеорологической телесвязи (RMTN);
- национальные метеорологические телекоммуникационные сети (NMTN).

Соединения в сети могут быть установлены как по схеме точка-точка, так и по многоточечной схеме. В сети используется формат передачи данных TESAC.

Internet технологии

Кроме специализированных сетей в GOOS широко используются интернет-технологии. Каждая GOOS имеет сайты, через которые осуществляется доступ к данным широкого круга пользователей. Технология работы с данными осуществляется через различные сервисы, а для трансфера данных используются FTP сервера.

Таблица 4. Характеристики буев

Хар./Буй	APEX	PROVOR-CTS3-DO	NINJA
Размеры:	диаметр 16,5 см, длина 196 см	диаметр 17,3 см, длина 170 см	диаметр 19,3 см длина 185 см
Масса	25 кг	34 кг	75 кг
Время жизни номинальная:	4 года, 150 циклов	6 года, 200 циклов	4 года, >120 циклов
Рабочая глубина погружения:	Программируемая до 2000 метров	Программируемая до 2000 метров	Программируемая до 3000 метров
Частота дискретизации:	24 Hz	24 Hz	24 Hz
Температура:	Интервал -5°C до 35°C, Точность $\pm 0,001^\circ\text{C}$ Уход 0,002°C / в год (Sea-Bird electronics)	Интервал -5°C до 35°C, Точность $\pm 0,002^\circ\text{C}$ Уход 0,002°C / в год. (Sea-Bird electronics)	Интервал -2°C до 35°C, Точность $\pm 0,001^\circ\text{C}$ Уход 0,002°C / в год. (The Tsurumi-Seiki)
Давление:	Интервал 0/2000/3000/6000/10,000/15,00 0 psia Точность $\pm 0,015\%$ Разрешимость 0,1 м. Стабильность 0,02% в год (Sea-Bird electronics)	Интервал 0/2000/3000/6000/10,000/15,00 0 psia Точность $\pm 0,015\%$ Разрешимость 0,1 м. Стабильность 0,02% в год (Sea-Bird electronics)	Интервал 0 до 1000 psia, Точность $\pm 0,25\%$ Разрешимость 0,1 м. Стабильность 0,1% в месяц (The Tsurumi-Seiki)
Проводимость:	Точность $\pm 0,0003$ S/m Разрешимость 0,0001 S/m . Стабильность 0,02% (Sea-Bird electronics)	Точность $\pm 0,0003$ S/m Разрешимость 0,0001 S/m . Стабильность 0,02% (Sea-Bird electronics)	Точность $\pm 0,0001$ S/m Разрешимость 0,0001 S/m . Стабильность 0,0003 S/m в месяц (The Tsurumi-Seiki)

На серверах данные хранятся как в текстовом формате, так и двоичном *NetCDF* (Network Common Data Form) формате. Формат *NetCDF* был специально разработан фирмой US National Space Science Data Center для представления научных данных. Он обеспечивает кроссплатформенность, то есть, информация читается одинаковым образом на всех машинах и операционных системах. Существует две формы *NetCDF* - 32 битный и 64 битный. 64 битный формат создан для поддержки файлов размером более 2Гб. Данные содержат заголовок, который описывает структуру массива данных, а также метаданные в виде

атрибутов имя/значение. Существует множество продуктов, обеспечивающих просмотр *NetCDF* формата, например, таких как ncBrowser, NCO, Excel.

Информационные ресурсы Jason S

Информационные центры CNES и NOAA, обслуживающие Jason S, получают от спутников данные трех типов: телеметрия (level0), инженерные данные от датчиков (level1) и геофизические данные (level2). Данные спутниковой альтиметрии на серверах наземной станции хранятся в виде баз данных, в виде файлов полей аномалий высот морской поверхности и уровней моря на регулярной сетке.

Информационные ресурсы доступны пользователям через интернет.

Обработка данных в информационных центрах заключается в:

- гомогенизации информации;
- редактировании данных;
- коррекции ошибок орбиты, проверке на непротиворечивость;
- поиске аномалий;
- оперативной обработке и интерпретации данных;
- оперативном доведении этой информации до потребителей.

Информационная система Jason 1/2 работает в трех режимах:

OGDR передает оперативные геофизические данные, которые не прошли полной вариации. В обработке данных используются расчетные параметры орбиты. Эти данные доступны с задержкой в 3-5 часа.

IGDR - не полностью подтвержденные данные. В расчетах используются предварительные данные параметров орбиты и предварительные геофизические поправки. Данные доступны с задержкой в два дня.

GDR - данные являются полностью подтвержденными. В расчетах использованы точные параметры орбиты и

всевозможные геофизические поправки. Данные доступны с задержкой в 60 дней.

Информационные ресурсы ARGO

Распределенная информационная система ARGO, как мы уже знаем, имеет десятки разнесенных в пространстве центров обработки данных и тысячи пользователей. В системе все операции обработки данных стандартизированы: разработаны протоколы обмена, процедуры обработки и тестирования первичной информации и т.д. Единообразная обработка данных по утвержденным требованиям позволила достичь высокого качества предоставляемой пользователям информации. Функциональные схемы работы национальных и региональных центров данных представлены на рисунке 5.1.

Информационные ресурсы ARGO доступны пользователям через глобальные центры данных (рисунок 2). Степень доступности информации зависит от страны и группы, к которой относится пользователь. Для ученых данные доступны с разрешения ответственного за них PI (principal investigator).

Информационная система ARGO работает в режиме близкому к реальному времени и в режиме отложенного времени.

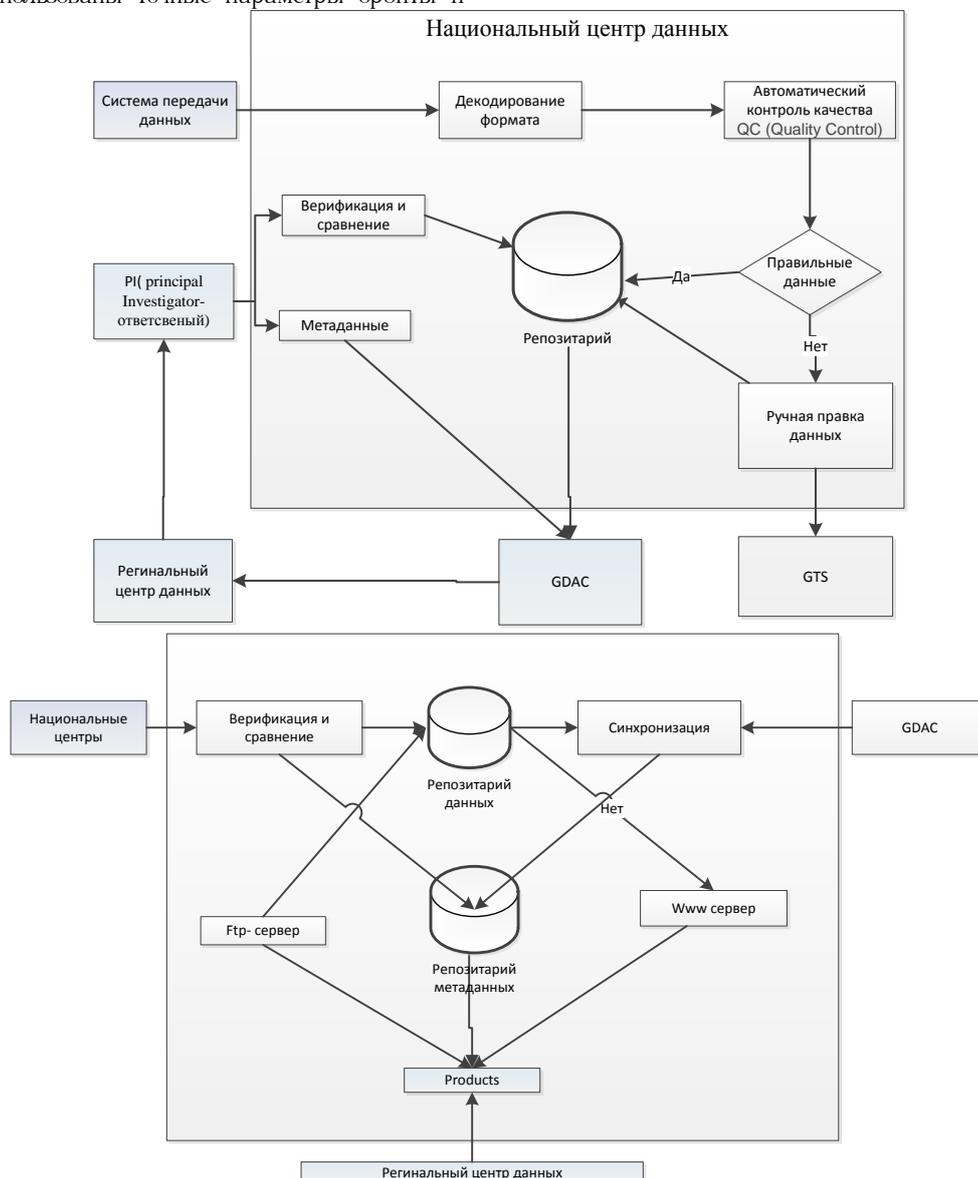


Рис. 9. Примерная функциональная схема национального регионального центра данных ARGO

Таблица 5. Параметры волновода

Верхнее полупространство		Водная среда	Дно
Свободное водное пространство	Лед		
<ul style="list-style-type: none"> - высота волн - форма волн 	<ul style="list-style-type: none"> - коэффициент отражения - коэффициенты рассеивания - твердость, - шероховатость, - плотность - скорость продольная - скорость поперечная - затухание продольное затухание поперечное 	<ul style="list-style-type: none"> - скорость продольная на разных глубинах - затухание продольное - плотность - движение (вихри) - наличие биологических объектов (планктон и т.д) 	<ul style="list-style-type: none"> - Тип дна (эластичный, отражающий и т.д.) - скорость продольная - скорость поперечная - затухание подпольное - затухание поперечное - рельеф дна

Режим, близкий к реальному времени, обеспечивает доступ к данным в течение 24 часов через сеть GTS. В этом случае данные проходят только формальный контроль. Для улучшения качества данных в американском центре DACS проводится дополнительный визуальный контроль профилей, но это исключение. Процедура обработки данных в режиме, близком к реальному времени, гарантирует только то, что данные свободны от грубых ошибок. Данные, предоставляемые в отложенном режиме, подвергаются детальной проверке экспертами. В проверку входит операция сравнения данных, полученных с буев ARGO, с данными из более надежных источников, например, таких как судовые STD. Процесс верификации может затянуться до пяти месяцев.

В результате верификации данных определяется их качество. Шкала качества состоит из пяти пунктов:

0. проверка не выполнялась;
1. качество хорошее;
2. качество вероятно хорошее (подразумевает некоторую неопределенность);
3. качество плохое, но может быть использовано;
4. качество плохое и неподдающееся восстановлению.

6. Глобальные системы наблюдения и задача расчета акустики полей

Проанализируем, как информационные ресурсы ARGO и Jason S могут быть использованы при решении задач расчета гидроакустических полей. Практика требует уметь производить расчет полей как в режиме реального времени, так и в режиме отложенного времени. Например, инженерные расчеты могут производиться десятками часов, а расчеты для задач гидролокации необходимо производить в доли секунды.

В том и в другом случае модели расчета полей требуют знания геофизических параметров волновода (таблица 5.1). Точность расчетов для реального времени зависит от точности описания волновода здесь и сейчас. Для инженерных расчетов часто бывает необходимо большая выборка реальных описаний волноводов для заданных районов Океана в разные промежутки времени.

В обоих случаях информационные ресурсы GOOS полезны, но не решают проблему полностью. Укажем некоторые проблемы, с которыми сталкиваются пользователи информационных ресурсов ARGO и Jason S.

Препятствием к использованию информации ARGO служат:

- нерегулярное распространение точек измерения в пространстве;
- не равномерное во времени снятие данных с буев;

- данные имеют разную степень достоверности;
- недостаточная оперативность получения данных.

Эти проблемы до некоторой степени могут быть решены при помощи соответствующей обработки данных [30-32], так для этих целей успешно используются методы:

- интерполяции и аппроксимации на нерегулярной сетке, с использованием базы полиномов;
- ассимиляции данных, позволяющей свести задачу интерполяции к решению специально поставленных краевых задач.

Наличие большой истории данных позволяет разрабатывать новые методы прогноза состояния волновода, что особенно важно для задач реального времени.

Информационные ресурсы Jason S для задач реального времени так же не обладают достаточной оперативностью, и, опять же, наличие большой истории позволяет делать прогнозы с большой степенью достоверности. Информация с Jason S позволяет в моделях учитывать течения и циркуляции, что не делается в современных расчетах полей.

Геология дна существенно влияет на распространение звука в Океане. ARGO и Jason S не ведут наблюдение за дном, но существуют базы данных, содержащие подробную информацию о геологии дна. К сожалению, эти базы данных не полные [33] и их пополнение дорогостоящий процесс.

7. Технологическая среда проектирования гидроакустических систем HDS

Технологическая среда проектирования гидроакустических систем HDS позволяет быстро и эффективно разрабатывать специализированное программное обеспечение для гидроакустических систем ориентированных на работу с глобальными ресурсами ЕСИМО.

Структурная схема HDS представлена на рисунке 10. Среда HDS разрабатывалась в соответствии с принципами методологии открытых архитектур. HDS имеет трехуровневую архитектуру. Каждый уровень имеет абстрактный интерфейс, обеспечивающий доступ к его функционалу. Выбранные архитектурные решения позволяют, не нарушая работоспособность верхних уровней производить изменения на низ лежащих уровнях. Разработаны системные требования, позволяющие расширять функционал HDS сторонним разработчикам. Программная реализация HDS обеспечивает высокую переносимость модулей. В настоящее время система локализована для WINDOWS.

С помощью HDS разрабатываются программы инженерных расчетов гидроакустических полей по лучевой и модовой методике, программа зон обнаружений и т.д. А так же разрабатывается универсальный интерфейс рабо-

ты с информационным ресурсом “Ocean” и геоинформационная система отображения карт скоростей звука т.д. Язык разработки пользовательских приложений может быть любым, допускающим подключение библиотек к HDS.

Уровень: Приложений

На этом уровне находятся приложения, разработанные с помощью HDS.

Уровень: Библиотеки

Это уровень представляет собой иерархию библиотек, реализующих широкий спектр гидроакустических алгоритмов. Библиотеки спроектированы из расчета их использования в многопоточных системах реального времени. Библиотеки HDS позволяют исключить или снизить коэффициент повторной разработки модулей программного обеспечения. Язык разработки C, библиотеки HDS могут быть перекомпилированы в различных операционных систем.

Уровень: Абстрактные интерфейсы

Гидроакустические алгоритмы нуждаются в самых разнообразных информационных ресурсах. Уровень интерфейсов представляет собой абстракцию, обеспечивающую единообразный доступ к разнородным информационным ресурсам. Специально для этих целей разработан язык XSQL. Через XSQL обеспечивается взаимодействие приложений с информационными OCEAN и инструментами наблюдения. Логически данные поступающие от инструментов наблюдения представляются в виде таблиц.

HDS предоставляет возможность создавать пользовательские адаптеры, обеспечивающие эффективное взаимодействие приложения с информационными ресурсами.

Уровень: Локальный информационный ресурс OCEAN

Локальный информационный ресурс OCEAN предоставляет возможность производить расчёты на основе:

- данных поставляемых ЕСИМО,
- данных локальной базы данных;
- полученных от инструментов наблюдений.

Информационный ресурс можно использовать, в следующих режимах: автономно, в режиме подключения к ЕСИМО и/или в режиме инструментов наблюдений.

Автономно система использует накопленные данные и подсистему интерполирования и прогнозирования.

В режиме подключения к ЕСИМО HDS ведет автоматический информационный обмен с серверами ЕСИМО. За синхронизацию данных отвечает подсистема репликации.

В режиме инструментального наблюдения данные поступают от подключенной аппаратуры. Данные проходят контроль на непротиворечивость.

Информационный ресурс OCEAN можно расширять, доработав его в соответствие с системными требованиями. На настоящий момент информационные ресурсы OCEAN хранятся на SQL-сервере postgresql.

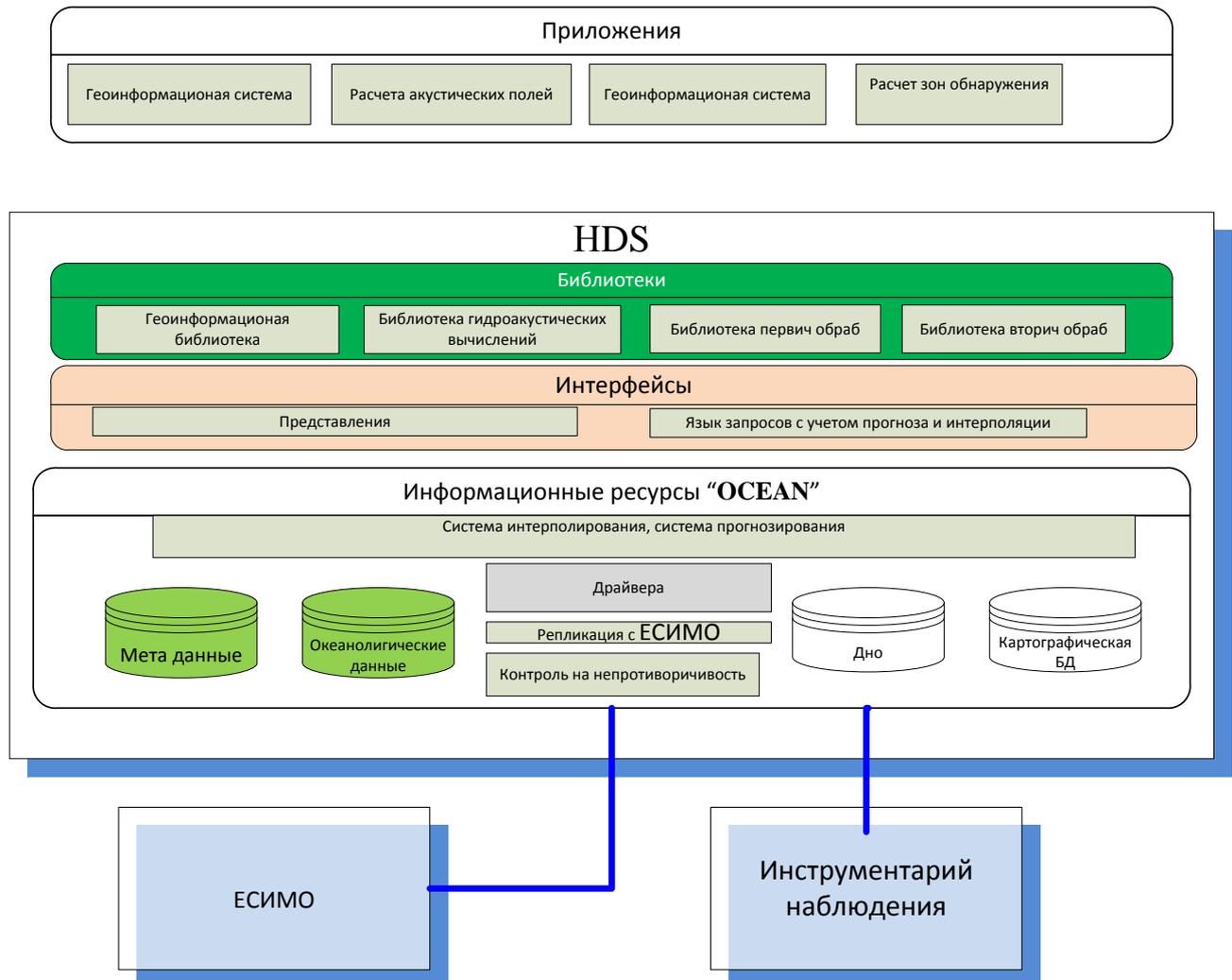


Рис. 10. Структурная схема HDS

Подсистема интерполирования и прогнозирования.

Расчет может потребовать данные, непосредственно не содержащиеся в БД, в этом случае начинает работать блок прогноза и интерполяции, который вычисляет правдоподобные данные для заданного момента времени и координат. Подсистема представляет собой библиотеку.

Подсистема контроля непротиворечивости.

Подсистема обеспечивает интеллектуальный контроль данных на непротиворечивость, поступающих от инструментов наблюдения и ЕСИМО.

БД МетаДанные

БД метаданных содержит классификаторы. Классификаторы делятся на два класса: внешние и внутренние. Внешние классификаторы синхронизированы с классификаторами ЕСИМО. Механизм, синхронизации работает следующим образом: при изменении классификатора в ЕСИМО в автоматическом режиме происходит его синхронизация с соответствующим классификатором метаданных HDS. В случае добавления новой позиций в классификатор на стороне HDS, автоматически формируется письмо с просьбой включить данные классификатор. До утверждения в ЕСИМО данные имеют пометку не утверждённые. Внутренние классификаторы по структуре похожи с внешними, но не синхронизируются с ЕСИМО классификаторами.

БД Океанографических Данных

БД содержит информацию необходимую для решения расчетных задач гидроакустики, куда входят: профили солености, температуры, поверхностную температуру, плотность воды, данные о взволнованности океана, данные по планктону и т.д. Данные привязаны к времени и координатам. Синхронизация с данными ЕСИМО проводится в режиме online, то есть изменения происходят в момент изменения соответствующих данных ЕСИМО или отложенном режиме, когда данные обновляются согласно расписанию.

БД Дно

БД содержит геологическую карту дна. В БД содер-

Литература:

1. Лаврова О. Ю., Костяной А. Г., Лебедев С. А., Митягина М. И., Гинзбург А. И., Шермет Н. А. Комплексный спутниковый мониторинг морей России. // М., ИКИ РАН, 2011. — 480 с.
2. Lellouche, J. M., O. Le Galloudec, M. Drüvillon, C. Rignier, E. Greiner, G. Garric, N. Ferry, C. Desportes, C. E. Testut, C. Bricaud, R. Bourdalliy-Badie B., Tranchant, M. Benkiran, Y. Drillet, A. Daudin, and C. De Nicola. Evaluation of global monitoring and forecasting systems at Mercator Ocean. **Ocean Science**, 9, 57-81.
3. WMO PROGRAMME DESCRIPTIONS. https://www.wmo.int/pages/summary/documents/1077_annex_II_en.pdf
4. APPROVED PROGRAMME AND BUDGET 2012-2013. http://www.who.int/about/resources_planning/A66_7-en.pdf
5. Johnson, D. R., T. P. Boyer, H. E. Garcia, R. A. Locarnini, A. V. Mishonov, M. T. Pitcher, O. K. Baranova, J. I. Antonov and I. V. Smolyar (2006): World Ocean Database 2005 Documentation, ed. by S. Levitus, //NODC Internal Report 18, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., 163 pp.
6. Технические спецификации интерфейсов пользователей ЕСИМО // ВНИИГМИ-МЦД, Обнинск 2006, 28 с.
7. Технология ведения интернет - портала и АРМов комплексного информационного обеспечения ЕСИМО, Общее описание технологии, // ВНИИГМИ-МЦД Обнинск, 2006. 40 с.
8. Технология по ведению базы данных проекта АРГО, Общее описание технологии, версия 2.0.1 // ДВНИГМИ, Владивосток, 2008.
9. Технология по ведению базы данных проекта АРГО, Описание информационной базы версия 2.0.1 //ДВНИГМИ, Владивосток, 2008.
10. Технология по ведению базы данных проекта АРГО, Руководство пользователя версия 0.1// ДВНИГМИ, Владивосток, 2008.
11. Боев А.Г., Ефимов В.Б., Цымбал В.Н. и др. Радиолокационные методы и средства оперативного дистанционного зондирования Земли с аэрокосмических носителей. // Под ред. С.Н. Конюхова, В.И. Драновского, В.Н. Цымбала. НАН Украины, 2007. 439 с.
12. Малинин В.Н., Шевчук О.И. Долгосрочный прогноз сезонного хода морского уровня по альтиметрическим данным на основе адаптивной модели.// Исслед. Земли космоса. 2013 № 4, стр. 27-32.

жится информация о составе дна и скорости распространения звука в нем и т.д. БД содержит информацию только по нескольким районам мирового океана.

БД Картографическая информация

БД содержит картографическую информацию.

Инструменты наблюдения

Данные в таблицы могут поступать непосредственно с измерительной аппаратуры, как в режиме реального времени, так в отложенном режиме или через пользовательский интерфейс. Для обмена с внешними инструментами наблюдения разработан протокол обмена и набор драйверов для внешних устройств. Сформулированы общесистемные требования, для расширения этого блока.

Заключение.

1. В настоящее время идет процесс формирования технологии глобального наблюдения за Землей. В этом процессе можно принять участие в качестве потребителя информационных ресурсов или в качестве разработчика, участвуя в международных проектах. Очевидно, необходимо более активное участие Российских организаций в этом процессе.

2. Россия - член ООН и ЮНЕСКО и имеет право участвовать в формировании стратегических концепций систем глобального наблюдения за Землей. Необходимо, чтобы концепции учитывали потребности гидроакустических исследований.

3. Требуется развитие методов прогнозирования, экстраполяции, интерполяции, параметров волновода, учитывающих новые возможности технологий GOOS.

4. Необходимы новые гидроакустические модели, учитывающие возможности технологий глобального наблюдения за Землей.

5. Среда проектирования гидроакустических систем HDS отечественная разработка. HDS позволяет эффективно разрабатывать проблемно ориентированные системы с использованием информационных ресурсов GOOS.

13. Leuliette, E., R. Nerem, G. Mitchum, 2004: Calibration of TOPEX/Poseidon and Jason altimeter data to construct a continuous record of mean sea level change. *Marine Geodesy* **27**, 79-94.
14. Emmanuel S. G, David T. S, Walter H.F. Smith. Retracking CryoSat-2, Envisat and Jason-1 radar altimetry waveforms for improved gravity field recovery // *Geophysical Journal International* January 2, 2014.
15. Emmanuel S. G, David T. S, Walter H.F. Smith. Retracking CryoSat-2, Envisat and Jason-1 radar altimetry waveforms for improved gravity field recovery // *Geophysical Journal International* January 2, 2014.
16. Lillibridge, J. L., R. Scharroo, G. Jacobs, L. Russell, and V. Tabor. Quality assessment of the Jason-2 // *Operational and Interim Geophysical Data Records, Mar. Geod.*
17. Snaith, H. M., R. Scharroo. Coastal challenges for altimeter data dissemination and services, in *Coastal Altimetry*, edited by S. Vignudelli Twenty-seventh Session of the Assembly Paris, 26 June–5 July 2013. http://ioc-unesco.org/index.php?option=com_oe&task=viewDocumentRecord
18. Guinehut S., Dhomp A., Larnicol G. High resolution 3D temperature and salinity fields derived from in situ and satellite observations. // *Ocean Sci.*, **8**, 845-857.
19. Hosoda, S. and S. Minato. Objective analysis with Argo float and TRITON buoy data for temperature and salinity fields in the Pacific Ocean. // *ARGO USER'S MANUAL* Version 3.02 July 18th 2013.
20. Block, B.A. et al. Tracking apex marine predator movements in a dynamic ocean. // *Nature* **475**, 86–90, doi:10.1038/nature10082 JAMSTECR (Report of Japan Marine Science and Technology Center), **48**, 67.
21. Masuda, S., N. Sugiura, S. Osafune, Doi. Improvement of Ocean State Estimation by Assimilating Mapped Argo Drift Data. // *The Scientific World Journal*, 2014, 1-6.
22. С.А. Лебедев. Спутниковая альтиметрия в науках о Земле. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2013. Т. 10. № 3. С. 33-49. Геофизический центр РАН, Москва.
23. Satellite Altimetry, Pierre-Yves Le Traon Ifremer.
24. Караваев Д.М., Шукин Г.Г., Применение методов СВЧ-радиометрии для диагноза содержания жидкокапельной влаги в облаках. // *Труды НИИ ДЗА, "Прикладная метеорология"*, 2004. вып.5 (553), с 99-120.
25. В. Караев, М. Каневский, Г.Баландина, Е.Мешков, П.Челленор, М.Срокосз, К. Гомменджинджер. Новые средства дистанционной диагностики океана: радиолокатор СВЧ-диапазона с ножевой диаграммой направленности антенны. // *Исследование Земли и Космоса*, 2004, N 2, 41-52 выпуск 2, С. 39-46.
26. Захаров М.Ю., Лупян Е.А., Мазуров А.А. Программа обработки данных прибора AVHRR спутников серии NOAA для персональных компьютеров // *Исследование Земли из космоса*. 1993. N4. С. 62-68.
27. С.Л. Внотченко, А.И. Коваленко, В. В. Римап, С.Н. Смирнов, И.Н. Чечина. Принципы реализации космических скаттерометров на основе активных фазированных антенных решёток // III Всероссийская научная конференция «Сверхширокополосные сигналы в радиолокации, связи и акустике».
28. *ARGO USER'S MANUAL* Version 3.02 July 18th 201. On The Design and Implementation of Argo A Global Array of Profiling Floats // www.argo.ucsd.edu/argo-design.pdf
29. Куликов Е.А., Файн И.В. Численное моделирование изменчивости уровня Балтийского моря // *Вычислительные технологии*, 2008, Том 13, Специальный выпуск 2, С. 39-46.
30. Захарова Н.Б., Лебедев С.А. Интерполяция оперативных данных буев ARGO для ассимиляции данных в модели циркуляции Мирового океана. // *Современные проблемы зондирования Земли из космоса* 2010 Т.7 N 4.
31. Петров А.А. , Свистун З.П., Карнович И.А. Некоторые вопросы, оценки точности полиномиальной интерполяции метеорологических полей. // *Тр. ГМЦ СССР*, 1975, вып.160, с.83-91.
32. *New Developments in Approximation Theory: //2nd International Dortmund Meeting.*
33. С. Л. Никифоров, Л. И. Лобковский, Е. А. Романкевич, Сорохтин, Н. В. Либина, И. А. Селезнев, М. Я. Андреев, И. Я. Рубанов, В. А. Попов С. М. Кошель. О необходимости создания единой базы данных по свойствам строения морского дна // *Арктика: экология и экономика*, № 2 (14), с. 31-35.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научный текст как объект автоматизированной обработки

Аюшеева Наталья Николаевна, кандидат технических наук, доцент;
Гомбожапова Татьяна Николаевна, аспирант

Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления (г. Улан-Удэ)

Современное состояние в области решения задач автоматизированной обработки естественно-языковых текстов характеризуется постепенным отклонением от применения статистических методов к интеллектуальным. Интеллектуализация методов, прежде всего, затрагивает область представления текстов. Выполненные ранее исследования позволяют говорить о целесообразности представления текста в виде семантической сети. Существующие методы построения семантической сети не учитывают особенности структуры текстов разных жанров, типов и видов. Поэтому целесообразно выявить характерные черты научного текста прежде, чем рассматривать задачу создания его семантической сети.

Подавляющее большинство авторов, занимающихся проблемами текста, первоначально делят все тексты на нехудожественные и художественные [1].

Художественные тексты имеют свою типологию, ориентированную на родо-жанровые признаки. Нехудожественные тексты имеют свою частную типологию: тексты массовой коммуникации; научные тексты; официально-деловые тексты [1].

Художественный текст строится по законам ассоциативно-образного мышления, нехудожественный — по законам логического мышления. Поэтому для нехудожественного текста важна логико-понятийная, объективная сущность фактов, явлений, а для художественного — образно-эмоциональная, почти всегда субъективная. С точки зрения структуры и функции высказываний нехудожественные и художественные тексты также различаются. Конструктивную роль в нехудожественных текстах призваны выполнять рационально-логические структуры, а в художественных текстах — эмоционально-риторические. Рационально-логические структуры соотносят текст с действительностью, а эмоционально-риторические — с интерпретацией действительности. Поскольку рационально-логические структуры отражают фактологическую сторону сообщения, элементы этих структур нельзя убрать без ущерба для смысла, тогда как выпадение звеньев эмоционально-риторических не нарушает общего содержания текста, а лишь обесцвечивает его, доводя до нейтрального звучания. Рационально-логический строй речи в нехудожественном тексте подчеркивается наибольшей эксплицитностью выражения содержания и наибольшей связностью [1].

В данной работе больший интерес представляют нехудожественные научные тексты. Нехудожественные научные тексты можно разделить, в зависимости от функционального назначения, на научно-технические, научно-гуманитарные, естественнонаучные, научно-популярные, учебные тексты, тексты справочного и производственного характера. Основу такой дифференциации составляет степень обобщения научных сведений, что, в свою очередь, позволяет разделить все научные тексты на первичные и

вторичные [2]. Первичные научные тексты призваны передавать первичные научные сведения, полученные в процессе научных исследований. Вторичные научные тексты содержат только конечные результаты аналитико-синтетической переработки первичных научных документов. К первичным научным текстам относят: монографию, статью, к вторичным — тезисы, реферат, учебник, учебное пособие, сборники упражнений, сборники задач и др.

Научный текст имеет свои особенности языка и стиля. В научных текстах ведущими функционально-смысловыми типами речи (иначе способами изложения) являются описание и рассуждение [1]. Описание служит для изображения внешних признаков объекта исследования, т.е. для непосредственного отражения объективной действительности, что относится к воплощению результатов эмпирического исследования; рассуждение используется для отражения скрытых связей и закономерностей развития объектов изучения, т.е. выражает результаты теоретического познания. В процессе становления и развития науки и теоретического мышления число научных текстов типа «рассуждение» увеличивается.

Рассмотрим главные черты изложения научного текста.

Научный текст характеризуется *логичностью*, которая коррелирует с основными этапами научной работы: постановка и понимание проблемы, изучение опыта предшественников, предлагаемый вариант решения проблемы, его доказательство и аргументация, обобщение полученных данных, подведение итогов.

Стилевой чертой научного текста является его *точность*. Достигается точность использованием однозначных выражений, терминов, слов с ясной лексико-семантической сочетаемостью. Внутри системы текста термин стремится к однозначности, не выражает экспрессии и является стилистически нейтральным. Специфическими особенностями терминов являются [3]: системность, наличие дефиниции, абсолютная и относительная точность, краткость, простота и понятность и др. Именно термин, как номинация большой обобщающей силы (например, *информационно-поисковый запрос*) в научном тексте выступает базовой единицей тематической цепочки. При этом дополнительные номинации могут быть получены выделением активных свернутых трансформ (например, *поисковый запрос*), иногда с указательными словами (*этот поисковый запрос, такие запросы*), реже используются перифразы (*запрос пользователя*) и субституты (*они*). Практически в научном тексте не используются нулевые номинации. Комбинаторика языковых составляющих текстовой цепочки характеризуется периодичностью появления базовой номинации и относительным разнообразием перемежающихся с ней дополнительных номинаций. Основная тематическая цепочка проходит через весь научный текст, как правило,

начиная с заголовка.

Отвлеченность и обобщенность также являются основными характеристиками научного текста. Наличие следующих речевых средств придает соответствующую окраску тексту:

— использование неопределенно-личных предложений, пассивных конструкций: *среди характерных черт можно выделить, на современном этапе исследований наблюдается тенденция, на основе этих данных, в настоящее время в и т.п.*

— использование авторского «мы», «нами»: *мы рассмотрим, как нам кажется, на наш взгляд, предположим, докажем, что и т.п.*

Научный текст нельзя представить без клише — устойчивого речевого оборота, готового оборота, стандарта, легко используемого в определенных условиях. В научном тексте клише, которые выражены формальными текстовыми признаками, активно используются как средство, обеспечивающее однозначное и объективное изложение информации, а также облегчающее ее восприятие.

Традиционно сложившаяся форма научного общения ученых предопределила четкую структуру научных текстов. Как правило, можно выделить три семантических блока: введение, основная часть, заключение. Каждый блок можно разделить на фрагменты — аспекты содержа-

ния, относительно самостоятельные части текста, обладающие смысловым единством. Аспект может быть выражен в тексте одним или несколькими предложениями, а иногда и несколькими абзацами. Научные тексты не только характеризуются четкой структурой (семантический блок — аспекты), но и наличием у каждого аспекта своих, только ему присущих, формальных признаков [4].

Основной функцией формальных текстовых признаков является структурно-смысловая организация текста — оформление и упорядочение рассуждений, связывание отдельных текстовых фрагментов. Формальные текстовые признаки позволяют различать отдельные аспекты содержания в тексте, проследивать развитие авторской мысли, отражать композиционно-логические связи между ключевыми словами текста, характеризовать степень объективности информации и указывать на отношение автора к высказыванию.

Таким образом, вышеуказанные особенности научного текста, а именно логичность, точность, клишированность, необходимо учитывать при выборе научного текста в качестве объекта исследования. При этом при построении семантической сети научного текста возможным является определение его структуры посредством выявления формальных текстовых признаков.

Литература:

1. Валгина Н.С. Теория текста. — М.: Логос, 2003.
2. Валеева, Н.Г. Жанрово-стилистическая характеристика научных текстов. Введение в переводоведение / Н. Г. Валеева. — М.: РУДН, 2006. — 128 с.
3. Культура русской речи. Учебник для вузов. Под ред. проф. Л. К. Граудиной и проф. Е.Н. Ширяева. — М.: Издательская группа НОРМА-ИНФРА М, 1999. — 560 с.
4. Научный текст и его разновидности [Электронный ресурс] // Колкова Н.И. — Режим доступа: http://taoi.kemguki.ru/disciplines/analys/nauchniy_tekst.doc

Современные концепции реализации энергетической конверсии отходов растительного происхождения

Быкова Светлана Федоровна, доктор технических наук, профессор
Северо-Кавказский филиал ФГБНУ ВНИИЖиров (г. Краснодар)

Бобровник Анна Анатольевна, аспирант

ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный технологический университет» (г. Краснодар)

Цель данной работы провести анализ эффективности различных путей энергетической конверсии растительных отходов. Анализ проводился по основным критериям экономической и экологической эффективности. Полученные данные свидетельствуют о преимуществах прямого сжигания и анаэробного биохимического процесса.

Ключевые слова: растительные отходы, энергетическая конверсия, лузга подсолнечная, эффективность, термическая конверсия, биогаз.

Проблема истощаемости природных энергоресурсов вызывает необходимость поиска альтернативных видов топливного сырья. Зарубежный опыт использования растительных отходов, в качестве энергетического сырья, свидетельствует об эффективности данного направления конверсии. Для этой цели разработаны различные виды конструкций топливных устройств для сжигания растительных отходов в брикетированном, рассыпчатом или в гранулированном виде.

Анализ статистических данных показал, что в России на предприятиях АПК ежегодно образуется около 200 млн т отходов растительного происхождения. Специфической особенностью данного вида отходов является их

достаточно высокая энергетическая ценность, так как 1 т растительных отходов эквивалентна 0,625 т условного топлива. Поэтому растительные отходы можно рассматривать как важное потенциальное топливное сырье для развития «малой энергетики» в сельскохозяйственных районах. При этом энергетическое направление конверсии растительных отходов по сравнению с другими видами наиболее доступно, экономически эффективно, а также имеет экологические и социально-экономические преимущества. Цель данной работы провести анализ эффективности различных путей энергетической конверсии.

Из всех отходов, образующихся при переработке сельскохозяйственного сырья, особую проблему составляет

лузга подсолнечная, так как для ее складирования требуются большие площади, ввиду ее низкого насыпного веса и особые условия хранения из-за ее пожароопасных свойств.

Задача переработки подсолнечной лузги в топливо достаточно новая для отечественного производителя и в данной работе является объектом исследования. В настоящее время имеется некоторый практический опыт производства топливных гранул и брикетов из лузги подсолнечника. Однако при этом вскрылись некоторые проблемы. Прежде всего, обнаружилось расхождение в представлениях о рынках сбыта действующих и потенциальных производителей гранул, так как рынок гранулированного топлива повержен большим флуктуациям объемов, предложений и цен.

Изучение состава продуктов сгорания подсолнечной лузги, в сравнении с традиционным каменным углем показали, что содержание серы в зольном остатке лузги составляет 0,1-0,2%. Полученные данные свидетельствуют о том, что содержание серы в лузге, по сравнению с углем, в 10-20 раз меньше. Поэтому с точки зрения охраны окружающей среды топливо из подсолнечной лузги более экологично по сравнению с каменным углем.

Кроме того, теплотехническая конверсия подсолнечной лузги, помимо сжигания, предполагает в перспективе использование ее в процессах газификации и пиролиза.

Газификация заключается в превращении при высокой температуре твердого топлива в горючие газы путем неполного окисления кислородом воздуха. Получаемый при этом оксид углерода в сочетании с азотом воздуха представляет собой воздушный генераторный газ, теплота сгорания которого составляет 3,8-4,5 МДж/м³.

Пиролиз заключается в высокотемпературном расщеплении сложных органических соединений, входящих в состав подсолнечной лузги, на более простые при отсутствии кислорода. С помощью данного процесса можно получить из подсолнечной лузги метан, водород и углекислый газ. Однако из-за сложности соблюдения режимов процесса, применение пиролиза с целью энергетической конверсии подсолнечной лузги в условиях предприятий АПК ограничивает масштабы его практического внедрения.

В основе биологических технологий конверсии отходов подсолнечной лузги в энергетические продукты могут быть рекомендованы процессы гидролиза и ферментации, гидрогенизации и анаэробного сбраживания. В результате процесса гидролиза основан на взаимодействии органических веществ с водой с образованием кислот, оснований, глюкозы, ксиллозы, фурфурола, этилового спирта и многоатомных спиртов.

Гидрогенизация, или гидрирование, представляет собой процесс присоединения водорода к химическим элементам или их соединениям в присутствии катализаторов. С помощью данного процесса из подсолнечной лузги можно получить аммиак, метиловый спирт и горючие газы. Однако реализация данного процесса предполагает значительные трудности, так как требуются серьезные инвестиции из-за его технической сложности и высокой точности соблюдения технологических режимов.

Наиболее известным и распространенным биологическим методом утилизации отходов, применяемым в эко-

логическом инжиниринге, является процесс анаэробного сбраживания или метанового брожения. Метановое брожение представляет собой сложный бактериальный процесс, протекающий в анаэробных условиях и осуществляемый природной бактериальной ассоциацией, состоящей из многих видов микроорганизмов с преобладанием метаногенов, образующих метан из органических веществ, входящих в состав подсолнечной лузги.

Как показали расчеты, экономическая эффективность различных процессов термохимической и биологической конверсии подсолнечной лузги колеблется от 65 до 30%. Наибольшее значение относится к схеме прямого сжигания с получением пара и горячей воды (65%) и анаэробного сбраживания с получением биогаза (60%). Однако, при практически равных значениях эффективности, схемы конверсии с получением биогаза позволяют применять в качестве сырья различные виды отходов сельскохозяйственного производства, причем не только растительного, но и животного происхождения, что актуально для сельской местности при размещении установок биоконверсии непосредственно в хозяйствах АПК.

Как показали исследования, теплотворная способность 1 м³ биогаза, состоящего из 50-80% метана и 20-50% углекислого газа, равна 10-24 МДж/м³ и эквивалентна 0,7-0,8 кг условного топлива, а выход его для различных видов растительных отходов достаточно высок. Так, выход биогаза из 1 т сухого вещества для подсолнечной лузги — составляет 300 м³, для соломы пшеничной — 342 м³, для кукурузных початков — 420 м³ и для сорной растительности — 500 м³. Коэффициент превращения органических веществ в биогаз по данным проведенных опытов для всех исследуемых видов отходов составляет — 0,9.

Биогаз с высокой эффективностью можно трансформировать в другие виды энергии. КПД его использования посредством газогенераторов в качестве топлива составляет - 83%, превращая в электрическую энергию — 33% и тепловую — 50%.

Анализ зарубежного опыта показал, что биогазовая промышленность в ряде стран может занимать важное место в энергетическом балансе сельского хозяйства. Ведущее место в мире по валовому производству биогаза занимает Китай. Сегодня там действует 7 млн небольших установок на 8-10 м³ каждая и около 40 тысяч установок большого размера. Благодаря этому в Китае ежегодно перерабатывается около 230 млн т сельскохозяйственных отходов (по сухому веществу) и производится свыше 90 млрд м³ биогаза, что эквивалентно использованию 75 млн т условного топлива. Накопленный в Китае положительный опыт биоконверсии сельскохозяйственных отходов предполагает в будущем расширить данное энергетическое направление утилизации и построить еще порядка 30 млн биогазовых установок, что позволит перерабатывать в год до 1 млрд т отходов и производить до 400 млрд м³ биогаза.

Россия и особенно Южный Федеральный округ располагают большими ресурсами органических отходов как растительного, так и нерастительного происхождения. Переработка их в биогаз по самым скромным подсчетам позволит получить до 180 млрд м³ газа в год, который заменит 130-160 млн т условного топлива.

Анализ конфликта в стохастических технологических системах

Воронова Елена Васильевна, кандидат технических наук
Воронежский государственный университет (г. Воронеж)

Десятов Дмитрий Борисович, доктор технических наук, профессор
Воронежский государственный университет инженерных технологий (г. Воронеж)

Многие современные технологические системы являются сложными стохастическими системами. Задачи оптимизации, возникающие при их исследовании, как правило, носят векторный характер. Поэтому целесообразно строить модели, учитывающие вероятностную природу конфликта основных параметров оптимизации.

Ключевые слова: вероятностный конфликт, случайные события, теорема, доказательство, стохастические системы.

Многие современные технологические системы являются сложными стохастическими системами. Задачи оптимизации, возникающие при их исследовании, как правило, носят векторный характер. Поэтому целесообразно строить модели, учитывающие вероятностную природу конфликта основных параметров оптимизации.

В соответствии с [1, с. 79] будем считать, что некоторая система S_1 конфликтует с системой S_2 ($S_2 \mathcal{K} S_1$), если

$$q(S_1, S_2) < q(\bar{S}_1, \bar{S}_2), \quad (1)$$

где q - функция полезности надсистемы $S = \{S_1, S_2\}$. Для стохастических технологических систем в качестве функции полезности будем рассматривать вероятность достижения заданной цели. При этом можно говорить о конфликте случайных событий, заключающихся в достижении некоторых целевых состояний. Тогда, если A и B - совместные зависимые случайные события (например, заключающиеся в достижении целевых состояний стохастическими системами S_1 и S_2 соответственно), то вероятностный конфликт между событиями ($A \mathcal{K} B$) можно определить двумя способами [2, с. 153; 3, с. 230]:

Определение 1. Между A и B наблюдается вероятностный конфликт первого рода ($A \mathcal{K}_1 B$), если

$$P(A/B) < P(A/\bar{B}), \quad (2)$$

где: $P(A/B)$, $P(A/\bar{B})$ - условные вероятности.

Определение 2. Между A и B наблюдается вероятностный конфликт второго рода ($A \mathcal{K}_2 B$), если

$$P(A/B) < P(A). \quad (3)$$

Теорема 1. Из неравенства (2) следует неравенство (3).

Доказательство. По известной теореме о полной вероятности:

$$P(A) = P(A/B)P(B) + P(A/\bar{B})P(\bar{B}) \quad (4)$$

Тогда из (2) следует:

$$P(A) > P(A/B)P(B) + P(A/\bar{B})P(\bar{B}) = P(A/B)[P(B) + P(\bar{B})]. \quad (5)$$

Согласно одной из аксиом теории вероятностей:

$$P(B) + P(\bar{B}) = 1. \quad (6)$$

Из (4) и (5) следует $P(A) > P(A/B)$, что и требовалось доказать.

Теорема 2. Вероятностный конфликт второго рода является симметричным, то есть из $A \mathcal{K}_2 B$ следует, что $B \mathcal{K}_2 A$.

Доказательство. Имеем неравенство (3). Из формулы умножения для зависимых событий следует:

$$P(A \cap B) = P(A)P(B/A) = P(B)P(A/B) \quad (7)$$

Отсюда с учетом (3) получаем:

$$P(B/A) = [P(B)P(A/B)]/P(A) < [P(B)P(A)]/P(A) = P(B) \quad (8)$$

Теорема 3. Вероятностный конфликт первого рода является симметричным, то есть из $A \mathcal{K}_1 B$ следует, что $B \mathcal{K}_1 A$.

Доказательство. Имеем неравенство (2). По теореме о полной вероятности можно записать:

$$P(B) = P(B/A)P(A) + P(B/\bar{A})P(\bar{A}). \quad (9)$$

Тогда:

$$\begin{aligned} P(B/\bar{A}) &= [P(B) - P(B/A)P(A)]/P(\bar{A}) = [P(B) - P(B/A) + P(B/A)P(A)]/P(\bar{A}) = \\ &= \{P(B) - P(B/A) + P(B/A)[1 - P(A)]\}/P(\bar{A}) \end{aligned} \quad (10)$$

Согласно (6):

$$P(\bar{A}) = 1 - P(A). \quad (11)$$

Из (10) и (11) следует:

$$P(B/\bar{A}) = [P(B) - P(B/A)]/P(\bar{A}) + P(B/A). \quad (12)$$

Из Теоремы 1, неравенства (8) и неравенства $P(\bar{A}) > 0$ (если $P(\bar{A}) = 0$, то события A и B являются независимыми, что противоречит принятым предположениям) следует, что:

$$[P(B)P(B/A)]/P(\bar{A}) > 0. \quad (13)$$

Из (12) и (13) имеем:

$$P(\bar{B}/\bar{A}) > P(\bar{B}/A), \quad (14)$$

что и требовалось доказать.

Теоремы 1, 2 и 3 свидетельствуют о симметричности вероятностного конфликта.

Теорема 4. $A \mathcal{K} B$ тогда и только тогда, когда $A \mathcal{K} \bar{B}$.

Доказательство. Необходимость утверждения теоремы следует из Теоремы 1, то есть из (2) следует (3). Докажем достаточность. Имеем неравенство (3). Из (6) можно записать

$$P(A/\bar{B}) = [P(A) - P(A/B)P(B)]/P(\bar{B}). \quad (15)$$

Из (15), (3) и (11) следует:

$$P(A/\bar{B}) > [P(A/B) - P(A/B)P(B)]/P(\bar{B}) = \{P(A/B)[1 - P(B)]\}/P(\bar{B}) = [P(A/B)P(\bar{B})]/P(\bar{B}) = P(A/B),$$

что и требовалось доказать.

Теорема 5. Если A и B конфликтуют, то выполняется следующее соотношение:

$$P(A/B) < P(A) < P(A/\bar{B}). \quad (16)$$

Доказательство. По условию теоремы выполняются неравенства (2) и (3), откуда следует левое неравенство в (16). Докажем, что при этом $P(A) < P(A/\bar{B})$.

Из (5), (2) и (6) следует:

$$P(A) = P(A/B)P(B) + P(A/\bar{B})P(\bar{B}) < P(A/\bar{B})P(B) + P(A/\bar{B})P(\bar{B}) = P(A/\bar{B})[P(B) + P(\bar{B})] = P(A/\bar{B}),$$

что и требовалось доказать.

Кроме конфликта между случайными событиями A и B может наблюдаться отношение вероятностного сотрудничества ($A \mathcal{B}$), если выполняется условие:

$$P(A/B) > P(A) \quad (17)$$

Следует отметить, что между вероятностями $P(A)$ и $P(A/B)$ кроме (3) и (17) может также наблюдаться соотношение:

$$P(A/B) = P(A). \quad (18)$$

В этом случае события A и B являются независимыми.

Элементарные свойства отношений вероятностного конфликта и сотрудничества изложим в следующих теоремах.

Теорема 6. Отношение вероятностного конфликта является антирефлексивным, то есть неверно, что $A \mathcal{K} A$.

Доказательство. Так как, то условие (3) не выполняется.

Теорема 7. Отношения вероятностного конфликта и сотрудничества являются симметричными, то есть:

а) из $A \mathcal{K} B$ следует, что $B \mathcal{K} A$;

б) из $A \mathcal{B}$ следует, что $B \mathcal{A}$.

Доказательство.

а) Следует из теоремы 2.

б) Имеем неравенство (10). Из формулы умножения для зависимых событий (6) следует:

$$P(B/A) = [P(B)P(A/B)]/P(A) \\ [P(B)P(A)]/P(A) = P(B),$$

что и требовалось доказать.

Теорема 6. Из $A \mathcal{K} B$ следует, что $\bar{A} \mathcal{K} \bar{B}$.

Доказательство. По условию теоремы имеем неравенство (3). По теореме о полной вероятности можно записать формулу (6), откуда, учитывая (3) имеем:

$$P(A) < P(A)P(B) + P(A/\bar{B})P(\bar{B}), \\ \text{или } P(A)[1 - P(B)] < P(A/\bar{B})P(\bar{B}). \quad (19)$$

Согласно одной из аксиом теории вероятности выполняется равенство (6). Из (6) и (19) следует:

$$P(A)P(\bar{B}) < P(A/\bar{B})P(\bar{B}).$$

Так как $P(\bar{B}) > 0$, то:

$$P(A) < P(A/\bar{B}). \quad (20)$$

Учитывая (6), неравенство (20) можно преобразовать:

$$1 - P(\bar{A}) < 1 - P(A/\bar{B}),$$

откуда $P(\bar{A}/\bar{B}) < P(\bar{A})$ или $\bar{A} \mathcal{K} \bar{B}$, что и требовалось доказать.

Теорема 8. Из $A \mathcal{K} B$ следует, что а) $\bar{A} \mathcal{K} \bar{B}$, б) $A \mathcal{K} \bar{B}$.

Доказательство. а) Из (3) и (6) имеем

$1 - P(\bar{A}/B) < 1 - P(\bar{A})$, откуда $P(\bar{A}/B) > P(\bar{A})$ или $\bar{B} \mathcal{K} \bar{A}$. Утверждение б) является прямым следствием неравенства (13).

Следствие. Из $A \mathcal{K} B$ следует, что а) $\bar{B} \mathcal{K} \bar{A}$, б) $\bar{B} \mathcal{K} A$, в) $B \mathcal{K} \bar{A}$.

Доказательство следует из теорем 6, 7 и 8.

Теорема 9. Отношение вероятностного конфликта нетранзитивно.

Доказательство. Достаточно найти такие события A, B и C , что $A \mathcal{K} B$, $B \mathcal{K} C$, а $A \bar{\mathcal{K}} C$.

Пусть $P(A) = 0.4$; $P(B) = 0.5$; $P(C) = 0.08$;
 $P(A/B) = 0.2$; $P(C/B) = 0.02$; $P(C/A) = 0.2$.

Тогда:

$$P(A/B) < P(A),$$

$$P(C/B) \geq P(C),$$

$$P(C/A) \geq P(C).$$

Следовательно $A \in K_B$, $B \in K_C$, но $A \notin \bar{K}_C$.

Выведены определения вероятностного и статистического конфликта для анализа функционирования технологической системы и множества статистических конфликтных решений. Предложены модели и численные схемы оценки конфликта, которые позволяют решать задачи оптимизации и выбора на множестве Парето, возникающие при исследовании функционирования стохастических технологических систем.

Данные модели могут также использоваться для анализа технологических процессов.

Литература:

1. Сысоев В.В. Конфликт. Сотрудничество. Независимость. Системное взаимодействие в структурно-параметрическом представлении: учеб. пособие для студентов вузов. М.: Изд-во Московской академии экономики и права, 1999.- 151 с.
2. Десятков Д.Б., Новосельцев В.И. Теория конфликта: учеб. пособие для студентов вузов. Воронеж: Научная книга, 2008. – 346 с.
3. Советов Б.Я., Яковлев С.А. Моделирование систем: Учебник для вузов. – 4-е изд., стер. М.: Высшая школа, 2005. – 343 с.

Глубокая очистка сточных вод от мойки легковых автомобилей с применением адсорбционных фильтров

Бусарев Андрей Валерьевич, кандидат технических наук, доцент;
 Селюгин Александр Сергеевич, кандидат технических наук, доцент;

Гареев Булат Маратович, аспирант;
 Каюмов Фаниль Фаритович, аспирант

ФГБОУ ВПО Казанский государственный архитектурно-строительный университет

При мойке легковых автомобилей образуются нефтесодержащие сточные воды концентрация нефтепродуктов в которых составляет 20–75 мг/л, а взвешенных веществ достигает 400–700 мг/л [1,2]. БПК_{полн} мочных стоков по данным Казанского государственного архитектурно-строительного университета (КГАСУ) не превышает 20 – 40 мг/л. Сточные воды от мойки автомобилей после очистки направляют в систему оборотного водоснабжения автомоек.

Поскольку мойка легковых автомобилей осуществляется, как правило, с помощью импортной техники, концентрации взвеси в очищенной воде не должна превышать 1,5 – 2 мг/л, нефтепродуктов 0,5 – 1 мг/л, а БПК_{полн} 3 – 5 мг/л.

Для очистки сточных вод от мойки легковых автомобилей применяются механические (отстаивание, гидроциклонная обработка, фильтрование) и физико-химические методы (коагуляция, флотация, сорбция) [2, 3].

Для глубокой очистки сточных вод автомоек от нефтепродуктов КГАСУ предлагает использовать адсорбционные фильтры, загруженные активированными углями, которые могут работать как в напорном, так и в безнапорном режиме. Однако, как показывает опыт КГАСУ, предпочтительнее применять напорные адсорбционные фильтры с движением воды сверху вниз.

Для изучения процессов глубокой очистки сточных вод от мойки автомобилей от нефтепродуктов в КГАСУ разработана экспериментальная установка, на которой могут испытываться различные сорбционные материалы.

Технологическая схема экспериментальной установки представлена на рисунке 1. В состав экспериментальной установки входят емкость для исходной воды 1, емкость для нефтепродуктов 2, модель адсорбционного фильтра 3, насосы, трубопроводы и запорно-регулирующая арматура.

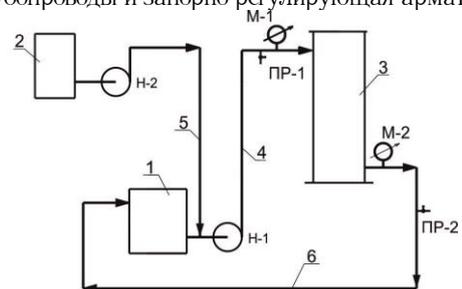


Рис. 1. Технологическая схема экспериментальной установки для глубокой очистки сточных вод от мойки легковых автомобилей

Вода из емкости 1 насосом Н–1 по трубопроводу 4 подается в модель адсорбционного фильтра 3. Насос-дозатор Н–2 подает нефтепродукты по трубопроводу 5 во всасывающую линию насоса Н–1. Очищенная вода из модели адсорбционного фильтра 3 по трубопроводу 6 под остаточным давлением подается в емкость 1.

Давление на входе в модель адсорбционного фильтра 3 контролируется с помощью манометра М–1, а на выходе из него с помощью манометра М–2. Давление на входе в адсорбционный фильтр не должно превышать 0,2 МПа. Пробы воды, поступающей на очистку, отбираются с по-

мощью пробоотборника ПР–1, а пробы очищенной воды с помощью пробоотборника ПР–2. Скорость фильтрации в модели адсорбционного фильтра не превышает 7 м/ч [3].

Данная установка позволяет исследовать различные сорбционные материалы, но, прежде всего, изучалась глубокая очистка нефтесодержащих сточных вод с использованием древесных активированных углей, которые достаточно дешевы, износоустойчивы, имеют большую сорбционную емкость [3]. Кроме того, после исчерпания сорбционной емкости активированных углей их можно не регенерировать (что является сложным в технологическом плане) а заменить их, а извлеченный уголь утилизировать (высушить, а затем сжечь).

Концентрация взвешенных веществ в сточной воде на входе в адсорбционный фильтр определялась весовым методом [4]. Концентрация нефтепродуктов в сточной воде определялась фотоколориметрическим методом [4].

Предварительные результаты экспериментальных ис-

следований с использованием активированного угля АГ-3 позволили сделать следующие выводы:

а) концентрация взвеси в воде, поступающей на очистку находилась в пределах 1,5 – 2 мг/л;

б) концентрация нефтепродуктов в воде, поступающей на очистку достигала 4,5 – 5 мг/л;

в) концентрация нефтепродуктов в очищенной воде не превышала 0,4 – 0,9 мг/л;

г) адсорбционные фильтры, загруженные активированным углем марки АГ–3, пригодны для глубокой очистки стоков от мойки для легковых автомобилей;

д) необходимо продолжить исследования в этом направлении, используя различные сорбционные материалы и изучая их физико-химические характеристики.

Важным аспектом данной научной проблемы является необходимость сравнения процессов глубокой очистки нефтесодержащих стоков с помощью адсорбционных фильтров и мембранных разделителей [5].

Литература:

1. Завьялов С.Н. Мойка автомобилей. – М.: Транспорт, 1994. – 176 с.
2. Канализация населенных мест и промышленных предприятий: справочник проектировщика/ Под ред. В.Н.Самохина. – М.: Стройиздат, 1981. – 639 с.
3. Водоотводящие системы промышленных предприятий/С.В. Яковлев [и др.] – М.: Стройиздат, 1990 – 511 с.
4. Бусарев А.В. Интенсификация очистки нефтесодержащих сточных вод с применением гидроциклонов с противодавлением на сливах: диссертация канд. техн. наук: 05.23.04: защищена 13.05.97 г. – Казань, 1997 – 244 с.
5. Исследование процессов очистки поверхностных стоков/А.Б. Адельшин [и др.] – Вода: Химия и Экология. –№8. – 2014. – С. 115–118.

Проведение ультразвукового контроля двухкомпонентного материала

Глоба Руслан Анатольевич, аспирант кафедры АКид ОИАТЭ НИЯУ МИФИ,
ведущий инженер

Филиал ОАО «Концерн Росэнергоатом» «Ленинградская АЭС» (г. Сосновый Бор, Россия)

Трофимов Максим Адольфович, доктор технических наук, профессор кафедры АКид
ОИАТЭ НИЯУ МИФИ (г. Обнинск, Россия)

В ОАО «ГНЦ НИИАР» эксплуатируется исследовательская одноконтурная реакторная установка ВК–50 кипящего типа. Корпус реактора состоит из двухкомпонентного материала (основной металл толщиной 100 мм и антикоррозионная наплавка толщиной 20 мм). В соответствии с требованиями нормативно-технической документации каждая реакторная установка имеет рабочую программу контроля металла. Одним из пунктов программы контроля металла является ультразвуковой контроль корпуса реактора.

Требованием к ультразвуковому контролю является настройка ультразвукового дефектоскопа по стандартному образцу предприятия (рис.1), с применением АРД – диаграммы (амплитуда эхо-сигнала, расстояние до несплошности, эквивалентный диаметр несплошности). Проблемой ультразвукового контроля антикоррозионной наплавки явилось то, что контроль сталей аустенитного класса не регламентируется. Также возникла сложность в том, что при проведении ультразвукового контроля доступ к корпусу реактора возможен только со стороны наплавки. Дополнительной сложностью явилось то, что металл антикоррозионной наплавки имеет большой коэффициент затухания волн в материале.

Для решения поставленных задач в соответствии с требованиями нормативно-технической документацией

был изготовлен стандартный образец предприятия из двухкомпонентного материала (рис. 1а). Настройка дефектоскопа проводилась в соответствии с руководством по эксплуатации А1212 «Мастер» Профи с помощью АРД – диаграммы. Ввод ультразвуковых колебаний происходил со стороны наплавки с применением прямого раздельно-совмещенного пьезоэлектрического преобразователя с рабочей частотой 5,0 МГц. Рабочую частоту пьезоэлектрического преобразователя взяли из нормативно-технической документации для толщины материала равную толщине наплавки 20 мм. Затем на изготовленном стандартном образце предприятия из двухкомпонентного материала выявили искусственный дефект. В результате чего, на экране дефектоскопа был обнаружен сигнал от искусственного отражателя, амплитуда которого занимала 2/3 экрана дефектоскопа (рис. 1б). Микроструктура двух компонентного материала показана на рис. 2.

Для решения проблем возникающих с наличием большого коэффициента затухания волн в материале наплавки было решено производить ультразвуковой контроль по «слоям». Настройка ультразвукового дефектоскопа А1212 «Мастер» Профи производилась по встроенным АРД - диаграммам в соответствии с руководством по эксплуатации, нормативно-технической документацией и результатами экспериментальной работы описанной выше.

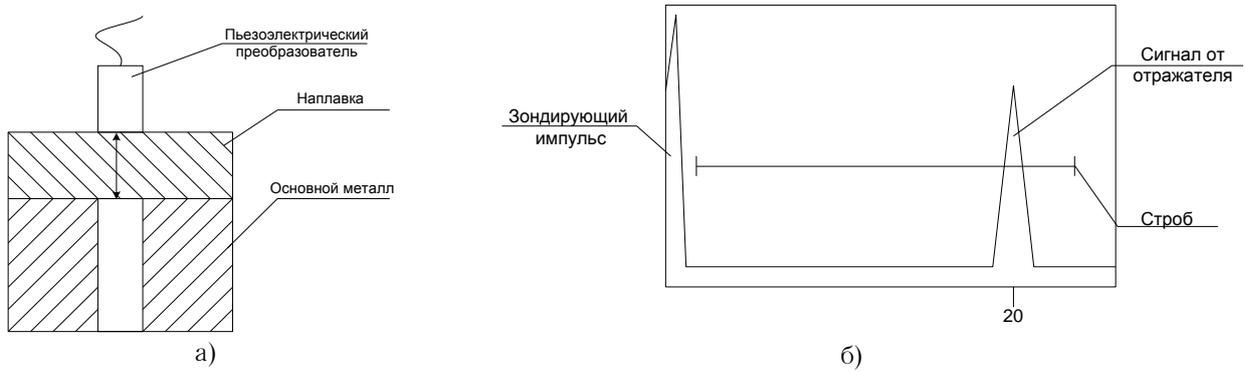


Рис. 1. Настройка ультразвукового дефектоскопа по стандартным образцам предприятия

а - распространение ультразвуковых волн в стандартном образце предприятия, б – изображение на экране ультразвукового дефектоскопа.

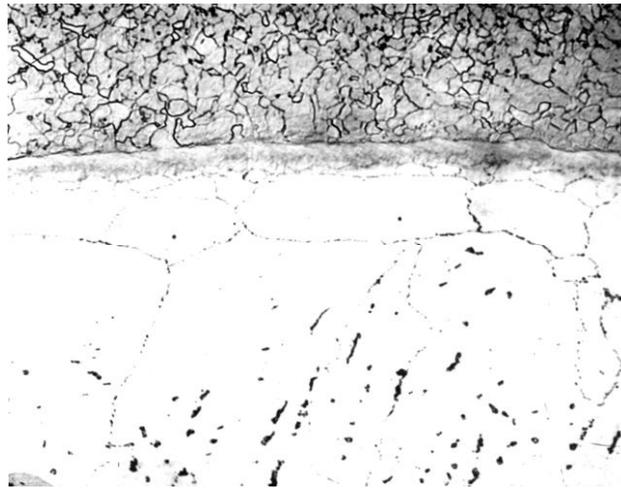


Рис. 2. Микроструктура зоны сплавления наплавки с основным металлом (увеличение в 1500 раз)

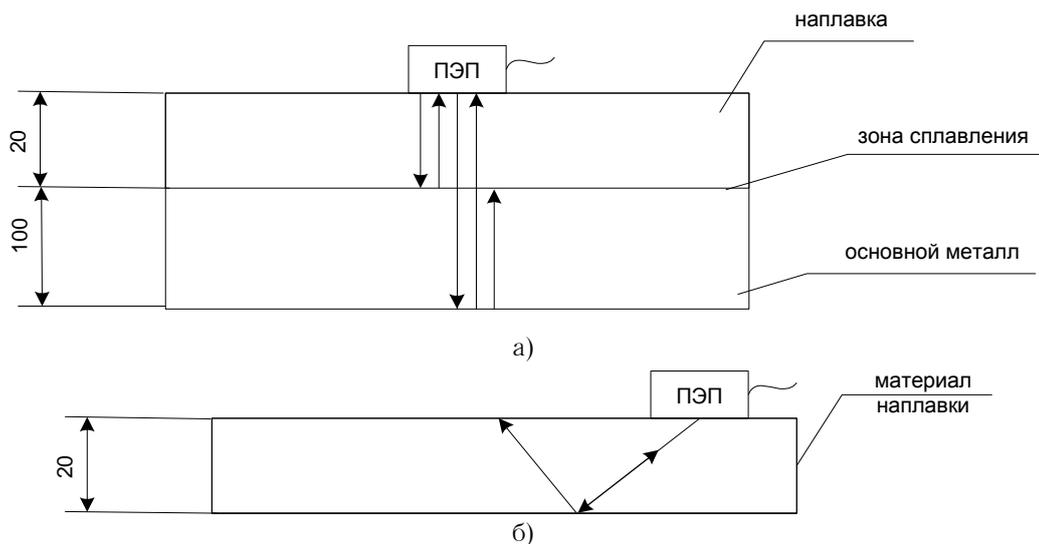


Рис. 3. Ультразвуковой контроль двухкомпонентного материала

а - распространение ультразвуковых волн в объекте контроля при использовании прямого раздельно-совмещенного преобразователя, б - распространение ультразвуковых волн в объекте контроля при использовании наклонного совмещенного преобразователя.

В процессе ультразвукового контроля двухкомпонентного материала из-за большой толщины контроль проводился на различных по глубине зонах (последний контроль) со стороны антикоррозионной наплавки. Учитывая наличие в контролируемом материале границ раздела сред (рис. 3), последний контроль был разбит на два слоя: первый «слой» - антикоррозионная наплавка, второй «слой» - основной металл. Распространение ультразвуко-

вых волн в объекте контроля показано на рисунке 3. При ультразвуковом контроле первого «слоя» использовались раздельно-совмещенный прямой пьезоэлектрический преобразователь с рабочей частотой 5 МГц и совмещенный наклонный пьезоэлектрический преобразователь с рабочей частотой 5 МГц с углом ввода 70° . В результате на экране ультразвукового дефектоскопа были получены изображения, показанные на рисунке 4а.

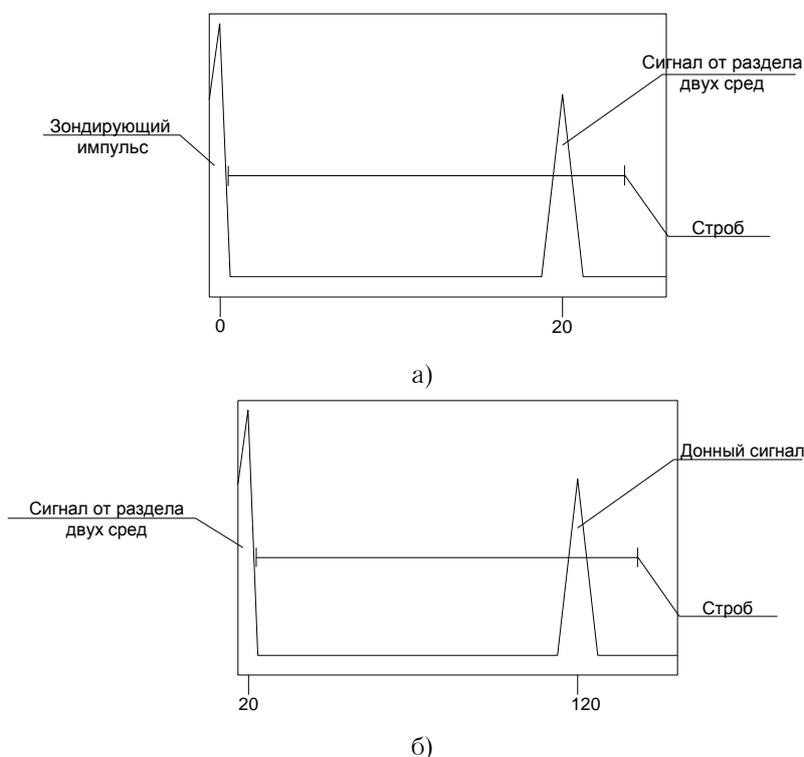


Рис. 4. Изображение на экране ультразвукового дефектоскопа при контроле

а) — первого «слоя» прямым и наклонным пьезоэлектрическими преобразователями, б) — второго «слоя» прямым пьезоэлектрическим преобразователем.

Для ультразвукового контроля второго «слоя» использовался прямой совмещенный пьезоэлектрический преобразователь с рабочей частотой 2,5 МГц. В результате на экране дефектоскопа было получено изображение, показанное на рисунке 4б.

Применение наклонного пьезоэлектрического преобразователя для ультразвукового контроля второго «слоя» не представляется возможным по причине отсутствия донного сигнала из-за многократного преломления ультразвукового луча.

Литература:

1. Н.П. Алешин, В.Г. Лупачев. «Ультразвуковая дефектоскопия. Справочное пособие» Минск, Высшая школа, 1987.
2. И. Крауткремер, Г. Крауткремер. «Ультразвуковой контроль материалов. Справочник» Москва, Металлургия, 1991.
3. «Унифицированные методики контроля основных материалов (полуфабрикатов), сварных соединений и наплавки оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. Ультразвуковой контроль. Часть II. Контроль сварных соединений и наплавки» ПНАЭ Г-7-030-91.
4. «Унифицированные методики контроля основных материалов (полуфабрикатов), сварных соединений и наплавки оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. Ультразвуковой контроль. Часть IV. Контроль сварных соединений из сталей аустенитного класса» ПНАЭ Г-7-032-91.

Исследование зависимости амплитуды акустического эхо-сигнала от температуры в зоне термического влияния сварного соединения

Глоба Руслан Анатольевич, аспирант кафедры АКид ОИАТЭ НИЯУ МИФИ, ведущий инженер

Филиал ОАО «Концерн Росэнергоатом» «Ленинградская АЭС» (г. Сосновый Бор, Россия)
Трофимов Максим Адольфович, д.т.н., профессор кафедры АКид
ОИАТЭ НИЯУ МИФИ (г. Обнинск, Россия)

Аннотация. В данной статье описывается процедура установления зависимости амплитуды акустического эхо-сигнала от температуры в зоне термического воздействия сварного соединения с помощью дефектоскопа А 1212 Мастер «ПРОФИ».

Ключевые слова: ультразвуковой дефектоскоп А 1212 Мастер «ПРОФИ», прямой раздельно-совмещенный

пьезоэлектрический преобразователь, амплитуда эхо-сигнала, средний размер зерна, металлографические исследования, зона термического воздействия сварного соединения.

Research of dependence of amplitude of an acoustic echo signal on temperature in a zone of thermal influence of welded connection

Globa Ruslan, graduate student of AKID chair, OIATE NIYaU of MEPHI, leading engineer
Rosenergoatom Concern branch of JSC "Leningrad NPP" (Sosnovy Bor, Russia)
Trofimov Maxim, Dr.Sci.Tech., professor of AKID chair
OIATE NIYaU of MEPHI (Obninsk, Russia)

Abstract. In this article procedure of establishment of dependence of amplitude of an acoustic echo signal on temperature in a zone of thermal impact of welded connection with the help of the defectoscope A 1212 Master of "PRO" is described.

Keywords: the ultrasonic defectoscope A 1212 Master of "PRO", the direct separate combined piezoelectric converter, echo signal amplitude, the average size of grain, metalgraphic researches, a zone of thermal impact of welded connection.

Введение

С середины 1990-х годов организация, эксплуатирующая российские АЭС, совместно с обеспечивающими предприятиями реализует задачи продления срока службы своих АЭС, которые в последние годы рассматриваются в контексте более широкой задачи управления сроком службы энергоблоков.

Одной из причин снижения срока службы оборудования АЭС, как показывает практика, является разрушение сварных соединений трубопроводов. Данное разрушение провоцирует одна из причин – наличие большого зерна в металле зоны термического воздействия, которое в свою очередь ведет к заметному снижению коррозионной стойкости материала. Примером вышесказанного является разрушение сварного соединения питательного трубопровода РУ ВК-50, разрушение сварного соединения канала аварийного охлаждения реактора и т.д. Разрушения сварных соединений происходят, преимущественно, в зоне термического воздействия и обусловлены наличием большого зерна в данной зоне. При выполнении сварочных работ на АЭС режимы сварки, зачастую, не соблюдаются. Это приводит к перегреву металла в сварном соединении и увеличению размеров зерен. Средний размер зерна основного металла и сварного соединения является важным конструкционным параметром.

В атомной энергетике контроль величины зерна проводят с помощью металлографических исследований. Из сварного соединения вырезаются образцы, которые в дальнейшем используются в исследовании.

Помимо разрушающего метода контроля, позволяющего определять размер зерен в металлах, в последние годы было разработано несколько ультразвуковых методов (неразрушающий метод). Эти методы основаны на измерении различных физических ультразвуковых параметров, с помощью которых можно определить размер зерна:

1. Затухание.
2. Спектр затухания.
3. Обратное рассеяние.
4. Относительное затухание.
5. Поверхностные волны Рэлея.
6. Скорость.
7. Спектральный подход.

Цель работы.

Рассмотрение влияния температуры в зоне термического воздействия сварного соединения на поведение ам-

плитуды акустического эхо-сигнала и установление зависимости с целью дальнейшего учета при определении среднего размера зерна в сварных соединениях с помощью ультразвука.

Содержание работы.

Одним из влияний на коэффициент затухания служит температура объекта контроля [1]. Зависимость коэффициента затухания от температуры описывается формулой:

$$\delta = \delta_0 [1 + K_\delta (t - t_0)], \quad (1)$$

где δ_0 – коэффициент затухания при исходной температуре t_0 ; K_δ – температурный коэффициент затухания. Изменение коэффициента затухания в зависимости от изменения температуры обусловлено вариацией коэффициента поглощения. Для твердых материалов температурный коэффициент затухания обычно положителен. Например: для углеродистой стали он равен $\sim 0,04$ Дб/град.

Для установления зависимости изменения амплитуды акустического поля от температуры были изготовлены два образца: один из стали 20 (№ 1), другой из стали 12X18H10T (№ 2). Данные образцы имели плоскопараллельные поверхности, а шероховатость поверхностей ввода и донных поверхностей была одинакова. В ходе проведения всего эксперимента изменялась только температура. Величина шероховатости поверхностей образцов была измерена с помощью измерителя шероховатости TR-100 и численно равнялась $Rz = 20$ мкм. Температура контролировалась с помощью пирометра Optris MS и численно на начальном этапе равнялась 20°C . Эскиз образцов представлен на рисунке 1.

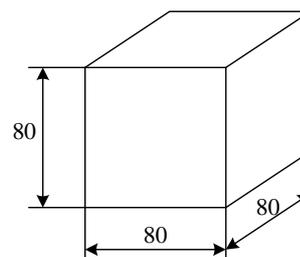


Рис. 1. Эскиз образца

Для определения рабочей частоты пьезоэлектрического преобразователя, применялось условие (2) [2, 3] с учетом формулы (3).

$$4 \leq \frac{\lambda}{d_{cp}} \leq 15, (2)$$

$$\lambda = \frac{c}{f}, \quad (3)$$

где c - скорость распространения ультразвуковой волны, f - частота ультразвука.

Как показывают многочисленные металлографические исследования сварных соединений, которые в процессе эксплуатации были разрушены, средний размер зерен в зоне термического воздействия равен 0,25 мм [4]. Рабочая частота ультразвуковых волн, с помощью которых мы можем регистрировать зерна, имеющие средний размер в диапазоне от 0,115 до 0,25 мм должна была удовлетворять ниже приведенным условиям.

Первое граничное условие:

$$4 \leq \frac{c}{fd_{cp}} \Rightarrow f \leq \frac{c}{4d_{cp}} \quad (4)$$

Второе граничное условие:

$$15 \geq \frac{c}{fd_{cp}} \Rightarrow f \geq \frac{c}{15d_{cp}} \quad (5)$$

Следовательно, рабочая частота пьезоэлектрического преобразователя (МГц) для определения среднего размера зерен металла равного 0,115 мм находится в диапазоне:

$$3,45 \leq f \leq 12,9 \quad (6)$$

Рабочая частота пьезоэлектрического преобразователя (МГц) для определения среднего размера зерен металла равного 0,25 мм находится в диапазоне:

$$1,58 \leq f \leq 5,95 \quad (7)$$

Для регистрации размеров зерен в диапазоне от 0,115 мм до 0,25 мм, с учетом условий (6) и (7) необходимо применять пьезоэлектрический преобразователь с рабочей частотой, которая должна находиться в диапазоне $3,45 \leq f \leq 5,95$. Следовательно, применяли прямой раздельно-совмещенный пьезоэлектрический преобразователь

с рабочей частотой 5 МГц.

Настройка ультразвукового дефектоскопа А 1212 Мастер «ПРОФИ» производилась с использованием временной регулировки чувствительности таким образом, чтобы временная регулировка чувствительности была линейна и постоянна на всем пути распространения ультразвука в металле образца. После подключался прямой пьезоэлектрический преобразователь с рабочей частотой 5 МГц и этот преобразователь устанавливался на образец. Изменением длительности развертки и усиления ультразвукового прибора получали на экране ультразвукового дефектоскопа изображение первого и второго донных эхо-сигналов, при этом амплитуда первого донного эхо-сигнала соответствовала 100 % размера экрана прибора.

В ходе эксперимента был произведен равномерный нагрев каждого образца в интервале от 20 до 45 °С с шагом 5 °С, который контролировался пирометром Optris MS. После каждого изменения температуры образцов с помощью ультразвукового дефектоскопа выполнялось по три измерения амплитуды второго донного эхо-сигнала на каждом из них и определялось среднее значение. Проведя одно измерение, пьезоэлектрический преобразователь смещался на величину не менее 5 мм. В результате были получены данные, которые представлены ниже на графике (рисунок 2 линия «эксперимент»). После чего была выполнена аппроксимация полученных результатов (достоверность аппроксимации $R^2 = 0,99$) и найдено уравнение, описывающее зависимость изменения амплитуды акустического сигнала от температуры (рисунок 2 линия «экспоненциальная (эксперимент)»).

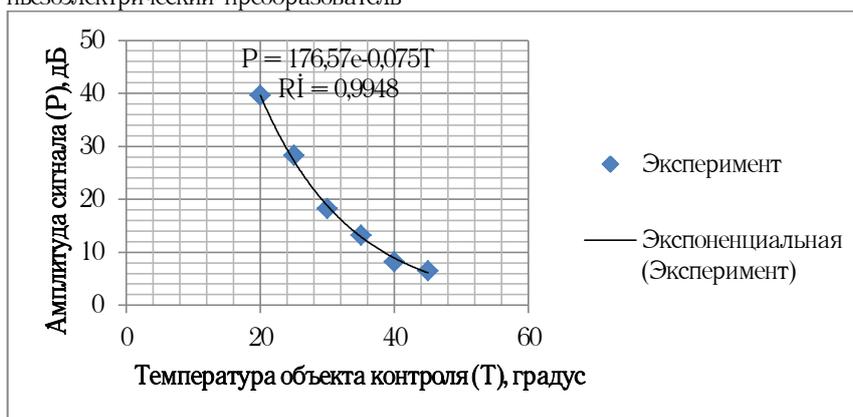


Рис. 2. Зависимость амплитуды сигнала от температуры объекта контроля

Зависимость амплитуды сигнала от температуры металла описывается уравнением приведенным ниже:

$$P = 176,57e^{-0,075T}, \quad (8)$$

где T - температура, P - амплитуда донного эхо-сигнала.

Выводы

1. С увеличением температуры металла амплитуда

второго донного эхо-сигнала уменьшается.

2. В результате проведения этой работы была установлена зависимость амплитуды акустического эхо-сигнала от температуры в зоне термического воздействия сварного соединения, которая описывается уравнением $P = 176,57e^{-0,075T}$.

Литература:

1. Щербинский В.Г. Технология ультразвукового контроля сварных соединений. — Москва, издательство «Тиссо», 2005. — 326 с.
2. Алешин Н.П., Лупачев В.Г. Ультразвуковая дефектоскопия. Справочное пособие. — Минск, издательство «Высшая школа», 1987. — 276 с.
3. ГОСТ 5639-82. Стали и сплавы. Методы выявления и определения величины зерна. — Введ. 01.01.1983. — Москва, 1994 — 24 с.
4. РД 153-34.1-17.404-00. Методика ультразвукового контроля размера зерна в пароперегревательных трубах из стали 12Х18Н12Т. — Введ. 29.12.2000. — Москва, 2001 — 8 с.

Исследование зависимости амплитуды акустического эхо-сигнала от среднего размера зерен в сварном соединении

Глоба Руслан Анатольевич, аспирант кафедры АКид ОИАТЭ НИЯУ МИФИ, ведущий инженер
Филиал ОАО «Концерн Росэнергоатом» «Ленинградская АЭС» (г. Сосновый Бор, Россия)
Трофимов Максим Адольфович, д.т.н., профессор кафедры АКид ОИАТЭ НИЯУ МИФИ (г. Обнинск, Россия)

Аннотация. В данной статье описывается процедура установления зависимости амплитуды акустического эхо-сигнала от среднего размера зерен в зоне термического воздействия сварного соединения ультразвуковым методом с помощью дефектоскопа А 1212 Мастер «ПРОФИ» и сравнение полученной информации с результатами металлографических исследований зоны термического воздействия в сварном соединении.

Ключевые слова: ультразвуковой дефектоскоп А 1212 Мастер «ПРОФИ», прямой раздельно-совмещенный пьезоэлектрический преобразователь, средний размер зерна, металлографические исследования, зона термического воздействия сварного соединения.

Research of dependence of amplitude of an acoustic echo signal on the average size of grains in welded connection

Globa Ruslan, graduate student of AKID chair OIATE NIYaU of MEPHI, leading engineer
Rosenergoatom Concern branch of JSC "Leningrad NPP" (Sosnovy Bor, Russia)
Trofimov Maxim, Dr.Sci.Tech., professor of AKID chair
OIATE NIYaU of MEPHI (Obninsk, Russia)

Abstract. In this article procedure of establishment of dependence of amplitude of an acoustic echo signal on the average size of grains in a zone of thermal impact of welded connection by an ultrasonic method by means of the defectoscope A 1212 Master of "PRO" and comparison of the received information with results of metalgraphic researches of a zone of thermal influence in welded connection is described.

Keywords: the ultrasonic defectoscope A 1212 Master of "PRO", the direct separate combined piezoelectric converter, the average size of grain, metalgraphic researches, a zone of thermal impact of welded connection.

Введение.

С середины 1990-х годов организация, эксплуатирующая российские АЭС, совместно с обеспечивающими предприятиями реализует задачи продления срока службы своих АЭС, которые в последние годы рассматриваются в контексте более широкой задачи управления сроком службы энергоблоков.

Одной из причин снижения срока службы оборудования АЭС, как показывает практика, является разрушение сварных соединений трубопроводов. Данное разрушение провоцирует одна из причин – наличие большого зерна в металле зоны термического воздействия, которое в свою очередь ведет к заметному снижению коррозионной стойкости материала. Примером вышесказанного является разрушение сварного соединения питательного трубопровода РУ ВК-50, разрушение сварного соединения канала аварийного охлаждения реактора и т.д. Разрушения сварных соединений происходят, преимущественно, в зоне термического воздействия и обусловлены наличием большого зерна в данной зоне. При выполнении сварочных работ на АЭС режимы сварки, зачастую, не соблюдаются. Это приводит к перегреву металла в сварном соединении и увеличению размеров зерен. Средний размер зерна основного металла и сварного соединения является важным конструкционным параметром.

В атомной энергетике контроль величины зерна проводят с помощью металлографических исследований. Из сварного соединения вырезаются образцы, которые в

дальнейшем используются в исследовании.

Помимо разрушающего метода контроля, позволяющего определять размер зерен в металлах, в последние годы было разработано несколько ультразвуковых методов (неразрушающий метод). Эти методы основаны на измерении различных физических ультразвуковых параметров, с помощью которых можно определить размер зерна:

1. Затухание.
2. Спектр затухания.
3. Обратное рассеяние.
4. Относительное затухание.
5. Поверхностные волны Рэлея.
6. Скорость.
7. Спектральный подход.

В настоящее время существуют нормативные документы (ГОСТ, ОСТ), регламентирующие процедуру определения среднего размера зерна только основного металла с помощью ультразвукового метода. Определение же среднего размера зерна в сварных соединениях с помощью ультразвука нормативно-техническими документами не регламентируется и, как следствие, на АЭС не проводится.

Цель работы.

Установление зависимости амплитуды акустического эхо-сигнала от среднего размера зерен в зоне термического воздействия сварного соединения ультразвуковым методом с целью дальнейшего продления срока эксплуатации трубопроводов и оборудования АЭС.

Содержание работы.

Рассмотрим формирование структуры зоны термического воздействия сварного соединения.

Теплота, выделяемая сварочным источником нагрева, распространяется на прилегающие ко шву участки основного металла. При нагреве и последующем остывании в этих участках изменяются структура и свойства металла. Участок основного металла, подвергающийся в процессе сварки нагреву до температуры, при которой происходят видимые или невидимые структурные изменения, называют зоной термического воздействия (околошовной зоной). Наряду с тепловым воздействием основной металл околошовной зоны, как правило, претерпевает и пластическую деформацию.

Температура нагрева различных участков зоны термического воздействия находится в пределах от точки плавления металла (у шва) до начальной температуры основного металла. Строение и размеры зоны термического воздействия зависят от химического состава и теплофизических характеристик свариваемого материала, а также от термического цикла сварки.

Зона термического воздействия является обязательным спутником шва при всех видах электрической сварки плавлением. Ширина ее изменяется в достаточно широких пределах в зависимости от способа и режима сварки, состава и толщины основного металла и ряда других факторов. Меньшая ширина зоны относится к условиям сварки, характеризующимся большим перепадом температур.

На рисунке 1 приведена схема строения зоны термического воздействия при сварке однослойного стыкового шва на конструкционных сталях.

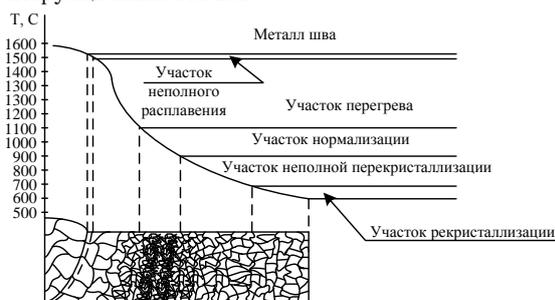


Рис. 1. Схема строения ЗТВ сварного соединения

Рассмотрим на этом примере структурные превращения в околошовной зоне. Первый участок зоны примыкает непосредственно к металлу шва. Основной металл на этом участке находится в твердой жидком состоянии. Здесь и происходит собственно сварка, т.е. формирование кристаллитов шва на частично оплавленных зернах основного металла. Участок имеет небольшую ширину. По своему составу и структуре он отличается от соседнего участка основного металла. За время контакта жидкой и твердой фаз в нем протекают диффузионные процессы и развивается химическая неоднородность.

Совокупность первого участка околошовной зоны и прилегающего участка металла шва именуют зоной сплавления или переходной зоной (зона неполного расплавления). Свойства переходной зоны оказывают подчас решающее влияние на работоспособность сварной конструкции. На этом участке часто образуются трещины, межкристаллитная коррозия, усталостные разрушения при вибрационной нагрузке, хрупкие разрушения и т. п. Поэтому дальнейшее изучение свойств переходной зоны представляет первостепенный интерес. Ширина переходной зоны зависит от природы

источника нагрева, теплофизических свойств, состава и толщины (до определенных пределов) основного металла, режима сварки и других факторов.

Второй участок околошовной зоны, получивший название участка перегрева (участка крупного зерна), включает металл, нагретый до температуры примерно 1200°C до температуры плавления. Металл на этом участке претерпевает аллотропические превращения. При нагреве α -железо переходит в γ -железо, причем в результате значительного перегрева происходит рост аустенитного зерна.

Характер вторичной структуры металла на этом участке зависит от его состава и термического цикла сварки. Обычно, особенно в тех случаях, когда перегрев сочетается с последующей закалкой, металл на втором участке околошовной зоны обладает худшими свойствами (меньшая пластичность, меньшая стойкость против перехода в хрупкое состояние), чем основной металл вне зоны термического влияния. Задача выбора рациональной технологии сварки сводится в первую очередь к обеспечению наименьшего ухудшения свойств металла на этом участке.

Третий участок околошовной зоны получил название участка перекристаллизации (нормализации). Он включает металл, приобретший в процессе нагрева полностью аустенитную структуру.

Четвертый участок околошовной зоны, получивший название участка неполной перекристаллизации, включает металл, нагретый от температуры, при которой во время нагрева начинаются аллотропические превращения (720°C), до температуры около 880°C. Металл на этом участке подвергается только частичной перекристаллизации. Поэтому здесь наряду с зернами основного металла, не изменившимися в процессе сварки, присутствуют зерна, образовавшиеся при перекристаллизации. Изменения структуры металла на этом участке значительно меньше влияют на качество сварного соединения.

На пятом участке околошовной зоны, именуемом участком старения при рекристаллизации, металл нагревается от температуры примерно 500°C до температуры несколько ниже температуры 720°C. Здесь происходит срашивание раздробленных при нагартовке (ковке, прокатке) зерен основного металла и некоторое разупрочнение его по сравнению с исходным состоянием. Снижение прочности наблюдается также при сварке основного металла, подвергнувшегося упрочняющей термообработке.

Выше была описана схема строения зоны термического воздействия при однопроходной сварке конструкционных сталей. При сварке других металлов и сплавов характер структур в околошовной зоне может быть другим.

При многопроходных швах строение околошовной зоны другое. При сварке длинными участками, когда ко времени формирования последующего прохода металл успел остыть до температуры окружающей среды, различие проявляется в менее четком строении околошовной зоны по всему сечению, кроме участка, расположенного у последнего слоя. Это обусловлено повторным термическим воздействием источника нагрева при наложении последующего слоя. При сварке короткими участками околошовная зона длительное время находится при малоизменяющейся температуре, что приводит к замедленному ее остыванию и соответствующему изменению ширины и строения.

Под влиянием теплового и деформационного воздействия сварочного процесса может наблюдаться ухудшение свойств металла зоны термического воздействия по сравнению со свойствами основного металла. Принятый техно-

логический процесс сварки должен обеспечивать по возможности оптимальные условия формирования этой зоны и получение необходимого и достаточного качества металла на этом участке, от которого в значительной мере зависит работоспособность сварных конструкций.

Изучив влияние теплового воздействия сварочного процесса, возникает необходимость в определении размеров зерен, а, следовательно, и решению частной задачи в установлении зависимости давления (амплитуды) акустического поля от среднего размера зерен.

Для установления зависимости изменения амплитуды акустического сигнала от среднего размера зерен металла были изготовлены четыре образца из стали 20 (№№ 1, 2, 3 и 4) и четыре образца из стали 12Х18Н10Т (№№ 5, 6, 7, и 8), которые имели плоскопараллельные поверхности.

С целью исключения влияния на результат температуры объекта контроля, шероховатости двух поверхностей (поверхность ввода и донная поверхность) все перечисленные параметры остаются постоянными. Величина шероховатости поверхностей образцов была измерена с помощью измерителя шероховатости TR-100 и численно равнялась $R_z = 20$ мкм. Температура контролировалась с помощью пирометра Optris MS и численно равнялась 20°C . Эскиз образцов представлен на рисунке 2.

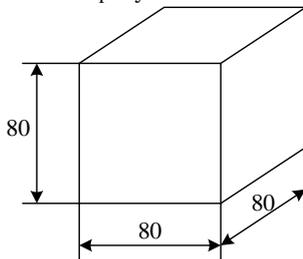


Рис. 2. Эскиз образца

Для определения среднего размера зерен металла из каждого образца было вырезано по одному темплету. В дальнейшем на поверхности каждого темплета был выполнен шлиф, площадью сечения $2,0 \text{ см}^2$. Используя метод травления, были выявлены границы зерен, а в дальнейшем методом подсчета зерен были определены размеры зерен по ГОСТ 5639-82. В результате металлографических исследований были установлены следующие величины размеров зерен металла образцов: образец № 1 – 0,25 мм, образец № 2 – 0,12 мм, образец № 3 – 0,135 мм, образец № 4 – 0,15 мм, образец № 5 – 0,115 мм, образец № 6 – 0,155 мм, образец № 7 – 0,235 мм и образец № 8 – 0,19 мм.

Для определения рабочей частоты пьезоэлектрического преобразователя, применялось условие (1) с учетом формулы (2).

$$4 \leq \frac{\lambda}{d_{\text{cp}}} \leq 15, \quad (1)$$

$$\lambda = \frac{c}{f}, \quad (2)$$

где c – скорость распространения ультразвуковой волны, f – частота ультразвука.

Средний размер зерен в зоне термического воздействия в сварном соединении, при котором происходит разрушение сварного соединения, равен 0,25 мм. Рабочая частота ультразвуковых волн, с помощью которых мы можем регистрировать зерна, имеющие средний размер в диапазоне от 0,115 до 0,25 мм должна была удовлетворять ниже приведенным условиям.

Первое граничное условие:

$$4 \leq \frac{c}{f d_{\text{cp}}} \Rightarrow f \leq \frac{c}{4 d_{\text{cp}}} \quad (3)$$

Второе граничное условие:

$$15 \geq \frac{c}{f d_{\text{cp}}} \Rightarrow f \geq \frac{c}{15 d_{\text{cp}}} \quad (4)$$

Следовательно, рабочая частота пьезоэлектрического преобразователя (МГц) для определения среднего размера зерен металла равного 0,115 мм находится в диапазоне:

$$3,45 \leq f \leq 12,9 \quad (5)$$

Рабочая частота пьезоэлектрического преобразователя (МГц) для определения среднего размера зерен металла равного 0,25 мм находится в диапазоне:

$$1,58 \leq f \leq 5,95 \quad (6)$$

Для регистрации размеров зерен в диапазоне от 0,115 мм до 0,25 мм, с учетом условий (5) и (6) необходимо применять пьезоэлектрический преобразователь с рабочей частотой, которая должна находиться в диапазоне $3,45 \leq f \leq 5,95$. Следовательно, применяли прямой раздельно-совмещенный пьезоэлектрический преобразователь с рабочей частотой 5 МГц.

Настройка ультразвукового дефектоскопа А 1212 Мастер «ПРОФИ» производилась с использованием временной регулировки чувствительности таким образом, чтобы временная регулировка чувствительности была линейна и постоянна на всем пути распространения ультразвука в металле образца. После подключения прямой пьезоэлектрический преобразователь с рабочей частотой 5 МГц и этот преобразователь устанавливался на образец. Изменением длительности развертки и усиления ультразвукового прибора получали на экране ультразвукового дефектоскопа изображение первого и второго донных эхо-сигналов, при этом амплитуда первого донного эхо-сигнала соответствовала 100 % размера экрана прибора.

На каждом образце производилось по три измерения амплитуды второго донного эхо-сигнала. После каждого измерения пьезоэлектрический преобразователь смещался на величину не менее 5 мм. Усредненные результаты эксперимента представлены ниже на графике (рисунок 3 линия «эксперимент»). После чего была выполнена аппроксимация полученных результатов (достоверность аппроксимации $R^2 = 0,97$) и найдено уравнение, описывающее зависимость изменения амплитуды акустического сигнала от величины среднего размера зерна металла (рисунок 3 линия «экспоненциальная (эксперимент)»).

Зависимость амплитуды сигнала от среднего размера зерен металла описывается уравнением приведенным ниже:

$$P = 3707,4e^{-32,6D}, \quad (7)$$

где D – средний размер зерен, P – амплитуда донного эхо-сигнала.

Выводы

1. С увеличением размера зерен металла амплитуда второго донного эхо-сигнала уменьшается.

2. В результате проведения этой работы была установлена зависимость амплитуды акустического эхо-сигнала от среднего размера зерен в зоне термического воздействия сварного соединения ультразвуковым методом, которая описывается уравнением $P = 3707,4e^{-32,6D}$.

3. При ремонте оборудования и трубопроводов АЭС рассмотреть возможность использования ультразвукового метода для определения размеров зерен в зоне термического воздействия сварного соединения с целью подтверждения соблюдения режимов сварки.

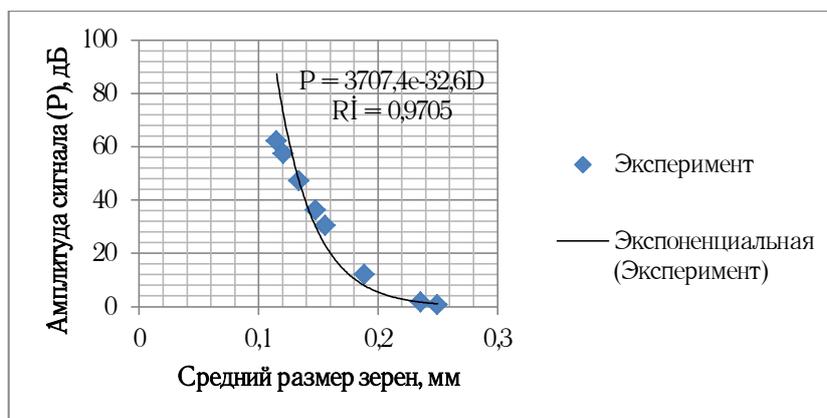


Рис. 3. Зависимость амплитуды сигнала от среднего размера зерен

Литература:

1. Алешин Н.П., Лупачев В.Г. Ультразвуковая дефектоскопия. Справочное пособие. — Минск, издательство «Высшая школа», 1987. — 276 с.
2. ГОСТ 5639-82. Стали и сплавы. Методы выявления и определения величины зерна. — Введ. 01.01.1983. — Москва, 1994 — 24 с.
3. Крауткремер Й., Крауткремер Г. Ультразвуковой контроль материалов. — Москва, издательство «Металлургия», 1991. — 673 с.
4. Кретов Е.Ф. Ультразвуковая дефектоскопия в энергомашиностроении. — Санкт-Петербург, издательство Радиоавионика, 1995. — 317 с.
5. РД 153-34.1-17.404-00. Методика ультразвукового контроля размера зерна в пароперегревательных трубах из стали 12X18H12T. — Введ. 29.12.2000. — Москва, 2001 — 8 с.
6. Щербинский В.Г. Технология ультразвукового контроля сварных соединений. — Москва, издательство «Тиссо», 2005. — 326 с.

Схема численной оптимизации с приложением к локализации нулей полиномов

Заика Ирина Викторовна, кандидат технических наук, доцент
Таганрогский институт имени А.П. Чехова,

(филиал) Ростовского государственного экономического университета (РИНХ) (г. Таганрог)

Ключевые слова: Численная оптимизация, сортировка, нули полинома, кратность.

Излагается метод программной локализации экстремумов функций и нулей полиномов с учетом их кратности. Для этого применяется схема сортировки с взаимно однозначным соответствием входных и выходных индексов сортируемых элементов [5, с. 255]. Пусть вначале рассматривается функция одной действительной переменной $y = f(x)$ у которой требуется определить все нули на произвольно заданном промежутке, входящем в область ее определения. Строится равномерная сетка. В узлах сетки считываются значения функции, они принимаются за элементы сортируемого массива

$$c[i] = f(x_{i-1}), \quad i = \overline{1, n}. \quad (1)$$

Массив (1) сортируется. Для определенности взята сортировка слиянием изложенной в [1, с. 50]. Тогда условие локализации всех минимальных элементов последовательности (1) примет вид

$$|e[k-1] - e[k]| > \varepsilon, \quad l = \overline{1, k-1}, \quad (2)$$

где $e[k]$ — элемент массива индексов на выходе сортировки. Смысл условия (2) в том, что в ε -окрестности входного элемента с индексом $e[k]$ нет элемента в отсортированном массиве, превосходящего элемент с этим индексом. Присоединение условия локализации к программе сортировки массива (2) дает устойчивую локализацию минимумов функции $f(x)$ [2, с. 35]. Для локализации и вычисления нулей функции (1) достаточно на вход сортировки подать абсолютные величины ее значений на равномерной сетке $c[i] = |f(x_{i-1})|$, $i = 1, 2, \dots, n$, и искать минимумы описанным выше способом.

Для нахождения всех экстремумов действительной функции двух действительных переменных

$$z = f(x, y) \quad (3)$$

в области ее определения первоначально задаются текущие промежутки с границами $[x^{(0)}, x^{(N)}]$ и $[y^{(0)}, y^{(M)}]$. Внутри ограниченных ими прямоугольников строится равномерная прямоугольная сетка:

$$h = |x^{(N)} - x^{(0)}| / N, x_\ell = x^{(0)} + \ell h, \ell = 0, 1, \dots, N, y_\ell = y^{(0)} + \ell h, \ell = 0, 1, \dots, M.$$

Для нахождения минимумов функции (3) выполняется проход в направлении оси OY вдоль j -го столбца прямоугольной сетки, во время которого находится минимальное по строкам значение $c[j] = \min f(x_i, y_i)$ ($1 \leq i \leq M$) этот минимум заносится на вход сортировки как j -й элемент сортируемого одномерного массива [4, с. 23]. К выходу процедуры подсоединяется оператор локализации минимума, представленный выше.

Значение локализованной абсциссы точки минимума $xk := x0 + e[k] * h$ дает привязку к локализуемой точке двумерного минимума, она фиксируется и аналогичным образом локализуется ордината, в которой достигается приближение к минимальному значению функции (3). Нули функции (3) вычисляются по описанной для минимумов схеме, если на вход метода подать

$$\tilde{z} = |f(x, y)|. \quad (4)$$

Все локализованные минимумы модуля исследуемой функции (4) будут включать ее нули [3, с. 28].

Представленный метод применяется к вычислению нулей полиномов с учетом кратности. Будем рассматривать полином $P_n(z) = \sum_{\ell=0}^n a_\ell z^\ell$, у которого могут быть комплексные нули и комплексные коэффициенты. Умножив его на комплексно-сопряженное значение, получим функцию $f(x, y) = |P_n(z)|^2$. Очевидно, нахождение нулей $P_n(z)$ сводится к нахождению нулей функции $f(x, y)$ от двух действительных переменных. Таким образом, комплексные нули многочленов ищутся как минимумы модуля этих полиномов по схеме, описанной для (4) [6, с. 320].

Вычисление кратности нулей полиномов и функций базируется на циклическом возобновлении схемы нахождения нулей функции после деления исходной функции на выражение $p := p * ((x - kor x)^2 + (y - kor y)^2)$, где число шагов цикла равно текущему счетчику кратности, а $kor x + i * kor y$ — текущий корень. Если $p \rightarrow 0$, деление исходной функции производится на другое, отличное от близкого к нулю, циклически подсчитываемое выражение $pp := pp * eps$, где число шагов цикла совпадает с текущим значением кратности найденных нулей, а eps — наперед заданная погрешность вычислений. Если минимум метрики достаточно мал, то нуль повторился, его кратность увеличивается на единицу и производится деление функции на выражение p или pp с рекуррентным возвращением программы к началу, иначе запоминается кратность и выполняется переход к следующему фиксированному нулю до тех пор, пока не будет установлена кратность каждого. Описанным образом находятся все нули исходного полинома и указывается их кратность [3, с. 37].

Численный эксперимент вычисления нулей полинома по предложенной схеме выявляет ее устойчивость, а также повышенную точность вычисления нулей полиномов более высокой степени, нежели в Mathcad.

Литература:

1. Заика И.В. Разработка и исследование схем оптимизации на основе алгоритмов сортировки с приложением к идентификации экстремумов решений дифференциальных уравнений Заика И.В. диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Таганрог, 2007.
2. Заика И.В., Ромм Я.Е. Метод нахождения экстремумов решений дифференциальных уравнений на основе адресной сортировки Заика И.В., Ромм Я.Е. депонированная рукопись № 908-B2003 12.05.2003.
3. Ромм Я.Е., Заика И.В. Программная локализация экстремумов функций и разностных приближений решений дифференциальных уравнений. Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. 2005. № М. С. 55.
4. Ромм Я.Е., Заика И.В. Численная оптимизация на основе сортировки с приложением к поиску нулей и экстремумов решений систем дифференциальных и нелинейных уравнений общего вида Ромм Я.Е., Заика И.В. депонированная рукопись № 378-B2009 18.06.2009.
5. Ромм Я.Е., Заика И.В., Лабинцева А.А. Безусловная численная оптимизация при вариации параметров. I Депонированная рукопись № 193-B2008 04.03.2008.
6. Romm Y.E., Zaika I.V. Numerical sorting-based optimization as applied to general differential and nonlinear equations Romm Y.E., Zaika I.V. Cybernetics and Systems Analysis. 2011. T. 47. № 2. С. 316-329.

Алгоритмы обнаружения и распознавания простого объекта на изображениях

Козловский Антон Николаевич, магистр технических наук, ассистент
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники (г. Минск)

Предлагаются математические модели объекта изображения – элементарный и простой объекты. Рассматриваются разработанные автором алгоритмы обнаружения и распознавания простого объекта на изображениях. Их отличительной особенностью является инвариантность относительно проективного искажения. Это достигается путем представления вершины угла границы объекта изображения в качестве его характерной черты.

Ключевые слова: вершина угла; проективное преобразование; объект изображения.

Введение. В последние десятилетия значительный прогресс в развитии систем дистанционного зондирования, технического зрения, а также аппаратного и программного обеспечения сделал возможным практическое использование различных автоматизированных систем, направленных на поддержку принятия решений. Алгоритмы цифровой обработки изображений находят все более широкое применение в научных и прикладных исследованиях в различных областях. Одной из важнейших задач цифровой обработки изображений является разработка алгоритмов обнаружения и распознавания объекта на изображениях, что является ключевым этапом решения различных задач. Поэтому разработка алгоритмов обнаружения и распознавания объекта на изображениях актуальна в научном и практическом плане.

Алгоритмы обнаружения и распознавания объекта на изображениях используются при решении задачи совмещения изображений, а также находят широкое применение в системах технического зрения.

Аффинное преобразование является частным случаем проективного преобразования (подгруппа) [1]. Поэтому аффинная инварианта не сохраняет свои свойства при условии проективного искажения, а проективная инварианта сохраняет их в случае аффинного искажения. Как следствие разработка алгоритмов обнаружения и распознавания объекта на изображениях инвариантных относительно проективного искажения актуальна.

Целью статьи является разработка алгоритмов обнаружения и распознавания простого объекта на изображениях инвариантных относительно проективного искажения.

Простой объект изображения. Задача сегментации изображения заключается в разбиении изображения на отдельные области [2]. Данная задача является некорректно поставленной, так как ее решение не единственное [3]. Изображение необходимо разбивать на части со сходными свойствами, например контуры.

Пусть функция $(\epsilon_1, \epsilon_2) \in \mathbf{R}^2$ — это изображение I . Под объектом (областью) O на изображении I будем понимать область определения: $\Omega \subset \mathbf{R}^2$.

Под контуром Γ на изображении I будем понимать связанное множество его отсчетов: $\Gamma = \{n_j, i=0, \dots, k-1, k \in \mathbf{N}, k > 0$.

Под замкнутым контуром Γ_Ω на изображении I будем понимать контур Γ , у которого начальный и конечный отсчеты совпадают.

Замкнутый контур Γ_Ω соответствует границе области (объекта) O изображения, так как граница конечной области образует замкнутый путь: $\Gamma_\Omega \Leftrightarrow O$. Подробно задача выделения контура как границы объекта изображения рассмотрена в работе Я. А. Фурмана [4].

Определение 1. Пусть нам дано изображение I , множество всех его замкнутых контуров $\mathcal{X} = \{X_i, i=0, \dots, k-1, k \in \mathbf{N}, k > 0$, а также объект O изображения I . Под декомпозиционным множеством замкнутых контуров Y объекта O будем понимать подмножество X' множества X . Здесь множество X' — это множество всех замкнутых контуров объекта O .

Определение 2. Пусть нам даны изображение I , множество всех его замкнутых контуров $\mathcal{X} = \{X_i, i=0, \dots, k-1, k \in \mathbf{N}, k > 0$, объект O . $\Gamma_\Omega \Leftrightarrow O, \Gamma_\Omega \in X$ и декомпозиционное множеством замкнутых контуров Y объекта O , $\Gamma_\Omega \in Y$. Тогда объект O является элементарным объектом e' на изображении I , если:

1. мощность множества Y равна единице: $q = 1$;

2. множество Y не пересекается с множеством Y' любого другого объекта O' исходного изображения $I \cap Y' = \emptyset$.

Определение 3. Пусть нам даны изображение I , множество всех его замкнутых контуров $\mathcal{X} = \{X_i, i=0, \dots, k-1, k \in \mathbf{N}, k > 0$, объект O . $\Gamma_\Omega \Leftrightarrow O, \Gamma_\Omega \in X$ и декомпозиционное множеством замкнутых контуров Y объекта O , $\Gamma_\Omega \in Y$. Тогда объект O является простым объектом p' на изображении I , если:

1. мощность множества Y равна единице: $q = 1$.

Обнаружение и распознавание простого объекта на изображениях. Рассмотрим разработанные автором алгоритмы обнаружения и распознавания простого объекта на изображениях (Ag. 1 и Ag. 2) [5, 6] более подробно.

Известно большое количество алгоритмов обнаружения различных объектов на изображениях [7–11]. При этом фактически все они направлены на решение той или иной практической задачи и сводятся к вычислению функции схожести заданного объекта (эталоны) с наблюдаемым изображением и последующему сравнению ее с порогом, т. е. реализуется метод сопоставления с эталоном.

В основе алгоритма Ag. 1 лежит декомпозиция произвольного контура бинарного изображения на контуры и замкнутые контуры, позволяющая обнаруживать простые объекты произвольной формы по их площади (анализ размера длины границы Γ_Ω простого объекта). Задача декомпозиции произвольного контура бинарного изображения на контуры и замкнутые контуры связана с задачей обнаружения его начального отсчета a_0 . Текущий подход к обнаружению начального отсчета a_0 контура бинарного изображения основан на выделении первого встретившегося отсчета контура при сканировании изображения. Он не позволяет выполнять декомпозицию произвольного контура на контуры и замкнутые контуры с приемлемой трудоемкостью.

Особенность алгоритма Ag. 1 состоит в том, что он выполняет обнаружения замкнутого контура бинарного изображения Γ_Ω путем задания в качестве начального отсчета a_0 прослеживания линии произвольного контура Γ — вершины угла v ему принадлежащей. При этом работа алгоритма Ag. 1 не зависит от вида алгоритма прослеживания линии контура бинарного изображения.

Алгоритм обнаружения простого объекта на изображении на основе декомпозиции произвольного контура бинарного изображения состоит из следующих шагов (Ag. 3):

Шаг 1. Произвести выделение контура как границы объекта исходного изображения;

Шаг 2. Сформировать множество $\mathcal{X} = \{X_i, i=0, \dots, k-1, k \in \mathbf{N}, k > 0$ замкнутых контуров Γ_Ω ;

Шаг 3. Произвести идентификацию простого объекта p' .

Выделение контура на исходном изображении может выполняться на основе произвольного алгоритма выделения контура. Ширина контура равняется одному отсчету изображения.

В основе обнаружения начального отсчета a_0 контура бинарного изображения лежит разработанный автором алгоритм выделения отсчета бинарного изображения претендентом на вершину угла (Ag. 4) [12]. При этом разработанные автором правила обнаружения замкнутого контура бинарного изображения [5] хорошо дополняют алгоритм Ag. 4. Поэтому алгоритм обнаружения замкнутого контура бинарного изображения отличает простота реализации.

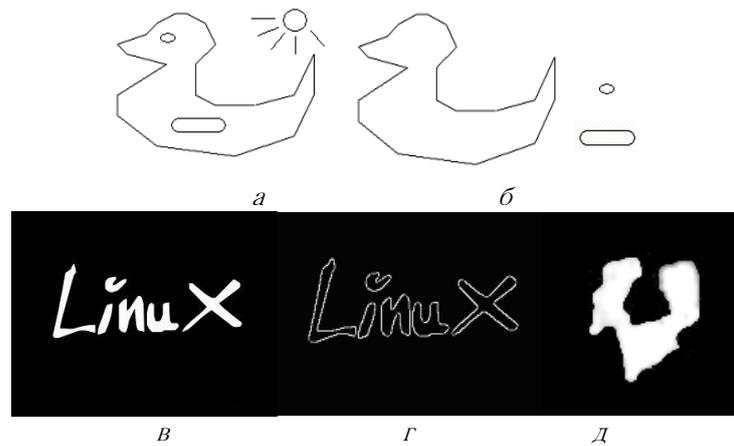


Рис. 1. Примеры элементарного и простого объектов изображения:
а – изображение I_1 ; *б* – множество Y объекта «утинок» изображения I_1 ; *в* – изображение I_2 ; *г* – изображение I_2 , представленное в бинарном виде; *д* – элементарный простой объект изображения

Идентификация простого объекта $p/$ выполняется путем представления каждого из обнаруженных замкнутых контуров Γ_Ω в виде множества Y . Для простого объекта $p/$ мощность множества Y равна единице: $q = 1$. При этом декомпозиция границы как элементарного, так и простого объектов на множество контуров $X_i\{x_j\}, i=0, \dots, m-1$ и множество замкнутых контуров $X_j\{x_j\}, j=0, \dots, n-1$, где $n \geq 1$ и $m \geq 1, n, m \in \mathbf{N}$ не существует. Это обусловлено эффектом ложного контура [2] который, в свою очередь, вызван нечеткостью границы фон-объект изображения и использованием недостаточного числа градаций значения интенсивности в областях плавных переходов полутонов.

Рассмотрим разработанный автором алгоритм распознавания простого объекта на изображениях, который является улучшением алгоритма Ag. 2. Их отличительными особенностями являются представление вершины угла простого объекта изображения в качестве характерной черты формы его границы и предложенный подход к формированию признака изображения.

Алгоритм распознавания простого объекта на изображении состоит из следующих шагов (Ag. 5):

Шаг 1. Произвести нормализацию исходного изображения;

Шаг 2. Обнаружить вершину угла v простого объекта $p/$;

Шаг 3. Вычислить вектор признаков u простого объекта $p/$;

Шаг 4. Произвести классификацию простого объекта $p/$.

Нормализация положения простого объекта $p/$ в пространстве изображения выполняется путем нормировки его положения относительно центра изображения.

Часто в роли характерной черты изображения выступает вершина угла его объекта. Проективное преобразование сохраняет вершину угла, кроме случаев превращения угла преобразованием в угол $0, \pi$ и 2π (рад). В ходе тестирования использовался разработанный автором алгоритм обнаружения вершины угла на изображении [12].

Характерной особенностью формируемого (триплетного) признака изображения является его структура в виде композиции трех функционалов: $\Pi(I) = \Phi \circ P \circ T(I(\rho, p, \vartheta))$, где каждый функционал (Φ, P и T) действует на функции одной переменной (ρ, p и ϑ). Подробно теория триплетных признаков изображения рассмотрена в работе Н. Г. Федотова [13].

В рассматриваемом нами случае компактность и линейная разделимость классов достигаются путем анализа формы границы Γ_Ω простого объекта $p/$ на основе контурного анализа. Обработка триплетных функционалов выполняется диаметральными функционалами, отвечающими за переход от обработки триплетных признаков к круговым трансформантам. Задача данного перехода и вычисления триплетного признака $\Pi(I)$ изображения сводится к задаче аппроксимации диаметральной и круговой трансформант (плоских кривых) различными числовыми характеристиками функций. Оценка подобия изображений выполняется исходя из совпадения аппроксимативного представления круговых трансформант – плоских кривых с периодом 2π .

Аппроксимация круговой трансформанты возможна на основе различных числовых характеристик функций, а также спектральных алгоритмов, например, преобразования Фурье, Уолша – Адамара и др. Отметим, что точное восстановление сигнала после прямого и обратного преобразований Фурье невозможно. При этом отдельные особенности сигнала (например, пики) «размазываются» по всей частотной оси, что делает их обнаружение по спектру практически невозможным [14].

Ниже представлена система триплетных, диаметральных и круговых функционалов. Отметим, что автором разработаны следующие функционалы: $T_2, P_3 - P_3$ и $\Phi_1 - \Phi_2$.

Триплет-функционалы:

– $T_1: \int l(t) dt$ – интеграл вдоль прямой l ;

– $T_2: k \Sigma v_i$ – количество вершин углов простого объекта $p/$ при его пересечении с прямой l , где v_i – вершина угла, а k – коэффициент, значение которого принимается равным 100.

Диаметральные функционалы:

– $P_1: 1/N \int I(\rho) d\rho$ – среднее значение функции $I(\rho)$;

– $P_2: \max\{I(\rho)\}$ – максимум функции $I(\rho)$;

– $P_3: \min\{m_i\}$ – минимум точек локального минимума функции $I(\rho)$, $i=0, \dots, n, n \in \mathbf{N}$, где m_i – точка локального минимума;

– $P_4: 1/N \Sigma m_i$ – среднее значение точек локального минимума функции $I(\rho)$, где m_i – точка локального минимума;

– $P_5: 1/N \Sigma w_i$ – среднее значение точек локального максимума функции $I(\rho)$, где w_i – точка локального максимума.

Круговые функционалы:

– $\Phi_1: |A_0 - A_1|$ – модуль разности 0-го и 1-го спек-

тральных коэффициентов преобразования Уолша — Адамара с упорядочиванием по Адамару сигнала $f(\varphi)$;

– $\Phi_2: |A_2 - A_3|$ — модуль разности 2-го и 3-го спектральных коэффициентов преобразования Уолша — Адамара с упорядочиванием по Адамару сигнала $f(\varphi)$;

– $\Phi_3: |A_4 - A_5|$ — модуль разности 4-го и 5-го спектральных коэффициентов преобразования Уолша — Адамара с упорядочиванием по Адамару сигнала $f(\varphi)$;

– $\Phi_4: |A_6 - A_7|$ — модуль разности 6-го и 7-го спектральных коэффициентов преобразования Уолша — Адамара с упорядочиванием по Адамару сигнала $f(\varphi)$;

– $\Phi_5: |A_8 - A_9|$ — модуль разности 8-го и 9-го спектральных коэффициентов преобразования Уолша — Адамара с упорядочиванием по Адамару сигнала $f(\varphi)$;

– $\Phi_6: |A_{10} - A_{11}|$ — модуль разности 10-го и 11-го спектральных коэффициентов преобразования Уолша — Адамара с упорядочиванием по Адамару сигнала $f(\varphi)$;

– $\Phi_7: |A_{12} - A_{13}|$ — модуль разности 12-го и 13-го спектральных коэффициентов преобразования Уолша — Адамара с упорядочиванием по Адамару сигнала $f(\varphi)$;

– $\Phi_8: |A_{14} - A_{15}|$ — модуль разности 14-го и 15-го спектральных коэффициентов преобразования Уолша — Адамара с упорядочиванием по Адамару сигнала $f(\varphi)$;

– $\Phi_9: |A_{16} - A_{17}|$ — модуль разности 16-го и 17-го спектральных коэффициентов преобразования Уолша — Адамара с упорядочиванием по Адамару сигнала $f(\varphi)$;

– $\Phi_{10}: |A_{18} - A_{19}|$ — модуль разности 18-го и 19-го спектральных коэффициентов преобразования Уолша — Адамара с упорядочиванием по Адамару сигнала $f(\varphi)$;

– $\Phi_{11}: |A_{20} - A_{21}|$ — модуль разности 20-го и 21-го спектральных коэффициентов преобразования Уолша — Адамара с упорядочиванием по Адамару сигнала $f(\varphi)$;

– $\Phi_{12}: |A_{22} - A_{23}|$ — модуль разности 22-го и 23-го спектральных коэффициентов преобразования Уолша — Адамара с упорядочиванием по Адамару сигнала $f(\varphi)$;

– $\Phi_{13}: |A_{24} - A_{25}|$ — модуль разности 24-го и 25-го спектральных коэффициентов преобразования Уолша — Адамара с упорядочиванием по Адамару сигнала $f(\varphi)$;

– $\Phi_{14}: |A_{26} - A_{27}|$ — модуль разности 26-го и 27-го спектральных коэффициентов преобразования Уолша — Адамара с упорядочиванием по Адамару сигнала $f(\varphi)$;

– $\Phi_{15}: |A_{28} - A_{29}|$ — модуль разности 28-го и 29-го спектральных коэффициентов преобразования Уолша — Адамара с упорядочиванием по Адамару сигнала $f(\varphi)$;

– $\Phi_{16}: |A_{30} - A_{31}|$ — модуль разности 30-го и 31-го спектральных коэффициентов преобразования Уолша — Адамара с упорядочиванием по Адамару сигнала $f(\varphi)$;

– $\Phi_{17}: |A_{32} - A_{33}|$ — модуль разности 32-го и 33-го спектральных коэффициентов преобразования Уолша — Адамара с упорядочиванием по Адамару сигнала $f(\varphi)$;

– $\Phi_{18}: |A_{34} - A_{35}|$ — модуль разности 34-го и 35-го спектральных коэффициентов преобразования Уолша — Адамара с упорядочиванием по Адамару сигнала $f(\varphi)$;

– $\Phi_{19}: |A_{36} - A_{37}|$ — модуль разности 36-го и 37-го спектральных коэффициентов преобразования Уолша — Адамара с упорядочиванием по Адамару сигнала $f(\varphi)$;

– $\Phi_{20}: 1/(N \times \max\{f(\varphi)\}) \int f(\varphi) d\varphi$ — среднее значение функции $f(\varphi)$, деленное на ее максимум.

Итого имеется 27 функционалов, формирующих вектор признаков \mathbf{y} изображения из 200 элементов. Преобразование Уолша — Адамара с упорядочиванием по Адамару инвариантно относительно циклического сдвига исходной последовательности. Его применение позволило уменьшить число признаков изображения с 720 (Фурье-преобразование) [6] до 200. Сопоставление простого объекта $p/$ выполняется с помощью классификатора по минимальному расстоянию, где мера близости простого объекта $p/$ определяется манхэттенской метрикой. При этом точность распознавания алгоритма Ag. 5 в среднем на 3 % выше, чем у алгоритма Ag. 2.

Матрица проекций (трейс-матрица) имеет следующие размеры:

– по переменной φ — ось горизонтальная, область изменения 0, ..., 2π с шагом $\pi/40$. Число дискрет 81;

– по переменной p — ось направлена вверх, область изменения зависит от размеров изображения. Например, для изображения размером 35x35 отсчетов область изменения $-25, \dots, 25$ с шагом $\sqrt{2}/2$ плюс все целые числа данного интервала. Число дискрет 119.

Для анализа точности распознавания алгоритма Ag. 5 требуется выполнить сравнение результатов его работы с результатом работы алгоритма, получившего наибольшее распространение на практике, — алгоритма распознавания на основе дескриптора контекст-формы [15].

В качестве исходных данных для тестирования алгоритмов Ag. 3 и Ag. 5 использовалась база реальных аэрокосмических изображений, включающая 140 изображений, а также различные произвольные эталонные выборки простых объектов. Эталонная выборка S из семи произвольных простых объектов показана на рис. 2.

Разработанный алгоритм распознавания Ag. 5 обеспечивает точность распознавания относительно проективного искажения в среднем 89%, а точность распознавания алгоритма на основе дескриптора контекст-формы относительно проективного искажения в среднем 71%.

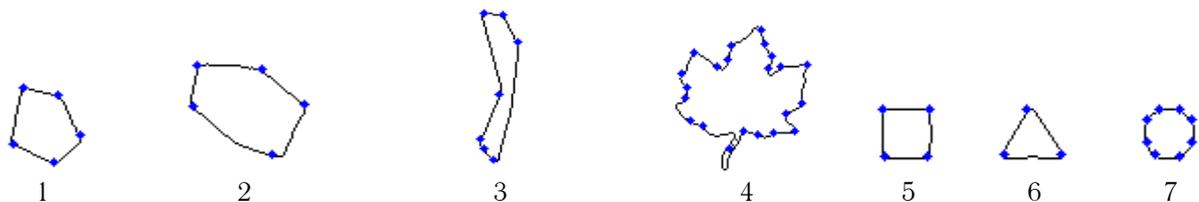


Рис. 2. Семь произвольных простых объектов. Выделенные отсчеты — вершины углов

Заключение. Предложенные алгоритмы обнаружения и распознавания простого объекта на изображениях, обеспечивают инвариантность относительно проективного искажения. Декомпозиция произвольного контура бинарного изображения на контуры и замкнутые контуры позволяет работать на зашумленных изображениях и выполнять

анализ изображений различных типов. Разработанный алгоритм распознавания простого объекта на изображениях повышает точность распознавания относительно проективного искажения в среднем на 3% с увеличением быстродействия.

Литература:

1. Постников М.М. Лекции по геометрии. Семестр I. Аналитическая геометрия. М.: Наука, 1973. 752 с.
2. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений: пер. с англ. М.: Техносфера, 2006. 1072 с.
3. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. М.: Наука, 1986. 288 с.
4. Фурман Я.А. [и др.]. Введение в контурный анализ: приложения к обработке изображений и сигналов / под ред. Я.А. Фурмана. 2-е изд., испр. М.: Физматлит, 2003. 588 с.
5. Kazlouski A.M., Sadykhov R.K. Plain objects detection in image based on a contour tracing algorithm in a binary image // in Proceedings of The International Symposium on INnovations in Intelligent SysTems and Applications. Alberobello, Italy, 2014. pp. 242–248.
6. Козловский А.Н. Алгоритм распознавания простых объектов на разновременных аэрокосмических изображениях по их форме // Шестой Белорусский космический конгресс. Минск, 2014. Т. 1. С. 323–326.
7. Bnsalan C., Boyer K.L. Multispectral Satellite Image Understanding: From Land Classification to Building and Road Detection. London: Springer, 2011. 185 p.
8. Старовойтов В.В., Голуб Ю.И. Цифровые изображения: от получения до обработки. Минск: ОИПИ НАН Беларуси, 2014. 202 с.
9. Абламейко С.В., Недзьведь А.М. Обработка оптических изображений клеточных структур в медицине. Минск: ОИПИ НАН Беларуси, 2005. 155 с.
10. Тузиков А.В., Шейнин С.А., Жук Д.В. Математическая морфология, моменты, стереообработка: избранные вопросы обработки и анализа цифровых изображений. Минск: Беларус. наука, 2006. 198 с.
11. Вятчинин Д.А., Хижняк А.В., Шевяков А.В. Нечеткая кластеризация и нечеткая математическая морфология в задачах обработки изображений. Минск: ВА РБ, 2012. 271 с.
12. Козловский А.Н. Детектор угловых точек на основе аппроксимации контуров объектов изображения // Информатика. 2010. 28, № 4. С. 36–47.
13. Федотов Н.Г. Теория признаков распознавания образов на основе стохастической геометрии и функционального анализа. М.: Физматлит, 2009. 304 с.
14. Дьяконов В. П. Вейвлеты. От теории к практике / В. П. Дьяконов. — М. : СОЛОН-Пресс, 2004. — 400 с.
15. Mori G., Belongie S., Malik J. Efficient Shape Matching Using Shape Contexts // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 2005. Vol. 27, № 11. P. 1832–1837.

Формирование профилей скоростей и концентраций в турбулентном газовом потоке

Поникаров Артем Сергеевич, м.н.с.;
Теляков Эдуард Шархиевич, д.т.н., профессор
Казанский национальный исследовательский технологический университет

Ключевые слова: массообмен, диффузия, испарение, конденсация, турбулентное течение, деформация профиля скорости, течение газа в трубе.

ВВЕДЕНИЕ

На процесс массообмена в системах газ – жидкость (испарение, конденсация, ректификация, ...) существенное влияние должен оказывать результирующий конвективный перенос массы на границе раздела [1]. Представляется, что данное обстоятельство целесообразно учитывать уже в самой структуре феноменологического уравнении массоотдачи, поскольку в противном случае приходится проводить обобщения для каждого процесса в отдельности.

Следует отметить, что гидродинамические условия, в которых протекает процесс, оказывают заметное влияние на формирование профилей скоростей и концентраций по сечению каждого из взаимодействующих фазовых потоков, что в свою очередь оказывает влияние на процесс результирующего массообмена. Одновременно профили скоростей и концентраций должны зависеть и от условий обтекания границы раздела фаз, т. е. от аппаратного оформления процесса. Традиционно эффекты влияния массопереноса на гидродинамику считались не значительными, и не учитывались в структуре уравнений массоотдачи, но как выясняется, гидродинамические и диффузионные составляющие оказывают достаточно сильное влияние друг

на друга. В то же время, предложенная в [1] универсальная структура уравнения массоотдачи нуждается в дополнительном обосновании.

В настоящее время существует большое количество мощных программных пакетов, которые позволяют проводить моделирование процессов массообмена. Наибольший интерес представляет расчетный программный комплекс Fluent, одним из важнейших преимуществ которого является возможность проводить исследование на многокомпонентных смесях. При постановке задачи в среде Fluent возникает ряд специфических сложностей, которые могут повлиять на результаты моделирования [2]:

- Выбор оптимальной конфигурации расчетной зоны (система координат, способа разбиения расчетной области на ячейки, размер и тип ячеек, узлов, масштаб расчетной зоны, граничные условия для «сетки» и т.д.).
- Выбор типа решателя и определение оптимальных коэффициентов решателя.
- Выбор моделей и параметров расчета турбулентной вязкости, диффузии.
- Учет параметров шероховатости трубы.
- Выбор модели смешения для многокомпонентных

смесей.

- Способ задания источника массы на границе раздела (стенка трубы) при эквимолярной и не эквимолярной постановке задачи.

- Решение задачи молекулярной и турбулентной диффузии и т.д.

При решении задачи в пакете Fluent использовались: уравнение Навье-Стокса в турбулентной постановке задачи (приближение Релея), уравнение неразрывности, а также первый и второй законы Фика. Задача решалась в двух постановках - эквимолярной и неэквимолярной:

1. Эквимолярная. Наложение внутреннего диффузионного массового потока от стенки трубы на движущийся турбулентный поток среды (на стенке трубы закрепляется постоянная концентрация одного из компонентов бинарной смеси $C_{ст.} = const$). В данной постановке задачи среднескоростные и среднесмолярные расходы по длине трубы остаются неизменными, но профили концентраций и скоростей по длине трубы оказываются зависящими от процесса массоотдачи.

2. Неэквимолярная. На процесс массоотдачи накладывался внешний конвективный массовый поток от стенки трубы (на стенке трубы с применением пользовательских функций формируются источники поступления внешних потоков). В данной постановке задачи среднескоростные и среднесмолярные расходы по длине трубы изменяются. Профили концентраций и скоростей по длине трубы оказываются зависящими и от процесса массоотдачи и от интенсивности внешнего конвективного потока.

Численный эксперимент проводился на трубе диаметром 0,2 м и длиной 4 м. На входе в трубу подавался поток бинарной, либо многокомпонентной смеси, а на стенке трубы закреплялась постоянная концентрация смеси, отличная от входной. В результате в движущемся газовом потоке возникал диффузионный (а во втором эксперименте и конвективный) массовый поток. При расчете были использованы следующие граничные условия:

- На входе в трубу задаются характеристики основного потока: начальный профиль скорости плоский, температура потока $T_{вх.}^{ст.} = 298$ К.

- Стенка принимается непроницаемой, на ней закрепляется определенная концентрация одного из ПК (псевдокомпонентов) $C_{ст.}^{ст.} = const$, отличная от концентрации этого компонента во входном потоке, а также накладывается условие «прилипания».

- Тепловые эффекты не учитывались.

- Коэффициент динамической вязкости смеси принимается постоянным ($\mu = const$).

- На выходном потоке устанавливалось граничное условие «Pressure outlet», с температурой $T_{вых.}^{ст.} = 298$ К. Метод расчета обратных потоков по «normal to boundary». При решении задач течения газов в каналах достаточно часто наблюдается втекание потока через выходную границу вследствие, например, вихревых течений вблизи нее. Параметры втекающего газа (направление потока, температура и параметры турбулентности) для таких случаев необходимо определить. Это делается в меню Pressure Outlet аналогично тому, как задаются соответствующие параметры на входной границе [1].

- Точность для обеспечения сходимости решения была выставлена равной $3,5E-5$ как для уравнения движения, так и для уравнения неразрывности.

ПРОВЕРКА АДЕКВАТНОСТИ МОДЕЛИ

Первый этап исследования был посвящен проверке адекватности расчетной модели. Для проверки модели в первой постановке (эквимолярной) были смоделированы уже известные эксперименты, которые были обобщены Ван Кревеленом [3]. На втором этапе (учет неэквимолярности) были смоделированы уже известные численные эксперименты, проведенные Матиюшко Б.Н. [4].

В обоих случаях разработанная модель показала достаточно хорошую корреляцию с данными сравнения: погрешность не превысила 5 % в обеих постановках. Таким образом, можно утверждать, что разработанная модель адекватно описывает и гидродинамические, и массообменные закономерности протекания процессов массоотдачи с меняющимися условиями на поверхности раздела системы.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В ходе исследования были проведены следующие численные эксперименты, которые также условно можно разделить на два этапа:

Первый этап. Проведен численный эксперимент в эквимолярной постановке задачи. В этом случае в эксперименте использовалась модельная бинарная смесь, состоящая из двух псевдокомпонентов, что позволило в широких пределах менять свойства компонентов (молярные массы, коэффициенты диффузии, разница концентраций во входном потоке и на стенке трубы, ...). В результате эксперимента был выявлен эффект «прогиба профиля» скорости, который зависит от фактора неоднородности смеси, определяемого отношением плотностей (молярных масс) псевдокомпонентов [1,5]. Чем больше фактор неоднородности смеси, тем заметнее проявляется «эффект прогиба» профиля скорости, что подтверждает тезис о зависимости профиля скорости от сопутствующего процесса турбулентной диффузии.

Второй этап. Проведен численный эксперимент на бинарной смеси псевдокомпонентов в неэквимолярной постановке задачи. В этом случае с использованием пользовательской функции пакета Fluent на стенке трубы формировались объемные источники массы, значения которых не изменялись по длине трубы. Это позволило моделировать наложение на процесс внутрифазного массообмена внешнего конвективного массового потока. В данном случае молярные потоки диффундирующих компонентов не равны друг другу и разнонаправлены, в результате чего результирующий молярный и поток через стенку оказывается переменным. Остальные граничные условия принимались теми же, что и для предыдущей постановки задачи. В неэквимолярной постановке задачи также был отмечен эффект «прогиба профиля» скорости [5], однако он оказался зависящим не только от фактора неоднородности смеси, но и от интенсивности конвективного массового потока.

ВЫВОДЫ

1. Программный комплекс вычислительной гидродинамики Fluent достаточно надежно моделирует сопряженные гидродинамические и диффузионные процессы в турбулентном газовом потоке, причем как в эквимолярной, так и в неэквимолярной постановках задачи.

2. Распространенное мнение, что задачи гидродинамики и массообмена из-за подобия математического описания могут решаться раздельно не всегда корректно, потому что наложение диффузионных процессов на гидродинамиче-

ские трансформирует как профили скоростей, так и профили концентраций в газовом потоке. Данный эффект подтвердился также в турбулентных течениях, что несомненно требует внимания исследователей.

3. Процессы массоотдачи для каждой из фаз реальных массообменных процессов, протекающих в двухфазных потоках (газ – жидкость), необходимо моделировать с уче-

том поступления (источник) или отвода (сток) массы на границе раздела фаз по каждой из фаз системы.

4. Разработанная математическая модель позволяет проводить оценку адекватности известных обобщений по массоотдаче, а также может быть использована для разработки новых подходов к описанию массообменных процессов в системах газ (пар) – жидкость.

Литература:

1. Поникаров А.С., Осипова Л.Э., Теляков Э.Ш. Неэквимолярная массоотдача в системах газ (пар) – жидкость, Теорет. основы хим. технологии, Т49, №3, 2015, С. 277-286.
2. Батурин О.В. Построение расчетных моделей в препроцессоре GAMBIT универсального программного комплекса FLUENT/ О.В. Батурин, Н.В. Батурин, В.Н. Матвеев. САМАРА, Издательство СГАУ, 2009 г. с 172
3. Van Krevelen D.W., Hofizer P.J., Rec. Trav. Chim., 1949, v. 68, N 4, p. 221-233.
4. Матюшко Б.Н. Исследование влияния поперечного потока вещества на массообмен: дис. ... канд. тех наук: 05.17.08 / Матюшко Борис Николаевич. – Казань, 1978. – 103 с.
5. Поникаров А.С., Осипова Л.Э., Теляков Э.Ш. Формирование профилей скоростей и концентраций в ламинарном газовом потоке. В кн.: ММТТ-28, Ярославль, 2015: материалы. Ярославль: ярославский государственный технический университет, 2015. с. (в редакции).

УДК 622.693.6

Специализированная железная дорога как основа развития транспортной инфраструктуры

Тарасов Петр Иванович, к.т.н., ведущий научный сотрудник
Институт горного дела УрО РАН (г. Екатеринбург)
Тарасов Сергей Петрович, инженер, ИП;
Фефелов Евгений Васильевич, к.т.н., ведущий инженер
ООО "Уральский дизель-моторный завод" (г. Екатеринбург)
Тарасов Александр Петрович, инженер, ИП (г. Екатеринбург)

В статье рассматривается особый вид железных дорог и железнодорожного транспорта для освоения арктической зоны и прилегающих к ней северных территорий РФ на примере Западной Якутии. Благодаря постоянному развитию транспортной инфраструктуры региона все большую популярность получает многозвенный транспорт со значительными капитальными, но при этом достаточно низкими эксплуатационными затратами.

Ключевые слова: Арктика, кимберлитовые месторождения, специализированная железная дорога, легкая железная дорога, транспортная инфраструктура, малонаселенные территории.

Минерально-сырьевой потенциал Республики Саха (Якутия), по данным переоценки Министерства природных ресурсов РФ 2006 года, составляет 78,4 триллиона рублей [1]. Помимо месторождений углеводородного сырья разведаны месторождения угля с учтенными запасами 14,3 млрд. т, железных руд (5,7 млрд. т), драгоценных, редкоземельных и других металлов, неметаллических полезных ископаемых, а также месторождения пресных, минеральных, теплоэнергетических и промышленных подземных вод [2].

За полувековую историю алмазопромышленных работ в Якутии было выявлено и опробовано более 1500 коренных и россыпных кимберлитовых месторождений, которые сосредоточены в Якутской алмазонасной провинции [3]. Площадь ее составляет около 900 тыс. км² [1]. Но она является лишь частью огромной северной зоны Российской Федерации, включающей в себя Мурманскую, Архангельскую области, Ямало-Ненецкий автономный округ, Республику Коми и др.

В настоящее время из арктической зоны РФ наиболее промышленно развита территория Западной Якутии, в которой разведанные запасы кимберлитовых месторождений простираются вплоть до Северного Ледовитого океана.

Требуется четкое понимание того, что для полноценного использования северных территорий необходимо комплексное внедрение в различных областях новых идей, технологий и технических средств.

Кроме месторождений полезных ископаемых на территории Республики Саха (Якутия) разведаны и переданы в промышленное освоение многие месторождения строительных материалов, являющихся базой строительной индустрии городов Мирный, Ленск, Айхала, Удачный, Анабар и Эбелях. В настоящее время обрабатываются месторождения отдельных видов строительных материалов: цементное сырье, гипс, строительный камень, цветные камни, цеолиты, каменная соль. Подготовлены к промышленному освоению, но не обрабатываются месторождения апатита, графита, вермикулита, прогнозируются по геологическим предпосылкам проявления калийной соли, асбеста, магнетита [1].

Для освоения территорий Якутии и разработки месторождений необходимо развивать инфраструктуру региона, в частности транспортно-логистический комплекс, потенциалом которого являются месторождения полезных ископаемых и в первую очередь алмазов.

Специфика работ на территории Крайнего Севера предопределяет необходимость принятия нестандартных решений в области добычи полезных ископаемых. Но применительно к процессу транспортирования горной массы подход всегда был и будет вполне традиционный. Необходимыми условиями всегда являлись и являются высокая мобильность техники, относительно недорогая эксплуатация, возможность быстрого ввода в работу и надежная эксплуатация в условиях низких температур. На основе анализа применения различных видов промышленного транспорта в условиях Западной Якутии (автомобильный, железнодорожный, конвейерный и др.) установлено, что определенное преимущество имеет железнодорожный транспорт. Но в связи с затруднительным использованием узкоколейной и традиционной железной дороги в условиях Западной Якутии, ИГД УрО РАН, в лице к.т.н. П.И. Тарасова, предлагает новый вид железнодорожного транспорта — это легкая железная дорога (ЛЖД). Ее смысл состоит в применении традиционного для России железнодорожного пути с колесей 1520 мм (для исключения перегрузки грузов при стыковании с традиционной железной дорогой) и в применении облегченного подвижного состава, по сравнению с традиционным. Данное решение приведет к уменьшению нагрузки на грунт и снижению затрат на строительство железнодорожной насыпи.

При строительстве легкой железной дороги в качестве первичного транспорта могут использоваться гусеничные снегоболотоходы (различной конструкции), транспортные средства повышенной проходимости на пневмоколесном ходу.

Легкая железная дорога предполагает строительство на основе автомобильной дороги, которая строится независимо от расстояния транспортирования и объема перевозок. Исполнение ЛЖД предполагается в одно- или двухпутном варианте со всеми технологическими сооружениями, но в облегченном варианте. Строительство различных сооружений для обычной железной дороги при необходимости может быть перенесено на более поздние сроки либо вообще не потребуются при эксплуатации на временных участках до отдельных месторождений.

Сооружение железнодорожных путей к отдельным карьерам необходимо только на период их эксплуатации. А затем, ввиду малых запасов руды и отсутствия других месторождений в этом направлении, пути могут быть разобраны и перенесены на другие участки, т.е. на любые другие объекты.

Авторами выдвигается идея применить в условиях слабонесущих грунтов в Западной Якутии легкие железнодорожные вагоны грузоподъемностью 20, 30, 40 т на широкой колее (1520 мм). Это позволит уменьшить осевые нагрузки от подвижного состава, значительно снизит требования к конструкции верхних строений пути, позволит достигнуть низкой строительной стоимости пути, упростит строительство искусственных сооружений и, главным образом, позволит значительно сократить стоимость и сроки освоения не только Западной Якутии, но и всей Республики в целом.

На строительство участка железной дороги "Томмот — Нижний Бестях (Якутск)", протяженностью 900 км в ценах 2008 г. было затрачено более 50,3 миллиардов рублей, т.е. примерно 56 млн. руб./км, а на трассе, где имеется значительное количество мостов, затраты на 1 км в ценах 2012 г. составили 112 млн. руб./км [4].

Стоимость строительства путей для ЛЖД будет значительно ниже ввиду уменьшения материалоемкости и объема строительных работ.

Транспортно-логистическим центром Западной Якутии должен стать г. Мирный. Значительным преимуществом является возможность постепенного внедрения легкой железной дороги на всей территории Якутии, что позволит внедрить перекрестное субсидирование и снижение тарифов на перевозку. На первом этапе предполагается строительство легкой железной дороги до г. Якутск, на втором — в направлении до г. Усть-Кут или до г. Ленск, на третьем — до г. Удачный с перспективой выхода к Северному ледовитому океану и строительства порта (рис. 1).

При определении рационального вида транспорта для применения в Западной Якутии необходимо учитывать, что из всех видов транспорта преимущество имеет железнодорожный транспорт, благодаря его низким эксплуатационным расходам, независимости от климатических и сезонных условий, возможности использовать различные виды энергии (для тепловозной и электровозной тяги) и длительным сроком службы подвижного состава (до 20-25 лет). Причем он должен быть доступен в любом районе Якутии независимо от наличия электрических линий.

В современной России применяются железные дороги с колесей 1520 мм и менее. Железные дороги с колесей менее 1520 мм относятся к железным дорогам узкой колеи. В мировой практике насчитывается свыше 100 размеров ширины узкой колеи в пределах от 187 до 1397 мм, при этом ширина колеи для дорог общего пользования менее 600 мм применяется крайне редко.

В СССР (и соответственно в России) основным был принят размер узкой колеи равный 750 мм, и лишь в отдельных случаях на дорогах промышленного значения допускалось применение ширины колеи 600 и 1000 мм. Узкоколейные железные дороги обслуживают в основном отдельные промышленные предприятия или группы из нескольких смежных предприятий, лесосеки, шахты, рудники, торфяные месторождения, а также могут применяться везде, где сырье или продукция имеет большие объемы и относительно низкую удельную стоимость. Отдельные участки железных дорог общего пользования также имеют узкую колею. По мере роста перевозок на дорогах узкой колеи общего пользования все острее стали сказываться сложность и дороговизна перегрузки с одной колеи на другую, более высокая стоимость перевозок по дорогам узкой колеи, возрастающий грузооборот и т.д. В результате практически все дороги узкой колеи общего пользования на территории СССР (современной России) были выведены из эксплуатации либо переустроены в дороги нормальной колеи.

Сфера технической и экономической целесообразности применения рельсовых дорог узкой колеи общего пользования определяется известными их достоинствами и недостатками. Основные достоинства дорог узкой колеи: меньшая строительная стоимость и простота сооружения, за счет меньших геометрических размеров и более легких конструкций верхнего строения пути, искусственных сооружений, земляного полотна и др. сооружений; меньших осевых нагрузок от подвижного состава; использования на них облегченных стандартов и норм по профилю и плану пути (уклонам, кривым), что приводит к экономии особенно при горном и сильно пересеченном рельефе при вписывании трассы, что практически отсутствует в Западной Якутии.



Рис. 1. Предлагаемая сеть легких железных дорог

Основные недостатки узкоколейных дорог: меньшие резервы провозной способности и ограниченные возможности повышения мощности этих дорог; необходимость перегрузки в пунктах примыкания к дорогам нормальной колеи; меньшие скорости и более высокие эксплуатационные расходы (в том числе и за счет перегрузки); большая потребность в локомотивах, подвижном составе; меньший габарит и вес перевозимого груза.

Таким образом, можно сказать, что по мере роста перевозок по дорогам узкой колеи общего пользования будет сказываться сложность и стоимость перегрузки с одной колеи на другую. И эта перегрузка будет практически

определяющей при выборе ширины колеи. Поэтому для условий Западной Якутии, учитывая, что она со временем будет освоена и обеспечена развитой сетью железных дорог, сообщающихся с остальной частью России, узкую колею нельзя вводить ни в одном районе Якутии. При этом в данной местности накладывается еще одно ограничение – это низкая несущая способность грунтов, которая не обеспечивает условий эксплуатации железнодорожного транспорта с допустимым давлением 0,52-0,3 МПа.

Предлагаемый легкий железнодорожный транспорт может быть применим и для условий работы в карьере. В настоящее время по объему перевозок железнодорожный

транспорт знаходиться на другому місці після кар'єрного автомобільного транспорту. Широко застосовується на великих підприємствах залізничної (на кар'єрах чорної металургії 30% всієї гірної маси) і вугільної промисловості, великих асбестових кар'єрах. Порівняно з залізничним транспортом загального призначення легка залізнична дорога характеризується роботою на великих уклоніях, з застосуванням тимчасових і передвижних шляхів, великою кількістю криволінійних ділянок при меншій радіусі повороту. Напруженість даного виду транспорту становить від декількох тисяч до 20 млн. т на один під'їзний шлях в рік.

Передвижний склад легкої залізничної дороги на кар'єрах буде складатися з вагонів і локомотивів (електровози, тепловози і тягові агрегати), які застосовуються на вузькій колії, але встановлені на широку колію. Електрична тяга здійснюється при різних системах струму і напруги. При постійному струмі використовується напруга 1500 і 3000 В на прийомнику електровоза, а при змінному струмі отримала поширення система однофазного змінного струму промислової частоти 50 Гц напругою 10 і 25 кВ. Розташування і кількість тягових підстанцій визначаються довжиною, розгалуженістю і характером траси, а також величиною вантажопотоку. Тягові підстанції можуть бути стаціонарними і передвижними, як і контактна мережа, основними елементами якої є опори і мідний контактний провід.

Для проработки технічної можливості експлуатації і розрахунку показників економічної ефективності від реалізації проекту легкої залізничної дороги потрібно її додатково вивчити і уточнити величину капітальних витрат.

Пропозиції по розробці, виготовленню і застосуванню легкої залізничної дороги розглядалися на Бело-

русском автомобільному заводі з участю генерального конструктора ОАО «БелАЗ» А.Н. Егорова, який підтримує ідею розробки легкої залізничної дороги і в разі підготовки заявки завод готов приступити до розробки рухомого складу. В даний час, наприклад, завод освоїв випуск двохосної колісної пари.

Використання легкої залізничної дороги представляє інтерес для подальшої більш ретельної проработки, яку може провести Інститут гірної справи УрО РАН спільно з Уральським державним університетом шляхів зв'язку і рядом уральських організацій гірної справи і залізничних проектних і науково-дослідницьких інститутів, а також, спільно з заводами-виробниками: ОАО «БелАЗ», Камбарським машинобудівним заводом, Нижнетагільським металургійним комбінатом (НТМК), ОАО «Людінський тепловозобудівний завод» (ЗАО Група «Синара») і др. Розробка і виготовлення можуть бути здійснені в достатньо короткі терміни.

Авторами пропонується концепція розвитку і освоєння Західної Якутії на основі легкої залізничної дороги, яка повинна стати пріоритетним напрямком в становленні транспортно-логістичної структури. Будівництво легкої залізничної дороги «Мирний – Удачний» необхідно зробити пілотним проектом, досвід якого потім можна перенести не тільки на райони зосередження родовищ алмазів (Якутська алмазна провінція), але і на північні території Західно-Сибірського і Далньосхідного федеральних округів.

Рельсовий шлях дозволить на промисловій основі продовжити прискорене освоєння інших багатих родовищ корисних копалин в Західній Якутії. Створення нових виробств і робочих місць приведе до збільшення валового регіонального продукту республіки.

Література:

1. Лацановський, І. А., Аржаков Н. А., Шматкова Л. Е. Недр Якутії. Становлення і використання мінерально-сировинної бази корисних копалин Республіки Саха (Якутія) / І. А. Лацановський, Н. А. Аржаков, Л. Е. Шматкова // Глобус. – 2009. – №5 – С. 15-24.
2. Тарасов П.І. Обоснование путей развития транспортных средств для освоения северных территорий России. Материалы XII Международной научно-практической конференции «Проблемы карьерного транспорта» 1 – 4 октября 2013 г. / ИГД УрО РАН. – Екатеринбург: УрО РАН, 2013. – С. 137-151.
3. Митюхин, С. И. Геологоразведочный комплекс АК «АЛРОСА» / С. И. Митюхин, М. И. Лелюх, В. В. Бочаров // Горный журнал. – 2005. – №7. – С. 73-76.
4. Хвостунова О. Медвежий уголь / О. Хвостунова // Коммерсант Business Guide. – 2008. – №213/П. – С. 37.

Самоналагоджувальні технології обчислювального інтелекту для автоматизації моделювання та оптимізації складних систем

Семенкін Євгеній Станіславович, доктор технічних наук, професор;
Тинченко Валерія Валеріївна, кандидат технічних наук, доцент
Сибірський державний аерокосмічний університет (м. Красноярськ)

Доповідь присвячена обговоренню ретроспективи, поточного стану справ та напрямку майбутніх досліджень в рамках науково-педагогічної школи «Еволюційні методи моделювання та оптимізації складних систем» Сибірського державного аерокосмічного університету. Хоча напрямок розвивається вже понад 20 років, в останні десять років сформувалася основна ідея проведених досліджень - розробка самоналагоджувальних еволюційних алгоритмів та їх застосування для автоматизації проектування інтелекту-

альних інформаційних систем широкого призначення.

Ідеї підходів, що зародилися в першій половині 90-х років минулого століття [1], цілком сформувалися вже більше десяти років тому [2] і отримали істотний розвиток в останні роки [3, 4]. Перерахуємо ці ідеї.

1. Гібридизація еволюційних алгоритмів з ефективними алгоритмами локальної псевдобулевої оптимізації ([5, 6]) з метою посилити локальну збіжність і знизити гостроту проблеми конфігурації і налаштування стохастичних методів

глобальної оптимізації [7, 8, 9].

2. Конкурентно-кооперативний коєволюційний підхід [10], в якому паралельно над одним і тим же завданням працює велика група еволюційних алгоритмів, що відрізняються типами операторів і параметрами. При цьому алгоритми ділять обчислювальні ресурси таким чином, що найбільш ефективний з них отримує все більше ресурсів, відбираючи у менш ефективних. Головна відмінність від аналогічних підходів («острівна модель») полягає в тому, що всі конкуруючі алгоритми використовують всі найкращі відомі рішення, отримуючи їх від альтернативних алгоритмів [10, 11, 12].

3. Імовірнісні алгоритми [13, 14, 15], аналогами яких є алгоритми оцінки розподілів (EDA), основна ідея яких - генерувати нові покоління відповідно до розподілів ймовірностей, сформованими в ході роботи алгоритму, - дозволяє відмовитися від використання генетичних операторів, а значить, і уникнути проблеми їх вибору і настройки.

4. Використання самоконфігурування еволюційних алгоритмів [16, 17] за рахунок рандомізованого вибору застосованих операторів відповідно до розподілів ймовірностей їх задіяння, які враховують ефективність роботи на попередніх етапах, дозволяє забезпечити автоматичний вибір найбільш підходящих налаштувань [18].

5. Застосування кооперативних підходів на базі так званих біонічних алгоритмів (стайних, ройових, мурашиних і т.п.) дозволяє уникати проблеми встановлення найбільш відповідного для розв'язуваної задачі варіанту таких алгоритмів і відмовитися від настройки більшості чисельних параметрів [19, 20, 4].

Специфічні властивості розроблених алгоритмічних схем, що дозволяють автоматично налаштовувати еволюційні і біонічні алгоритми на розв'язувані завдання, дають можливість широкого їх використання в практичних завданнях з різних областей людської діяльності. Вирішуються не тільки завдання оптимізації складних технічних [21, 22, 23] та економічних [24, 25] систем, а й завдання автоматичного проектування складних систем аналізу даних [3, 4, 9, 26] і навіть їх ансамблів довільного складу і конфігурації [27].

Подальший розвиток досліджень, орієнтований в теоретичній частині на остаточне вирішення питання автоматизації підстроювання оптимізаційних алгоритмів під розв'язувані завдання, т. я. в більшості алгоритмічних схем все ще є місце свавільно користувачів, а з практичного боку - на максимальне розширення кола розв'язуваних реальних завдань і потенційних користувачів розроблених ефективних технологій оптимізації, моделювання та аналізу даних.

Література:

1. Семенкин Е. С., Лебедев В. А. Метод обобщенного адаптивного поиска для оптимизации сложных систем // Конверсия в машиностроении. 2002. № 2. С. 36.
2. Гуменникова А.В., Емельянова М.Н., Семенкин Е.С., Сопов Е.А. Об эволюционных алгоритмах решения сложных задач оптимизации // Вестник СибГАУ. 2003. № 4. С. 14.
3. Shabalov A., Semenkin E., Galushin P. Automated design application of intelligent information technologies for data mining problems // Proceedings of the 8th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery, FSKD'2011. 2011. P. 2596-2599.
4. Akhmedova, Sh., Semenkin, E. Data Mining Tools Design with Co-operation of Biology Related Algorithms // Advances in Swarm Intelligence. - Y. Tan et al. (Eds.): ICSI 2014, Part 1, LNCS 8794, 2014. — P. 499-506.
5. Antamoshkin A. N., Saraev V. N., Semenkin E. S. Optimization of unimodal monotone pseudoboolean functions // Kibernetika. 1990. Т. 26. № 5. С. 432.
6. Antamoshkin A., Semenkin E. Local search efficiency when optimizing unimodal pseudoboolean functions // Informatica. 1998. Т. 9. № 3. С. 279.
7. Бежитский С. С., Семенкин Е. С., Семенкина О. Э. Гибридный эволюционный алгоритм для задач выбора эффективных вариантов систем управления // Автоматизация и современные технологии. 2005. № 11. С. 24.
8. Ryzhikov I., Semenkin E. The application of evolutionary algorithm for the linear dynamic system modeling // SIMULTECH 2012 - Proceedings of the 2nd International Conference on Simulation and Modeling Methodologies, Technologies and Applications 2012. С. 234-237.
9. Semenkina, M., Semenkin, E. Hybrid Self-configuring Evolutionary Algorithm for Automated Design of Fuzzy Classifier // Advances in Swarm Intelligence. - Y. Tan et al. (Eds.): ICSI 2014, Part 1, LNCS 8794, 2014. — P. 310-317.
10. Емельянова М. Н., Семенкин Е. С. Исследование эффективности коэволюционного алгоритма // Вестник СибГАУ. 2004. № 6. С. 28.
11. Sergienko, R. B., Semenkin, E. S. Competitive cooperation for strategy adaptation in coevolutionary genetic algorithm for constrained optimization // 2010 IEEE Congress on Evolutionary Computation, CEC 2010. Barcelona, 2010. С. 55-62.
12. Сергиенко, Р. Б., Семенкин, Е. С. Коэволюционный алгоритм для задач условной и многокритериальной оптимизации // Программные продукты и системы. 2010. № 4. С. 24.
13. Семёнкин, Е. С., Сопов, Е. А. Вероятностные эволюционные алгоритмы оптимизации сложных систем // Труды Международной научно-практической конференции AIS'2005, 2005, Т. 5. С. 77-78.
14. Galushin, P. V., Semenkin, E. S. The asymptotic probabilistic genetic algorithm // Вестник СибГАУ. 2009. № 5. С. 45-49.
15. Сопов, Е. А., Семенкин, Е. С. Исследование эффективности модифицированного вероятностного генетического алгоритма на десептивных функциях «ловушка» // Системы управления и информационные технологии, № 3 (45), 2011. — С. 90-95.
16. Semenkin, E., Semenkina, M. Self-Configuring Genetic Algorithm with Modified Uniform Crossover Operator. Advances in Swarm Intelligence, ICSI 2012, Part 1, LNCS 7331, Springer, Heidelberg. 2012. P. 414-421.
17. Semenkin, E., Semenkina, M. Self-configuring genetic programming algorithm with modified uniform crossover // 2012 IEEE Congress on Evolutionary Computation, CEC 2012 2012. С. 62-65.
18. Семенкин Е. С., Семенкина М. Е. Самоконфигурируемые эволюционные алгоритмы моделирования и оптимизации

ции : монография / МДП, Магнитогорск, 2014. 310 с.

19. Akhmedova Sh., Semenkin E. Co-Operation of Biology Related Algorithms // Proceedings of the IEEE Congress on Evolutionary Computation 2013. P. 2207–2214.

20. Akhmedova, Sh., Shabalov A. Development and Investigation of Bio-logically Inspired Algorithms Cooperation Meta-heuristic // Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference Companion (GECCO'13). - 2013. - P.1417-1418.

21. Semenkin, E., Semenkina, M. Stochastic Models and Optimization Algorithms for Decision Support in Spacecraft Control Systems Preliminary Design // Informatics in Control, Automation and Robotics, Lecture Notes in Electrical Engineering 283, 2014. P. 51-65.

22. Ryzhikov, I., Semenkin, E. Evolutionary strategies algorithm based approaches for the linear dynamic system identification // Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics). - Volume 7824 LNCS, 2013. P. 477-484.

23. Semenkin, E., Semenkina M., Panfilov, I. Neural network ensembles design with self-configuring genetic programming algorithm for solving computer security problems // Advances in Intelligent Systems and Computing. - Volume 189 AISC, 2013. P. 25-32.

24. Семенкин Е.С., Медведев А.В. Экономико-математическое моделирование инновационного развития экономических систем // Вестник СибГАУ. 2012. Вып.1(41). С.220-223.

25. Горбунов М.А., Медведев А.В., Победаш П.Н., Семенкин Е.С. Моделирование стратегии мирового социально-экономического развития как задачи оптимального управления // Вестник СибГАУ. 2009. Вып. 4(25). С.71-75.

26. Akhmedova Sh., Semenkin E. Co-Operation of Biology Related Algorithms Meta-Heuristic in ANN-Based Classifiers Design. Proceedings of the World Congress on Computational Intelligence (WCCI'14). – 2014, pp. 867-873.

27. Shabalov, A., Semenkin, E., Galushin, P. Integration of intelligent information technologies ensembles for modeling and classification (2012) Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), 7208 LNAI (PART 1). P. 365-374.C

Библиотека в облаке

Харланенков Дмитрий Владимирович

В настоящее время облачные технологии все шире проникают в нашу повседневную жизнь. Если раньше свое «облако» было доступно только крупным транснациональным корпорациям, которые или зарабатывали на предоставлении различных сервисов в облаке или выделяли сегмент своей защищенной корпоративной сети в облако для доступа сотрудников по всему миру, то теперь все эти возможности есть не только у средних и маленьких компаний, но и у частных лиц, которые абсолютно свободно могут создать свое частное облако и иметь доступ к нему отовсюду, где есть доступ в сеть Интернет.

Следует отметить, что для конечного потребителя услуги, доступ в Интернет за последние годы существенно упростился и наличие такого доступа уже, как правило, рассматривается как *commodities* (от англ. *commodity*; в данном случае — технические возможности, которые потребитель услуги считает такими же обычными, как вода и электричество) и является абсолютно необходимым требованием как в производственной сфере, так и в личной жизни не только в крупных городах-миллиониках, но во многих небольших поселках нашей страны. Доступ в Интернет осуществляется как с помощью компьютера, так и с помощью мобильных устройств: планшетов и смартфонов, как по мобильной связи, так и по Wi-Fi.

В области мобильных устройств за последние годы наблюдается рост планшетов и мобильных телефонов с большими экранами, которые не являются полноценными компьютерами в плане быстродействия и универсальности выполнения любых программ и приложений, но обеспечивают комфортный минимум для работы фактически с любыми программами, вплоть до редактирования видео. Также следует отметить, что разработчики программного обеспечения (ПО), оптимизируют свои продукты под данные типы устройств, а их производители в свою очередь, постоянно совершенствуют аппаратную базу, тем самым

повышая быстродействие таких устройств.

Возникает необходимость и потребность предоставить определенные сервисы, физически недоступные на данной территории, виртуально, т.е. через сеть Интернет с использованием облачных технологий и планшетов.

Или организовать доступ к информации немедленно, непосредственно в данную минуту и на короткое время.

Презентации такой системы и посвящена данная работа.

Основными направлениями для использования технологической связи облако — мобильное устройство (напр. планшет) могут быть следующие:

- предоставление *постоянного* доступа к библиотеке/мобильной базе знаний: напр., создание «Культурного облака», включающего в себя наиболее значимые аудиовизуальные произведения для нашей культуры в рамках реализации программы по государственной культурной политике; отдельного портала по истории России, в соответствии с одноименной программой президента России; официального справочно-культурного портала для туристов; и т.д.;

- дистанционное образование — полностью независимая система, начиная с момента поступления в ВУЗ до вручения Диплома или как дополнительный инструмент для студента, позволяющий просматривать материалы текущего семестра (или всего курса, при необходимости);

- частная (корпоративная) библиотека/мобильная база знаний, включающая в себя аудио/видео материалы по текущим проектам организации, внутренние презентации по *best practice* компании, учебные материалы, подготовленные для сотрудников компании, как специалистами в области обучения, так и самими сотрудниками непосредственно в рамках передачи опыта и т.д.;

- портал официальных документов для граждан РФ/иностранцев (основное отличие от обычной странички

в Интернете — мобильность, упрощенное оформление и оптимизация под мобильные устройства — только минимально-необходимая информация);

- *временная* база знаний, напр., для проведения конференции или в чрезвычайной ситуации (ЧС). При ЧС по соглашению с оператором связи и Интернет-провайдером при выходе в Интернет пользователь при введении любого адреса в браузере попадает сразу на информационную страничку МЧС с необходимыми ему материалами. Данное соединение может тарифицироваться оператором как бесплатное и работать только в строго определенном районе (районе аварии), что может быть отрегулировано путем расчета физических ограничений на сигнал в сети 3G/LTE или Wi-Fi. А в случае, напр., конференции — может быть указан специальный адрес и уникальное/универсальное имя пользователя/пароль для участников, возможность просмотреть доклады участников конференции и т.д.

Основным преимуществом подобной системы является то, что в качестве "билета", а точнее средства аутентификации пользователя, используется его личное устройство, нет нужды носить с собой читательский билет, продлевать его при необходимости, узнавать время работы библиотеки, заказывать книгу и т.д. Все доступно здесь и сейчас и, что немаловажно, пользователь сам решает, когда и как воспользоваться этой возможностью/услугой.

В тоже время это абсолютно не отвергает роли традиционной библиотеки, а наоборот, скорее является удобным

дополнением, позволяющим сделать доступ к информации еще более универсальным и удобным для конечного потребителя информации/информационной услуги.

Владелец «облака» может и сам на время бесплатно или в аренду предоставить устройство для доступа в него. (Напр., туристам при посещении Московского Кремля выдавать планшет с возможностью виртуального тура по Кремлю).

Доступ к подобным облачным системам может быть как свободный (без ограничений), так и с системой верификации пользователя, при использовании пользователем своего личного устройства, напр. по СНИЛС для доступа на официальные порталы РФ, по уникальному MAC-адресу устройства и т.д. (будет описано дальше в работе), с установкой специального приложения, контролирующего дальнейшую судьбу файла на устройстве пользователя (напр., по окончании сессии, устройство принудительно перегружается и/или стирает файл из специальной папки, в которую он был автоматически загружен. Пользователь уведомляется о всех действиях системы при авторизации в ней).

Подобные частные мобильные базы знаний/библиотеки могут быть легко организованы, как крупными организациями, так и небольшими учреждениями, а также держателями контента (напр., специальный туристический контент на иностранных языках для гостей столицы).

Технико-экономическое сравнение вариантов водоотводящих систем

Теплых Светлана Юрьевна, кандидат технических наук, доцент кафедры
«Водоснабжение и водоотведение»;

Горшкалев Павел Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры
«Водоснабжение и водоотведение»;

Юров Сергей Сергеевич, магистрант кафедры «Водоснабжение и водоотведение»;

Юрова Анна Олеговна, магистрант кафедры «Водоснабжение и водоотведение»
ФГБОУВО «Самарский государственный архитектурно-строительный университет».

Ключевые слова: технико-экономический расчёт, водоотводящие системы, экологические аспекты.

На сегодняшний день существует множество населённых пунктов, расположенных вблизи больших городов. В них существует ряд проблем, связанных с водоотведением. Выбор того или иного варианта системы водоотведения во многом зависит от экономической и экологической составляющих. В данной работе нас интересует выбор наиболее рационального проектного решения при эксплуатации сетей и сооружений, поэтому сравниваем 2 варианта развития систем водоотведения: постройка своих очистных сооружений и систем водоотведения для малого населённого пункта, либо сброс сточных вод на городские очистные сооружения большого города.

Для анализа данной ситуации предлагаем выполнить расчёт технико-экономических показателей, влияющих на конечную стоимость. Существуют различные методики расчёта для сравнения различных вариантов проектных решений, вот некоторые из них: методические рекомендации по технико-экономическому сравнению вариантов дорожных одежд; методика расчета и показатели себестоимости пробега и простоя автотранспортных средств; методика расчета технико-экономического сравнения вариантов проектных решений при проектировании городских водопроводов; методика технико-экономического сравнения вариантов водоотводящих систем; методика расчета технико-экономического анализа систем теплоснабжения. В

нашем случае, мы применяем методику технико-экономического сравнения вариантов водоотводящих систем. Как правило, при проектировании систем водоотведения можно разработать сразу несколько проектных решений, которые, в общем, будут приблизительно одинаковы по техническим показателям. Для выбора самого экономичного проектного решения производится сравнение их технико-экономических показателей [1], таких как: производительность (суточная и годовая), протяженность трассы коллекторов, общая длина трубопроводов, стоимость строительства, годовые эксплуатационные расходы, себестоимость 1 м³ воды, численность персонала, годовая потребность в электроэнергии и в тепловой энергии, продолжительность строительства, приведенные затраты и затраты на 1 м³ годовой производительности.

Одним из основных экономических показателей являются годовые приведенные затраты. По каждому рассматриваемому варианту эти затраты определяются по формуле:

$$П = C + E_n \mu K, \quad (1)$$

где C — годовые эксплуатационные затраты по данному варианту,

E_n — нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений,

K — капитальные вложения.

Годовые эксплуатационные затраты складываются из отдельных статей затрат:

$$C = C_{\text{реа}} + C_{\text{эл}} + C_{\text{т}} + C_{\text{ам}} + C_{\text{в}} + C_{\text{р}} + C_{\text{пр}} + C_{\text{к}} \quad (2)$$

где $C_{\text{реа}}$ – стоимость реагентов,

$C_{\text{эл}}$ – заработная плата персонала, тыс.руб;

$C_{\text{т}}$ – стоимость электроэнергии, тыс.руб;

$C_{\text{ам}}$ – амортизационные отчисления, тыс.руб;

$C_{\text{в}}$ – стоимость воды на собственные нужды, тыс.руб;

$C_{\text{р}}$ – затраты на текущий ремонт, тыс.руб;

$C_{\text{пр}}$ – прочие расходы, тыс.руб;

$C_{\text{к}}$ – затраты на капитальный ремонт, тыс.руб.

Для систем водоснабжения и канализации нормативный коэффициент $E_{\text{н}}$ принимается равным 0,16. Этот коэффициент представляет собой обратную величину срока окупаемости построенного объекта.

Наиболее предпочтительным является вариант, у которого приведенные затраты – наименьшие.

При выборе наилучшего проекта системы водоотведения населенного пункта, кроме учета технико-экономических показателей, необходимо принимать во внимание ущерб, который будет наноситься окружающей среде при эксплуатации сетей и сооружений. В данном случае речь идет о загрязнении водных объектов бытовыми, дождевыми и производственными стоками. Степень загрязненности зависит, прежде всего, от эффективности работы очистных сооружений, однако немалое значение имеет и техническое решение самой водоотводящей системы. Например, в случае полной раздельной системы весь поверхностный сток может сбрасываться в водоем без очистки, в общесплавной системе во время сильных дождей сбрасывается смесь дождевых и бытовых стоков, а в полураздельной системе в водоем попадают только наименее загрязненные дождевые воды.

Ущерб от загрязнения водных источников представляет собой часть теряемого обществом национального дохода, выступающего в стоимостной и натурально-вещественной форме, как в сфере материального производства, так и в сфере обслуживания [2]. В сферах материального производства и обслуживания потери трудовых затрат, материальные и финансовые ресурсы, связанные с ликвидацией последствий загрязнения водных объектов, определяются следующими основными факторами: увеличением расходов на подготовку воды для питьевого, промышленного и сельскохозяйственного водоснабжения; снижением продуктивности рыбного хозяйства; падением производительности сельского и лесного хозяйства; увеличением расходов в связи с переносом или ликвидацией водозаборов; недобором промышленной и сельскохозяйственной продукции в связи с увеличением заболеваемости трудящихся; ростом расходов на восстановление природного состояния водоемов; увеличением расходов на санитарное обслуживание населенных пунктов и мест массового отдыха; увеличением расходов на медицинское обслуживание в связи с увеличением заболеваемости населения.

Литература:

1. Методика выбора показателей для оценки надежности сложных технических систем / Госкомстандарт СМ СССР, ВНИИ стандартизации. М.: Изд-во стандартов, 1977.
2. Стрелков А.К., Гриднева М.А. Техничко-экономический и экологический анализ эффективности технических решений по защите водотоков от загрязнений. Материалы 64-й Всероссийской научно-технической конференции по итогам НИР университета за 2006 год, 2007 – 438 с.

Для оценки экономического эффекта от природоохранных мероприятий следует руководствоваться типовой методикой. Для этого необходимо сначала рассчитать экономический ущерб от сброса в водный объект загрязненных сточных вод:

$$U = 400 \sigma_k M \quad (3)$$

где σ_k – географическая константа, принимаемая по таблице 1 из Методики,

M – приведенная масса годового сброса примесей источником загрязнения:

$$M = \sum_{i=1}^N A_i \cdot m_i \quad (4)$$

где N – общее число примесей, сбрасываемых объектом,

A_i – показатель относительной опасности i -го вещества, присутствующего в стоках,

m_i – общая масса годового сброса i -го вещества.

Для каждого загрязняющего вещества показатель относительной опасности сброса определяется по формуле:

$$A_i = 1/PDK_i \quad (5)$$

где PDK_i – предельно допустимая концентрация i -го вещества в воде водных объектов, используемых в рыбохозяйственных целях (т.е. предназначенных для разведения пород рыб или других водных организмов).

Общая масса годового сброса i -ой примеси определяют по формуле:

$$m_i = K_i u W_i \quad (6)$$

где K_i – концентрация i -го загрязняющего компонента в сточных водах,

W – годовой объем сточных вод.

Если имеются несколько источников загрязнения, то ущерб от них складывается.

Следующий этап – рассчитывается предотвращаемый экономический ущерб, как разница между ущербами до и после проведения природоохранных мероприятий (J_1 и J_2):

$$J_{\text{пр}} = J_1 - J_2 \quad (7)$$

Затем можно сосчитать предотвращаемый экономический эффект:

$$\mathcal{E}_{\text{пр}} = J_{\text{пр}} - \Pi, \quad (8)$$

где Π – годовые приведенные затраты на осуществление природоохранных мероприятий.

Общая (абсолютная) экономическая эффективность природоохранных затрат определяется по следующей формуле:

$$\mathcal{E}_z = \mathcal{E}_{\text{пр}} / \Pi \quad (9)$$

В некоторых случаях для оценки определяется общая (абсолютная) эффективность капитальных вложений:

$$\mathcal{E}_z = (\mathcal{E}_{\text{пр}} - C) / K, \quad (10)$$

где C – эксплуатационные расходы,

K – капитальные вложения.

Благодаря данному технико-экономическому расчету мы производим выбор самого экономичного проектного решения с учетом ущерба, который будет наноситься окружающей среде при эксплуатации сетей и сооружений.

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Биомониторинг токсичности гетероциклических соединений с высокой антимикробной активностью

Шуршалова Наталья Фердинандовна, кандидат биологических наук, доцент
Саратовский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского

Нечаева Ольга Викторовна, кандидат биологических наук, ассистент
Саратовский государственный медицинский университет имени В. И. Разумовского

Тихомирова Елена Ивановна, доктор биологических наук, профессор,
заведующая кафедрой экологии

Саратовский государственный технический университет имени Ю. А. Гагарина

В последние десятилетия сохраняет свою актуальность проблема распространения антибиотикорезистентных штаммов, решение которой связано с поиском новых высокоэффективных гетероциклических соединений, обладающих антимикробной активностью.

Выявлена высокая антибактериальная активность представителей ряда фенилпентендиона [9, с. 161], установлено эффективное антимикробное действие в отношении различных групп микроорганизмов и противоопухолевая активность соединений ряда халкона [3, с. 37], показаны перспективы поиска высокоэффективных антимикробных соединений среди представителей ряда енаминов [4, с. 21; 12, с. 32] в медицинской практике находят широкое применение препараты, являющиеся производными семикарбазонов, например, антисептик фурацилин (семикарбазон 5-нитрофурурола) и противотуберкулезный препарат тибон (тиосемикарбазон п-ацетамидобензальдегида) [5, с. 357; 10, с. 33].

Установлена высокая антибактериальная активность в

отношении грамположительных и грамотрицательных бактерий данных классов гетероциклических соединений [2, с. 8; 8, с. 66]. Однако современные химиотерапевтические препараты, помимо эффективных антимикробных свойств, должны обладать низкой токсичностью.

Поэтому целью нашей работы явилась комплексная оценка токсичности гетероциклических соединений рядов фенилпентендиона, халкона, полифункциональнозамещенных эфиров, енамина и семикарбазона, обладающих высокой антибактериальной активностью, в отношении биотест-объекта.

В исследованиях использовали гетероциклические соединения, синтезированные на кафедре органической и биоорганической химии Института химии Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского, которые проявили высокую антимикробную активность в отношении различных стандартных и клинических тест-штаммов микроорганизмов (таблица 1) [7, с. 17].

Таблица 1. Перечень гетероциклических соединений, используемых в работе

№ п/п	Лабораторный шифр соединения	Полное название соединения
Ряд фенилпентендиона		
1.	ПНВ-1	2,4-дихлор-1,3,5-трифенил-2-пентен-1,5-дион
Ряд халконов		
2.	ХА-44	3(4(диметиламино)бензилиден)пентан-2,4-дион
3.	ХА-47	Этил-2-(4-гидроксибензилиден)-3-оксобутанкарбоксилат
Ряд полифункциональнозамещенных эфиров		
4.	ПЭ-45	2,2'-ди-(3-фенил-2,4-диацетил-5-гидрокси-5-метилциклоген-1-ил)-диэтиловый эфир
5.	ПЭ-46	2,2'-ди-(3-(3-метокси-4-гидроксифенил)-2,4-диацетил-5-гидрокси-5-метилциклоген-1-ил)-диэтиловый эфир
6.	ПЭ-49	2,2'-ди-(3-(3-нитрофенил)-2,4-диацетил-5-гидрокси-5-метилциклоген-1-ил)-диэтиловый эфир
Ряд енаминов		
7.	Е-4	Этил-2-метил-4-(1-пиперидил)-6-(3-нитрофенил)циклогекса-1,3-диенкарбоксилат - диенамин
Ряд семикарбазонов		
8.	С-9	диэтил-4-гидрокси-4-метил-2-(4-метоксифенил)-6-семикарбазоноциклогексан-1,3-дикарбоксилат
9.	С-10	диэтил-4-гидрокси-4-метил-6-семикарбазоно-2-(2-тиенил)циклогексан-1,3-дикарбоксилат

Скрининг исследуемых соединений по показателям острой токсичности проводили с использованием биотест-

объектов – низших ракообразных *Daphnia magna* Straus по стандартной методике [6, с. 36; 11, с. 65]. Острое токсиче-

ское действие различных концентраций исследуемых соединений на дафний определяли по их смертности (летальности) за определенный период экспозиции. Критерием острой токсичности служила гибель 50% и более дафний за 48 часов в исследуемой пробе при условии, что в контрольном эксперименте все рачки сохраняли свою жизнеспособность.

В экспериментах по определению острого токсического действия устанавливали:

1. Летальную концентрацию исследуемых соединений, вызывающую гибель 100% тест-организмов (ЛК₁₀₀₋₄₈).

2. Среднюю летальную концентрацию, вызывающую гибель 50% и более тест-организмов (ЛК₅₀₋₄₈).

3. Безвредную концентрацию, вызывающую гибель не более 10% тест-объектов за 48-часовую экспозицию (БК₁₀₋₄₈).

4. Минимальную безвредную концентрацию соединений, при которой не наблюдалась гибель организмов (БК₀₋₄₈).

Для определения острой токсичности исследуемых соединений рассчитывали процент погибших в опытных пробах дафний (A , %) по сравнению с контролем:

$$A = \frac{X_K - X_T}{X_K} \times 100\%,$$

где X_K — количество выживших дафний в контроле; X_T — количество выживших дафний в опытных пробах.

Считали, что при $A \leq 10\%$ исследуемые соединения не оказывали острого токсического действия, а при $A \geq 50\%$ — обладали острым токсическим действием.

На основании полученных результатов проводили оценку токсичности изучаемых соединений [1, с. 56].

Через 24 часа экспозиции все особи дафний в опытных и контрольных растворах исследуемых соединений были живые, активно плавали, никаких дополнительных морфологических изменений не наблюдали.

На основании подсчета количества выживших и погибших особей через 48 часов экспозиции во всех опытных и контрольных растворах соединений рассчитывали процент погибших дафний по отношению к контролю. Полученные результаты представлены в таблице 2.

На основании полученных данных были определены показатели острой токсичности для всех исследуемых соединений (таблица 3).

Таблица 2. Выживаемость дафний через 48 часов экспозиции в растворах исследуемых соединений

№	Шифр соединения	Показатель гибели дафний A , %									Контроль
		Концентрации соединений, мкг/мл									
		1000	500	250	125	60,2	30,1	15,6	7,5	3,2	
1.	ПНВ-1	100	50	10	10	0	0	0	0	0	0
2.	ХА-44	100	90	40	40	20	10	10	0	0	0
3.	ХА-47	100	80	20	20	20	20	20	20	20	0
4.	ПЭ-45	100	90	40	40	40	40	40	40	20	0
5.	ПЭ-46	100	80	20	20	20	10	0	0	0	0
6.	ПЭ-49	100	80	20	20	20	20	20	20	20	0
7.	Е-4	100	50	10	10	0	0	0	0	0	0
8.	С-9	100	100	100	100	90	80	80	40	20	0
9.	С-10	100	100	100	100	90	80	80	40	20	0

Таблица 3. Показатели острой токсичности исследуемых соединений (мкг/мл)

№	Лабораторный шифр соединения	ЛК ₁₀₀₋₄₈	ЛК ₅₀₋₄₈	БК ₁₀₋₄₈	БК ₀₋₄₈
1.	ПНВ-1	1000	500	125-250	3,2-60,2
2.	ХА-44	1000	500	15,6-30,1	3,2-7,5
3.	ХА-47	1000	500	—	—
4.	ПЭ-45	1000	500	—	—
5.	ПЭ-46	1000	500	30,1	3,2-15,6
6.	ПЭ-49	1000	500	—	—
7.	Е-4	1000	500	125-250	3,2-60,2
8.	С-9	125-1000	—	—	—
9.	С-10	125-1000	—	—	—

В результате проведенных исследований было установлено, что соединения С-9 и С-10 из ряда семикарбазонов проявили высокую токсичность в отношении биотест-объекта во всех рабочих концентрациях от 3,2 до 1000 мкг/мл. Поэтому невозможно было определить средние летальные и безвредные концентрации данных соединений. Исследованные соединения из ряда полифункциональнозамещенных эфиров оказывали различное действие на тест-объект. Так соединения ПЭ-45 и ПЭ-49 оказывали выраженное токсическое действие на дафнии: их ЛК₁₀₀₋₄₈ составила 1000 мкг/мл, ЛК₅₀₋₄₈ — 500 мкг/мл. Поскольку даже при низких концентрациях этих соединений (7,5 мкг/мл, 3,2 мкг/мл) наблюдалась гибель 20% дафний, то их безвредные концентрации по отношению к изучаемому

биотест-объекту не были установлены.

Для соединения с лабораторным шифром ПЭ-46 значение ЛК₁₀₀₋₄₈ составило 1000 мкг/мл, а ЛК₅₀₋₄₈ — 500 мкг/мл. По показателям жизнеспособности дафний для ПЭ-46 были определены значения БК₁₀₋₄₈, которые располагались в интервале от 15,6 до 30,1 мкг/мл, а также БК₀₋₄₈, значения которых составили 3,2-15,6 мкг/мл. Полученные результаты позволили судить о низкой токсичности данного соединения.

Соединения ряда халконов также оказывали неодинаковое влияние на жизнеспособность биотест-объектов. Так соединение ХА-47 характеризовалось как высокотоксичное по отношению к дафниям, поскольку их гибель даже при низких концентрациях препарата была более 20%, что не

позволило рассчитать значения BK_{1048} и BK_{048} . Для вещества ХА-44 наблюдалось абсолютное летальное острое токсическое действие при концентрации 1000 мкг/мл, среднее летальное действие – при 500 мкг/мл. Кроме того для ХА-44 установлены значения BK_{1048} в интервале от 15,6 до 30,1 мкг/мл, BK_{048} – 3,2-7,5 мкг/мл, что позволило отнести его к малотоксичным соединениям.

Наименьшей токсичностью из всех изученных гетероциклических соединений обладали ПНВ-1 ряда фенилпентендионов и Е-4 ряда енаминов, так как они имели наиболее высокие значения BK_{1048} – 125-250 мкг/мл и BK_{048} – 3,2-60,2 мкг/мл.

Таким образом, все исследованные соединения по отношению к биотест-объекту были разделены на три группы:

1. Высокотоксичные соединения, для которых не представляло возможным определить значения BK_{1048} и BK_{048}

(ПЭ-45, ПЭ-49, ХА-47, С-9 и С-10)

2. Малотоксичные соединения, которые характеризовались низкими значениями BK_{1048} и BK_{048} (ХА-44, ПЭ-46)

3. Нетоксичные соединения, которые характеризовались высокими значениями BK_{1048} и BK_{048} (ПНВ-1, Е-4).

Предварительное определение острой токсичности с помощью биотестирования позволяет в дальнейшем использовать меньшее количество лабораторных животных, что значительно снижает стоимость проводимых исследований.

Таким образом, результаты биомониторинга токсичности препаратов позволяют рассматривать в качестве перспективных малотоксичных химиотерапевтических и антисептических средств с широким спектром антимикробного действия – представителей рядов фенилпентендиона (ПНВ-1), халкона (ХА-44), полифункциональнозамещенных эфиров (ПЭ-46) и енаминов (Е-4).

Литература:

1. Ашмарин И. П., Воробьев А. А. Статистические методы в микробиологических исследованиях. Л.: Изд. мед. лит., 1986. 184 с.
2. Зинина Е. А., Шуршалова Н. Ф., Нечаева О. В., Кривенько А. П., Сорокин В. В. Антимикробная активность N-адамантил-метиленаминоциклогексендикарбоксилатов // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Химия. Биология. Экология. 2012. № 12. Вып. 2. С. 8-9.
3. Зыкова С. С., Одегова Т. Ф. Микробиологические характеристики новых продуктов синтеза 1,6-диарил-3,4-дигидрокси-2,4-гексадиен-1,6-диона с арициденаминами // Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. 2014. № 2. С. 37-42.
4. Короткий Ю. В., Врынчану Н. А., Максимов Ю. Н., Лозинский М. О. Синтез, антимикробная и противогрибковая активность четвертичных солей адамантансодержащих алкоксидиалкиламинопропанолов // Химико-фармацевтический журнал. 2011. № 45. Вып. 1. С. 21-23.
5. Машковский М. Д. Лекарственные средства. 15-е изд. М.: Новая Волна, 2005. 1200 с.
6. Методическое руководство по биотестированию воды РД 118-02-90. Москва: Госкомприрода СССР. 1991. 114 с.
7. Нечаева О. В., Тихомирова Е. И., Шуршалова Н. Ф., Плотников О. П. Перспективы использования гетероциклических соединений в медико-биологической практике (монография) // Международный журнал экспериментального образования. 2014. № 3-2. С. 186-187.
8. Пермякова Н. Ф., Нечаева О. В., Тихомирова Е. И. Перспективные гетероциклические соединения с антимикробной активностью // Фундаментальные исследования. 2009. № 9. С. 66-67.
9. Пчелинцева Н. В. Синтез биологически активных 3-хлорзамещенных гетероциклов на основе дихлорпентендионов // Сб. Химия для медицины и ветеринарии. Саратов: Изд-во СГУ, 1998. С. 161-163.
10. Ревенко М. Д., Присакарь В. И., Диздарь А. В., Стратулат Е. Ф., Коржа И. Д., Прока Л. М. Синтез, антибактериальная и противогрибковая активность халькогенсемикарбазонов 8-хинолинальдегида и их комплексов с медью (II) // Химико-фармацевтический журнал. 2011. № 45. Вып. 6. С. 33-37.
11. Руководство по определению методов биотестирования токсичности вод, донных отложений, загрязняющих веществ и буровых растворов. М.: РЭФИА, НИИ-Природа, 2002. 189 с.
12. Шокова Э. А., Ковалев В. В. Синтез и химические свойства адамантилированных нуклеиновых оснований и родственных соединений // Химико-фармацевтический журнал. 2013. № 5. С. 32-48.

МЕДИЦИНСКИЕ НАУКИ

Выраженность клинической симптоматики и функциональные нарушения у пациентов с ХОБЛ различной степени тяжести, а также при сочетании ХОБЛ и БА

Далгатова Анастасия Николаевна, аспирант кафедры общей врачебной практики (семейной медицины)

Дудина Ольга Владимировна, к.м.н, доцент кафедры ОВП (семейной медицины) ПСПбГМУ им. И.П.Павлова

Хроническая обструктивная болезнь легких (ХОБЛ) является одним из наиболее распространенных заболеваний у человека, занимает ведущее место среди всех хронических заболеваний легких и, по данным ряда авторов, в структуре общей заболеваемости взрослого населения (старше 40 лет) составляет более 10%, и имеет неуклонную тенденцию к росту. Предполагается, что в 2020 г. она выйдет на 5-е место по ущербу, наносимому болезнями в глобальном масштабе. ХОБЛ, занимавшая 6-е место по числу смертей в 1990 г., к 2020 г. выйдет на 3-е место [1].

ХОБЛ составляет 15,3% населения России, или 21 986 100 человек. Полученный результат более чем в 9,3 раза превышает официальные статистические данные (2 355 275 человек) [4]. В России ХОБЛ занимает 4-5 место среди всех причин смерти после ССЗ, диабета и травм [5].

В последние годы большое внимание уделяется сочетанию ХОБЛ и бронхиальной астмы (оверлап-синдром, ACOS), которое проявляется наличием как постепенно прогрессирующей обструкции дыхательных путей, характерной для ХОБЛ, так и частичной обратимостью данной обструкции, эозинофилией мокроты и атопией, присутствующих у астматиков [2].

Материалы и методы:

На базе ПСПбГМУ им. акад. И.П. Павлова было выполнено исследование, включившее 56 человек, из которых 50% составили пациенты с ХОБЛ (группа 1) и 50% составили пациенты с оверлап-синдромом ХОБЛ-БА (группа 2).

В **группе 1** 64% больных были с ХОБЛ легкой и средней степенями тяжести (постбронходилатационный ОФВ₁>50% к долж.) и 36% с тяжелой и крайне тяжелой (постбронходилатационный ОФВ₁<50% к долж.), из них 71% мужчины и 29% женщины

Группу 2 составили пациенты ХОБЛ легкой и средней степенями тяжести (постбронходилатационный ОФВ₁>50% к долж.) в сочетании с БА, из них 43% мужчины и 57% женщины. Диагностика оверлап-синдрома проводилась в соответствии с согласительным документом испанского общества пульмонологов и торакальных хирургов [3].

Всем пациентам были выполнены функция внешнего дыхания, а также предложены опросники: MRS (шкала одышки), САТ-тест (оценка статуса здоровья) и ССQ-опросник (оценка симптомов за 24 часа).

Статистический анализ проводился с помощью программы SPSS (SPSS Inc., США). Количественные переменные представлены в виде среднего арифметического значения \pm стандартное отклонение и 95% доверительный интервал (ДИ). Проверка гипотез о равенстве двух средних проводилась с помощью U-критерия Манна-Уитни для малых выборок, корреляционный анализ - по методу Спирмена. Статистически значимыми считали различия при $p < 0,05$.

Таблица 1. Основные клинические характеристики у больных ХОБЛ и оверлап-синдромом

	ХОБЛ (группа 1)		ХОБЛ + БА (группа 2)
	ХОБЛ А,В	ХОБЛ С,Д	
Возраст, лет	67 \pm 7,1	66 \pm 10,3	62,4 \pm 3,3
ИМТ, кг/см ²	25,6 \pm 5,5	27,1 \pm 4,3	30,2 \pm 2,8
Стаж курения, пачка/лет	36 \pm 14	53 \pm 30	35 \pm 9,5

Результаты и обсуждения:

Таким образом, при сравнении 2-х групп ХОБЛ по степени тяжести, у больных с тяжелой и крайне тяжелой ХОБЛ ожидаемо значительно хуже показатели индекса Тиффно и постбронходилатационного ОФВ₁, в то время как по парциальному давлению кислорода и углекислого газа в артериальной крови пациенты не различались.

Таблица 2. Показатели функции внешнего дыхания (ФВД) у больных ХОБЛ в зависимости от степени тяжести

	ХОБЛ А,В	ХОБЛ С,Д	p
Инд.Тиффно, %	61,2 \pm 3,6	36,8 \pm 3,3	< 0,01
ОФВ ₁ после бронхолитика, % к должному	72,5 \pm 8,2	35,8 \pm 7	< 0,01
РаО ₂ , мм.рт.ст.	75,3 \pm 4,6	71,6 \pm 4,5	> 0,05
РаСО ₂ , мм.рт.ст.	36,2 \pm 1,3	37,9 \pm 2,2	> 0,05

По оценке результатов тестирования с помощью опросников MRS (шкала одышки), САТ-теста (оценка статуса здоровья) и ССQ-опросника (оценка симптомов за 24 часа) получены значимые отличия у пациентов в зависимости от степени тяжести ХОБЛ: при ХОБЛ тяжелого и крайне тяжелого течения количество баллов по всем трем опросникам больше, что говорит о более выраженной одышке, более сильном влиянии заболевания на жизнь пациента и большем количестве симптомов за последние сутки.

Таблица 3. Опросники у больных ХОБЛ в зависимости от степени тяжести

	ХОБЛ А,В	ХОБЛ С,Д	р
MRS, баллы	1,4±0,3	2,8±0,7	< 0,01
САТ, баллы	12,5±3,4	20,6±3,8	< 0,01
ССQ, баллы	18,4±3,8	28±6,5	< 0,01

Следует отметить, что при сравнении групп больных с ХОБЛ и оверлап-синдромом, в группе ХОБЛ были использованы данные пациентов с ХОБЛ А,В (легкой и средней степенями тяжести), т.к. в результате анализа данных выяснилось, что группу с оверлап-синдромом составили больные с ХОБЛ А,В и бронхиальной астмой.

Таким образом, при сравнении данных групп выяснилось, что по показателям индекса Тиффно и постбронходилатационного ОФВ1, а также по парциальному давлению кислорода и углекислого газа в артериальной крови пациенты не различались.

Таблица 4. Показатели функции внешнего дыхания у больных ХОБЛ и больных оверлап-синдромом

	ХОБЛ АВ	ХОБЛ АВ +БА	р
Инд.Тиффно, %	61,2±3,6	57,8±4	> 0,05
ОФВ1 после бронхолитика, % к должному	72,5±8,2	70,3±6,5	> 0,05
РаО2, мм.рт.ст.	75,3±4,6	77±2,5	> 0,05
РаСО2, мм.рт.ст.	36,2±1,3	37,4±0,6	> 0,05

По оценке результатов тестирования с помощью опросников MRS (шкала одышки), САТ-теста (оценка статуса здоровья) и ССQ-опросника (оценка симптомов за 24 часа) получены значимые отличия только по САТ-тесту: больше баллов, а следовательно больше симптомов, у пациентов с сочетанием ХОБЛ и БА. По MRS и ССQ-опроснику пациенты также в среднем набрали больше баллов, чем пациенты с ХОБЛ.

Таблица 5. Опросники у больных ХОБЛ и больных оверлап-синдромом

	ХОБЛ АВ	ХОБЛ АВ +БА	р
MRS, баллы	1,4±0,3	1,9±0,9	> 0,05
САТ, баллы	12,5±3,4	16,9±2,6	< 0,05
ССQ, баллы	18,4±3,8	28±6,5	> 0,05

Таким образом, можно сделать вывод, что у пациентов с ХОБЛ существует прямая зависимость между тяжестью состояния по результатам функционального обследования и субъективными ощущениями больного (количество баллов по опросникам). В то время, как у пациентов с оверлап-синдромом, при сравнении с пациентами с ХОБЛ без бронхиальной астмы, более выражены клинические симптомы, хотя степень функциональных нарушений не отличается.

Литература:

1. Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease (GOLD). Global strategy for diagnosis, management, and prevention of chronic obstructive pulmonary disease. NHLBI/WHO workshop report. Last updated 2013. www.goldcopd.org
2. Diagnosis of Diseases of Chronic Airflow Limitation: Asthma, COPD and Asthma-COPD Overlap Syndrome (ACOS). Global Strategy for Asthma Management and Prevention, 2014. <http://www.ginasthma.org>
3. Soler@Catalun~a J.J., Cosio B., Izquierdo J.L. et al. Consensus document on the overlap phenotype COPD–Asthma in COPD. Arch. Bronconeumol. 2012; 48 (9): 331–337.
4. Итоги проекта GARD. Справочник поликлинического врача. 2014; 10: 40.
5. ПРОНИНА Е.Ю. ВЕРШИНА АЙСБЕРГА: ЭПИДЕМИОЛОГИЯ ХОБЛ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ) // Вестник современной клинической медицины. 2011. №3. С.18-23.

ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИЕ НАУКИ

Определение золпидема в биологических объектах лабораторных животных

Чепурная Галина Павловна, старший преподаватель кафедры фармации;
 Карташов Владимир Антонович, доктор фармацевтических наук, профессор;
 Чернова Лариса Владимировна, кандидат фармацевтических наук, доцент
 Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
 «Майкопский государственный технологический университет» (г. Майкоп)

В исследовательских работах по химико-токсикологическому анализу, посвящённых разработке методов определения токсических веществ в тканях внутренних органов, принято проводить эксперименты на модельных объектах. Для этого к измельчённой ткани или крови добавляют определённое количество токсического вещества и через некоторое время проводят исследование. Однако этого недостаточно, т.к. попадающее в живой организм вещество подвергается различным превращениям: активно связывается с белками и другими эндогенными соединениями, метаболизируется, депонируется, выводится из организма и т.д. Для рекомендации в практику судебно-химических (химико-токсикологических) лабораторий мето-

дику необходимо апробировать в опытах на животных.

Разработанная нами методика на модельных образцах была применена для определения золпидема в трупной крови и печени [1, с. 60-62; 2, с. 128-131]. Целью настоящей работы является апробация методики в опытах на животных (крысах).

Для этого были использованы три беспородные лабораторные крысы, каждой из которых с помощью зонда в желудок вводили лекарственный препарат в виде суспензии, содержащей 20, 30, 40 мг золпидема тартрата, соответственно. Через 1 час 50 минут крысы были умерщвлены путём эфирного наркоза. После вскрытия крыс были исследованы печень, почки, легкие, кровь (табл. 1).

Таблица 1. Объекты исследования крыс

Лабораторные животные	Объекты			
	Печень (г)	Почки (г)	Легкие (г)	Кровь объединили (мл)
Первая крыса	5	2,6	5	5
Вторая крыса	5	2,8	—	
Третья крыса	5	2,6	—	

Методика. 5,0 г измельченной ткани печени помещали в три пенициллиновых флакона вместимостью 20 мл, добавляли 10,0 мл ацетона и экстрагировали путём тщательного встряхивания в течение 10 мин. В каждом случае ацетоновый экстракт отделяли от ткани центрифугированием при 3000 об/мин, фильтровали через небольшой ватный тампон в пенициллиновый флакон. Процедуру экстрагирования повторяли ещё раз с использованием 5,0 мл ацетона. Ацетоновые экстракты, полученные на каждой ступени, объединяли и выпаривали на водяной бане при 40°C и слабом потоке воздуха до удаления растворителя. К остатку во флаконе добавляли по 5,0 мл 0,1 н. раствора соляной кислоты и *n*-гексана, содержимое тщательно встряхивали в течение 5 мин, фазы разделяли путем центрифугирования.

Водную фазу отделяли, подщелачивали раствором гидроксида аммония до pH 9 и экстрагировали 5 мл хлороформа. Хлороформный слой отделяли, выпаривали, сухой остаток растворяли в небольшом количестве хлороформа и количественно в виде полосы наносили на стартовую линию пластины Сорбфил 100x150 мм с флюоресцирующей добавкой. Хроматографирование проводили в системе ацетон параллельно со смесью пяти метчиков (кодеин, дикаин, новокаин, амидопирин, сибазон) и рабочего стандартного образца золпидема в камере, без насыщения парами растворителя [3, с. 16].

После проведения ТСХ-скрининга и рассматривания хроматограммы в УФ-свете (254 нм) обнаружено гашение флюоресценции в виде четырех полос темно-сиреневого

цвета (рис.1-а): две полосы в четвертой хроматографической группе (полосы 3 и 3') и по одной полосе в пятой и шестой группах (полосы 4 и 5). Далее хроматограмму обрабатывали реактивом Драгендорфа: проявились две полосы (в четвертой и пятой хроматографических группах), пятна метчиков и рабочего стандартного образца золпидема, окрашенные в жёлто-оранжевый цвет (рис.1-б). Интенсивно окрашенная полоса в пятой хроматографической группе (полоса 4) совпала с пятном золпидема, индекс удерживания которых равен $5,19 \pm 0,09$. Менее интенсивно окрашенная полоса в четвертой группе (полоса 3) содержит вещество, которое может быть метаболитом золпидема. Не окрашенные полосы являются, по-видимому, при-месными соединениями.

Вещества из каждой отмеченной полосы элюировали путем экстракции хлороформом из щелочной среды. Хлороформные экстракты отделяли путем центрифугирования, фильтровали через сухой бумажный фильтр в присутствии безводного сульфата натрия и выпаривали досуха при 40°C на водяной бане под слабым током воздуха. Полученные сухие остатки растворяли в 5 мл спирта и спектрофотометрировали в диапазоне 200 – 400 нм (раствор сравнения – этанол).

Результаты показаны на рис. 3 и 4, из которых следует, что спектр вещества полосы 4 полностью соответствует спектральной кривой золпидема. Вещество полосы 3 имеет два максимума поглощения, совпадающие с максимумами абсорбции золпидема, является, по-видимому, метаболитом золпидема. Спектральная кривая вещества поло-

сы 5, не имеющая экстремумов, с учётом данных ТСХ-анализа, может быть отнесена к спектру примесного соединения.

Изолирование золпидема из других биологических объектов крыс проводили по методике, описанной выше, соблюдая соотношение: навеска объекта-растворитель 1:2.

При исследовании экстрактов из крови и почек методом ТСХ-скрининга обнаружено гашение флюоресценции в виде двух полос темно-сиреневого цвета в IV и V хроматографических группах.

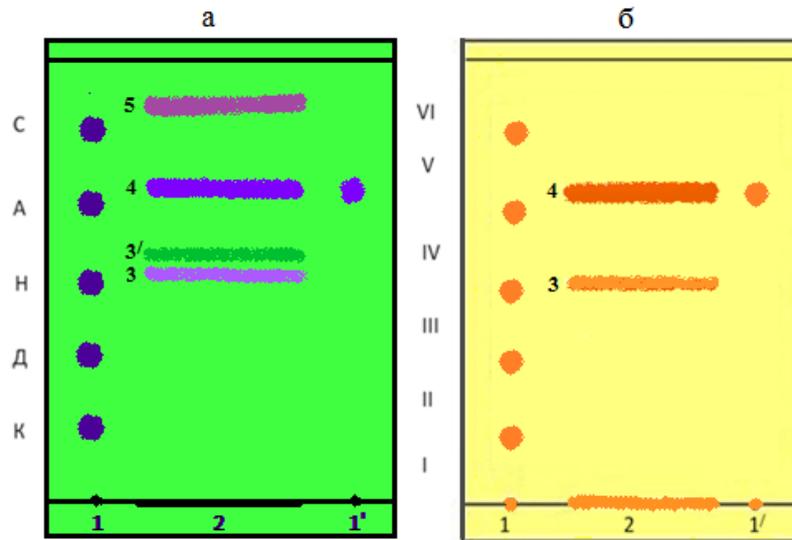


Рис. 1. Хроматограммы при детектировании в УФ-свете при 254 нм (а) и после обработки реактивом Драгендорфа (б): 1 - точка нанесения смеси метчиков, 1' - точка нанесения стандартного вещества, 2 - полоса нанесения экстракта, 3 - полоса метаболита золпидема, 4 - обнаруженная полоса золпидема, 3' и 5 - полосы неизвестного вещества (возможно примесного соединения); I-VI - хроматографические группы.

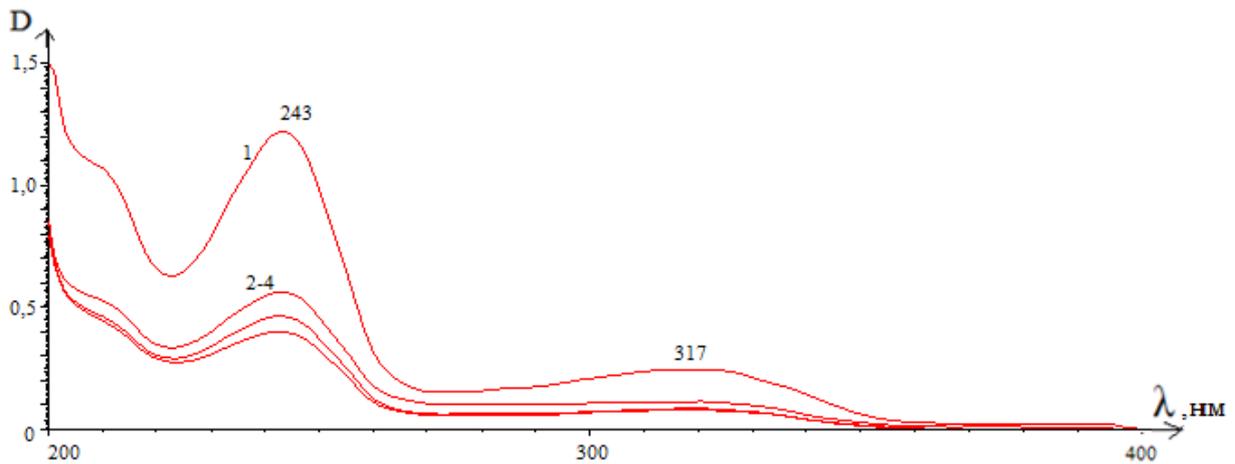


Рис.3. Спектры абсорбции стандартного образца золпидема (1) и золпидема, выделенного из ткани печени крыс (2-4)

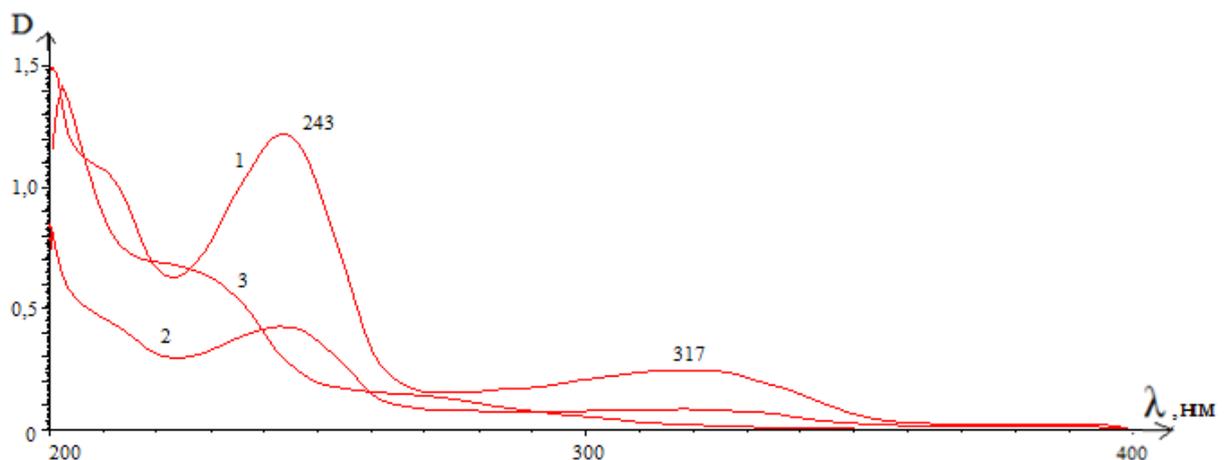


Рис.4. Спектры абсорбции стандартного образца золпидема (1) и его метаболита, выделенного из ткани печени крыс (2), спектр примесного соединения (3)

После обработки этих хроматограмм реактивом Драгендорфа, были обнаружены те же две полосы 3 и 4 оранжевого цвета (рис. 1-б). Спектральные кривые веществ пятой хроматографической группы совпадают со спектром золпидема. Спектральная кривая вещества четвертой хроматографической группы аналогична спектру поглощения метаболита золпидема, выделенного из печени крысы.

Следовательно, из печени, почек и крови крысы выделен метаболит, который имеет одинаковые спектральные характеристики с нативным веществом, но отличается по хроматографической подвижности.

После проведения ТСХ-скрининга экстракта из легких и рассматривания хроматограммы в УФ-свете (254 нм) была обнаружена одна флуоресцирующая полоса в V хроматографической группе напротив стандарта золпиде-

ма, которая после последующей обработки реактивом Драгендорфа приобрела желто-оранжевый цвет. Метаболит золпидема в данном объекте обнаружен не был.

Количественное определение золпидема, выделенного из биологических объектов, проводили по стандарту. Оптическая плотность спиртового раствора золпидема, содержащего 10 мкг/мл, измеренная при 243 нм, равна 1,220 (линейность наблюдается от 0,625 до 10 мкг/мл). Данные экспериментов приведены в табл. 2.

Таким образом, результаты выполненных экспериментов показали, что описанная методика экстракционного выделения, идентификации и количественного определения золпидема применима для анализа посмертных образцов лабораторных животных.

Таблица 2. Результаты определения золпидема в биологических объектах крысы

Биологические объекты	Лабораторные животные					
	Крыса 1 (20 мг)		Крыса 2 (30 мг)		Крыса 3 (40 мг)	
	D	Выход (мкг)	D	Выход (мкг)	D	Выход (мкг)
Печень	0,562*	46,1	0,463*	37,9	0,399	16,4
Легкие	0,570	23,4	—	—	—	—
Почки	0,330	13,5	0,318	13,1	0,681	27,9
Кровь	0,817*			66,9		

Примечание: * - сухие остатки растворяли в 10 мл спирта

Литература:

1. Чепурная Г.П. Определение Z-препаратов в трупной крови // Разработка и регистрация лекарственных средств. — 2015. - № 4. - С. 60-62.
2. Карташов В.А., Чепурная Г.П., Чернова Л.В. Изолирование и определение золпидема в ткани печени. Перспективы развития современной медицины // Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. — Воронеж, 2014. — С. 128-131.
3. Карташов В.А., Чернова Л.В. Химико-токсикологический анализ. Ч. 2: Методы исследования. Тонкослойная хроматография. — Майкоп: Качество, 2011. — 92 с.

Общеизвестные и новые аспекты в изучении кетамина (обзор зарубежных исследований)

Чуенкова Елена Александровна

Республиканская клиническая больница Министерства здравоохранения Республики Татарстан
(главный врач – Р.Ф. Гайфуллин)

Зиганшина Лилия Евгеньевна, доктор медицинских наук, профессор,
кафедра фундаментальной и клинической фармакологии
Казанский федеральный университет

Введение

1962 год официальная дата разработки в лаборатории Parke Davis Кельвином Стивенсом кетамина, анестетика короткого действия и сильнейшего галлюциногена. Профессор Эдвард Домино в 1965 после рекреационного использования кетамина описал его психоделические свойства: «искажение зрительного восприятия [39], звуков, иллюзорное отображение окружающей среды и себя в ней», и ввел термин «диссоциативная анестезия». Применяется с 1969 года в виде кетамина гидрохлорида. Вследствие его уникальных фармакологических свойств массово использовался во время войны во Вьетнаме в качестве «полевого» анестетика [12].

Получил широкое распространение с конца 1970-х годов в среде последователей хиппи движения и психоделических практик в силу выраженного галлюциногенного эффекта, в 1990-х это распространенный, дешевый и до-

ступный клубный наркотик, с 1999 года становится контролируемым веществом в Америке - список III [10]. В России постановлением Правительства РФ от 30 июня 1998 г. N 681 "Об утверждении перечня наркотических средств, психотропных веществ и их прекурсоров, подлежащих контролю в Российской Федерации" отнесен к категории учета класса А [3].

На сегодняшний день широко обсуждается ужесточение принципов наркополитики в отношении кетамина. Виллем Шолтен, руководитель экспертной группы Международного комитета по контролю над наркотиками, сообщает, 13 марта 2015 года было рассмотрено предложение Китая о внесении кетамина в список I Конвенции ООН о психотропных веществах. Изменение не было принято, что было аргументировано жизненной необходимостью применения кетамина в экстренных ситуациях (таких как, например, кесарево сечение), при проведении амбула-

торных, малоинвазивных оперативных вмешательствах, особенно в труднодоступных районах развивающихся стран не располагающих возможностью использования других препаратов. Но, более 50 стран усилили контроль за использованием кетамина в своем национальном законодательстве, как в самостоятельном виде международной конвенции о контроле за наркотиками [21].

Современное понимание механизма действия кетамина

Механизм действия кетамина обусловлен выраженным, избирательным подавляющим влиянием на ионные (кальциевые) токи, появляющиеся ввиду активации глутаматных NMDA (N-метил-D-аспартат) рецепторов ассоциативной зоны таламуса и других структур головного мозга [1].

Показан значительный агонизм с рецепторами α -Амино-3-гидрокси-5-Метил-4-изоксазол Пропионово́й кислоты (AMPA) и антагонизм с NMDA рецепторами, что, как предполагается, лежит в основе антидепрессивного эффекта субанестезирующих доз кетамина [16].

В модельных экспериментах на животных показано, что на фоне введения субанестезирующих доз кетамина происходит снижение дефицита возбуждающих постсинаптических токов, генерируемых в верхушечных дендритных шипиках пирамидальных клеток 5 слоя медиальной префронтальной коры. Продемонстрирована множественность локализации эффектов кетамина: усиление возбуждающих верхушечных постсинаптических токов во всех субрегионах медиальной префронтальной коры, передней части поясной извилины, прелимбальной и инфраламбарной областях. Усиление возбуждающих верхушечных постсинаптических токов, индуцированное гормонами стресса, присутствовало лишь в передней части поясной извилины и прелимбальной области, в то время как в инфраламбарной области, критической для подавления реакции на стресс, оставалось неизменным. Это, возможно, нивелирует гипотетическое непропорциональное отрицательное влияние клеток базальной миндалины при хроническом стрессе и депрессивных состояниях [28]. В экспериментах на животных показано воздействие кетамина на повсеместно распределенные в центральной нервной системе GPCR рецепторы, а так же на рецепторы обонятельных сенсорных нейронов [20], предполагается аналогичное воздействие на организм человека [40].

Проведенные на крысах доклинические исследования, при моделировании нейропатической боли, показали снижение гипералгезии и улучшение антиноцицептивного реагирования на опиоиды на фоне долговременной инфузии субанестезирующих доз кетамина совместно с применением опиоидов [29].

Изучено противовоспалительное действие препарата. Кетамин дозозависимо снижал уровень цитокиновых провоспалительных медиаторов; амфотерина (HMGB1), оксида азота, фактора некроза опухоли α и интерлейкина 1β и увеличивает экспрессию гемоксигеназы-1 макрофагами, активированными липополисахаридами, подавляет фосфорилирование и деградацию IkB- α киназу, стимулированную липополисахаридами ядерную транслокацию цитоплазматического фактора транскрипции (NF-kB p65) в макрофагах. Показано, что кетамин ингибирует высвобождение амфотерина (HMGB1) в стимулированных липополисахаридами макрофагах, этот эффект частично опосредован активацией Nrf2 / HO-1 антиоксидантного пути и подавлением транскрипции цитоплазматического

фактора [37].

Особенности фармакокинетики, неблагоприятные лекарственные реакции и вариации клинического использования кетамина

Клинически подтвержденными эффектами кетамина являются: седация, анальгезия, выключение сознания и антидепрессивное действие [20]. Современными исследованиями установлено, что группа антагонистов глутаматных метаботропных рецепторов N-метил-D-аспартата (NMDA), (кетамин) и агонисты α -амино-3-гидрокси-5-метил-4-изоксазолпропионово́й кислоты (AMPA) обладают свойствами антидепрессантов [15].

В результате ретроспективного анализа данных службы Скорой помощи штата Виктория (Австралия) за год (2012 - 2013), полученных от 1519 пациентов, транспортированных вертолетом с оказанием неотложной помощи на догоспитальном этапе фельдшерами, выявлено, что кетамин вводили одной пятой части всех пациентов с травматическими поражениями. Отмечалось снижение числа пострадавших с крайне интенсивной болью с 33,8 до 3,2%; клинически значимое снижение боли было достигнуто у 87%; летальность после крупных травм была снижена на 7,6% [7].

Кетамин применяется в субанестезирующих дозах для лечения острой боли [31], хронической боли (в виде S-кетамин) [18], для дальнейшего обезболивания после проведения спинномозговой анестезии, в том числе у детей [4], его рассматривают как более безопасную альтернативу опиоидам [34].

В то же время, при проведении четырех рандомизированных клинических исследований, включающих 428 пациента не было обнаружено четких доказательств ни для опровержения, ни для обоснования применения субанестезирующих доз кетамина для терапии острой боли [36]. Это, вероятно, объясняется большой вариабельностью реакций на введение препарата из-за различий концентрации в плазме. К настоящему времени установлено, что кетамин подвергается биотрансформации в печени с образованием менее активного норкетамин, а затем до водорастворимых соединений [2].

Недавними исследованиями *in vitro* было показано, что полиморфная аллель CYP2B6*6 отвечает за выраженное замедление метаболизма кетамина. Клиническое исследование, проведенное у 49 пациентов с хронической болью, продемонстрировало уменьшение скорости метаболизма кетамина у пациентов, имеющих CYP2B6*6 аллель, приводящее к увеличению его концентрации в плазме, что могло быть связано с более высокой частотой побочных эффектов [26].

Широко известны отрицательные эффекты кетамина; бред, галлюцинации, часто устрашающего характера, вплоть до развития психоза в послеоперационном периоде. Но, практика анестезиологического обеспечения амбулаторных вмешательств показала, что введение низких доз кетамина в сочетании с мидазоламом, пропофолом и фентанилом при проведении амбулаторной колоноскопии вызывало более быстрый и качественный седативный эффект, на фоне более стабильной гемодинамики, приводило к уменьшению числа нежелательных лекарственных реакций, сокращению времени постнаркозной реабилитации и к снижению потребности в пропофоле [38].

Рандомизированное исследование, проведенное в штате Джорджия, включившее 100 пациентов в возрасте от 20

до 60 лет, перенесших интубацию трахеи при проведении общей анестезии показало, что распыление небулайзером кетамина (50 мг в 4 мл физиологического раствора в течение 15 минут) значительно ослабляло частоту и тяжесть послеоперационной боли в горле, развивающейся у 21-65% пациентов, особенно в раннем послеоперационном периоде, без каких-либо побочных эффектов [5].

Преимущества кетамина были также продемонстрированы результатами рандомизированного исследования, проведенного у 90 пациентов (в возрасте 4-10 лет) по хирургической коррекции косоглазия, нередко сопровождающейся развитием выраженной брадикардии вплоть до остановки сердечной деятельности вследствие окулокардиального рефлекса. Это исследование показало, что индукция кетамином предотвращает развитие этого грозного осложнения, надежнее и безопаснее, чем введение атропина [17].

Проведенный в 2013 году систематический обзор с мета-анализом результатов клинических испытаний показал, что антидепрессивный эффект кетамина выражен, статистически значим, характеризуется быстрым развитием и хорошей переносимостью [25]. Отмечена также потенциальная роль кетамина как бустера стандартной терапии эмоциональных расстройств [30]. Описан опыт ежедневного приема кетамина (1-3 грамма) в течение 5 лет человеком, длительно страдавшем зависимостью от психоактивных веществ. Результатом приема кетамина был выраженный антидепрессивный эффект и снижение тяги к алкоголю, после отмены кетамина отсутствовали проявления абстинентного синдрома, как и какие-либо когнитивные дефициты [27]. Клинические исследования кетамина демонстрируют на фоне минимальных и краткосрочных побочных эффектов не только быстрое и эффективное лечение депрессии, но и снижение суицидальных мыслей [35]. Даже при лечении резистентной к имеющемуся на сегодняшний день арсеналу антидепрессантов кетамин показал быстро развивающиеся и выраженные антидепрессивные свойства: после однократной внутривенной инфузии кетамина 64% пациентов сообщили о меньшем числе симптомов депрессии в течение одного дня по сравнению с 28% пациентов в группе, получавших мидазолам [13]. Этот эффект кетамина сопровождался психомиметическими эффектами, что, несомненно, требует дальнейшего изучения [33].

В течение последних двух лет появились сообщения об увеличении числа молодых людей, использующих кетамин для приобретения психоделического опыта, в развлекательных целях при проведении клубных вечеринок ввиду его выраженного галлюциногенного эффекта [22].

Проведение мониторинга на национальном уровне в Соединенных штатах Америки показало, что почти 3% учащихся 12-го класса использовали кетамин в 2002 году [24].

Немедикаментозное использование кетамина нередко влечет за собой появление проблем мочевыводящей системы; частые, болезненные мочеиспускания, дизурия, гематурия, недержание мочи, вплоть до развития почечной недостаточности, порой необратимого характера [19]. Эти эффекты кетамина подтверждены в исследованиях на крысах. При длительном введении высоких доз кетамина (в течение 3-х месяцев) выявлены уменьшение массы тела, развитие поведенческих признаков наркомании, дисфункции и повреждения эпителия мочевого пузыря, усиленный апоптоз в тканях мочевого пузыря, индукция экспрессии Вах, цитохрома С и каспазы-3, ингибирование экспрессии

цитоплазматического фактора транскрипции NF-κB и регулятора апоптоза Bcl-2[41].

В Кокрейновской Библиотеке систематических обзоров приводятся следующие доказательства эффективности кетамина при различных клинических случаях.

В результате тридцати семи рандомизированных клинических исследований (2240 пациентов) было установлено, что субанестезирующие дозы кетамина отчетливо снижали потребность в анальгезии морфином в раннем послеоперационном периоде (первые 24 часа после операции), а также приводили к уменьшению послеоперационной тошноты и рвоты. Побочные эффекты отсутствовали или были невыраженными [9]. Продолжаются исследования эффективности применения сочетания морфина и кетамина для купирования боли у онкологических пациентов; два небольших исследования показывают эффективность этой комбинации, но данных недостаточно для окончательных выводов и требуется проведение дополнительных исследований [8].

Основываясь на наличии бронхолитических свойств кетамина дискутируется возможность его применения для купирования резистентных к стандартной терапии тяжелых приступов бронхиальной астмы. Приводится одно исследование доказывающее эффективность применения кетамина для купирования острого тяжелого бронхоспазма у детей при обострении бронхиальной астмы, что, безусловно, подчеркивает необходимость дальнейшего изучения этого направления применения кетамина [23].

Был выполнен масштабный мета-анализ 40 рандомизированных клинических исследований (РКИ) по профилактике развития хронической послеоперационной боли, включивший в себя применение препаратов различных фармакологических групп; внутривенное введение кетамина (14 РКИ), таблетированный габапентин (10 РКИ), таблетированный прегабалин (5 РКИ), нестероидные противовоспалительные средства (3 РКИ), внутривенное введение стероидов (3 РКИ), таблетированные N метил-D-аспарат (NMDA) блокаторы (3 РКИ), таблетированный мексилетин (2 РКИ), внутривенное введение фентанила (1 РКИ), внутривенное введение лидокаина (1 РКИ), таблетированный венлафаксин (1 РКИ) и вдыхание паров закиси азота (1 РКИ). Отмечено небольшое, но статистически значимое снижение уровня развития хронической боли после операции на фоне применения кетамина, но не габапентина или прегабалина. Хотя ограниченность группы (<100 участников) не позволяет сделать окончательные выводы в отсутствие возможности нивелирования завышения эффекта ввиду малочисленности выборки [11].

С момента широкого внедрения в педиатрическую практику анестезии ингаляционным анестетиком севофлюраном известны достаточно частые послеоперационные расстройства поведения проявляющиеся агитацией и бредом пациента в момент пробуждения и ближайшие 30 минут. Проанализировано 158 исследований с участием 14 045 детей. Выводом стало; применение пропофола, галотана, альфа-2 агонистов (дексметомидина, клонидина), опиоидов (фентанила) и кетамина риск развития агитации отчетливо снижался, доказательств влияния применения десфлурана, включения в премедикацию мидазолама и родительского присутствия при пробуждении не было найдено, при уровне доказательности от умеренного до высокого. Требуется разработка мультимодального подхода для снижения риска развития осложнений в процессе постнаркозной реабилитации [14].

Приводятся исследования низкого уровня доказательности о возможности применения ежедневно внутривенных инфузий кетамина, для лечения боли при комплексном региональном болевом синдроме. Изучение потенциальной возможности применения кетамина в этой области имеет жизненно-важное значение и является необходимым в современных условиях [32]. В настоящее время так же су-

Заключение

Дальнейшее изучение многочисленных свойств кетамина во всей многогранности его применения, оптимизации дозирования и особенностях метаболизма позволит внести неоценимый вклад в облегчение страданий миллионов людей.

Литература:

1. Большой справочник лекарственных средств / под ред. Л. Е. Зиганшиной, В. К. Лепихина, В. И. Петрова, Р. У. Хабриева. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2011. – с.2606-2608.
2. Рациональная фармакоанестезиология. Руководство для практикующих врачей / под ред. Бунятыян А.А., Мизикова В.М. М.: Литтера, 2006. – с.795.
3. Система ГАРАНТ информационно-правовой портал. Постановление Правительства РФ от 30 июня 1998 г. N 681 [Электронный ресурс] <http://base.garant.ru/12112176/#ixzz3YRIantmo>. (дата обращения: 26.06.2015).
4. Ahuja, S. Efficacy of caudal fentanyl and ketamine on post-operative pain and neuroendocrine stress response in children undergoing infraumbilical and perineal surgery: A pilot study. / S. Ahuja, S. Yadav, N. Joshi, S. Chaudhary, S.V. Madhu. // J. Anaesth. Clin. Pharmacol. –2015. – Jan-Mar –V.31 (1) – pp.104- 109.
5. Ahuja, V. Nebulized ketamine decreases incidence and severity of post-operative sore throat. / V. Ahuja, S. Mitra, R. Sarna. // Indian J Anaesth. –2015. – Jan –V.59 (1) – pp.37-42.
6. Alviar M.J.M. Pharmacologic interventions for treating phantom limb pain. / M.J.M. Alviar, T. Hale, M. Dungca // Cochrane Database of Systematic Reviews 2011, Issue 12. Art. No.: CD006380. DOI: 10.1002/14651858.CD006380.pub2.
7. Andrew, E. Characteristics of Patients Transported by a Paramedic-staffed Helicopter Emergency Medical Service in Victoria, Australia. / E. Andrew, A. de Wit, B. Meadley, S. Cox, S. Bernard, K. Smith // Prehosp. Emerg. Care. –2015. – Feb– N 17.
8. Bell, R.F. Ketamine as an adjuvant to opioids for cancer pain. / R.F. Bell, C. Eccleston, E.A. Kalso // Cochrane Database of Systematic Reviews 2012, Issue 11. Art. No.: CD003351. DOI: 10.1002/14651858.CD003351.pub2
9. Bell, R.F., Perioperative ketamine for acute postoperative pain. / J.B. Dahl, R.A. Moore, E.A. Kalso // Cochrane Database of Systematic Reviews 2006, Issue 1. Art. No.: CD004603. DOI: 10.1002/14651858.CD004603.pub2.
10. By Jo Macfarlane for MailOnline Updated: 11:34 GMT, 3 October 2010
11. Chaparro, L.E. Pharmacotherapy for the prevention of chronic pain after surgery in adults. / L.E. Chaparro, S. A. Smith, R. A. Moore, P.J. Wiffen, I. Gilron // Cochrane Database of Systematic Reviews 2013, Issue 7. Art. No.: CD008307. DOI: 10.1002/14651858.CD008307.pub2.
12. Chen, L. Follow Me Down the K-hole: Ketamine and Its Modern Applications. / L.Chen, T. Malek // Crit. Care. Nurs. – 2015. – Apr-Jun; 38(2) Q. 2015 211-6. doi: 10.1097/CNQ.0000000000000064.
13. 'Club Drug' Ketamine Lifts Depression in Hours By Maia Szalavitz @maiasz May 22, 2013
14. Costi, D. Effects of sevoflurane versus other general anaesthesia on emergence agitation in children. / D. Costi, A.M. Сyna, S. Ahmed, K. Stephens, P. Strickland, J. Ellwood, J.N. Larsson, C. Chooi, L.L. Burgoyne, P. Middleton // Cochrane Database of Systematic Reviews 2014, Issue 9. Art. No.: CD007084. DOI: 10.1002/14651858.CD007084.pub2.
15. Deutschenbaur, L. Role of calcium, glutamate and NMDA in major depression and therapeutic application. / L. Deutschenbaur, J. Beck, A.Kiyhankhadiv, M. Mählhauser, S. Borgwardt, M. Walter, G. Hasler, D. Sollberger, U.E. Lang. // Prog. Neuropsychopharmacol Biol. Psychiatry. –2015. – Mar– N 4. pii: S0278-5846(15)00049-4. doi: 10.1016/j.pnpbp.2015.02.015.
16. El Iskandrani, K.S. Impact of subanesthetic doses of ketamine on AMPA-mediated responses in rats: An in vivo electrophysiological study on monoaminergic and glutamatergic neurons. / K.S. El Iskandrani, C.A. Oosterhof, M. El Mansari, P. Blier. // J.Psychopharmacol. –2015. – N 10. –pii: 0269881115573809.
17. Espahbodi, E. Ketamine or Atropine: Which One Better Prevents Oculocardiac Reflex during Eye Surgery? Prospective Randomized Clinical Trial. / Espahbodi E, Sanatkar M, Sadrossadat H, Darabi Vafsi ME, Azarshahin M, Shoroghi M. // Acta Med Iran. –2015. – Mar –V.53 (3) – pp.158-161.
18. Fanta, S. Population pharmacokinetics of S-ketamine and norketamine in healthy volunteers after intravenous and oral dosing. / S. Fanta, M. Kinnunen, J.T. Backman, E. Kalso // Eur. J. Clin. Pharmacol. –2015. – Apr –V71 (4) – pp.441- 447. doi: 10.1007/s00228-015-1826-y.
19. Follow us: @MailOnline on Twitter | DailyMail on Facebook Hospitals-battle-party-drug-Special-K-victims-weak-bladders.Read more: [Электронный ресурс] <http://www.dailymail.co.uk/news/article-1317191/html#ixzz3TE0cmpW> (дата обращения: 18.12.2014).
20. Ho, J. Molecular recognition of ketamine by a subset of olfactory G protein-coupled receptors. / J.Ho, J.M. Perez-Aguilar, L. Gao, J.G. Saven, H. Matsunami, R.G. Eckenhoff. // Sci. Signal. – 2015. – Mar– 31(8) (370)ra33. doi: 10.1126/scisignal.2005912.
21. International Drug Policy Consortium. Ketamine secured for medical and veterinary use! [Электронный ресурс] idpc.net/.../ketamine-secured-for-medical-and-veterinary-use. (дата обращения: 26.06.2015).

22. Jansen, K.L. A review of the nonmedical use of ketamine: use, users and consequences. / K.L. Jansen // *J. Psychoactive Drugs*. –2000. – Oct-Dec – V.32 (4) – pp.419-433.
23. Jat, K.R. Ketamine for management of acute exacerbations of asthma in children. / K.R. Jat, D. Chawla // *Cochrane Database of Systematic Reviews* 2012, Issue 11. Art. No.: CD009293. DOI: 10.1002/14651858.CD009293.pub2.
24. Johnston, L.D., O'Malley, P.M., and Bachman, J.G. (2002). "Table 2: Trends in Annual and 30-Day Prevalence of Use of Various Drugs for Eighth, Tenth, and Twelfth Graders." *Monitoring the Future: 2002*. Retrieved [Электронный ресурс] <http://monitoringthefuture.org/data/02data/pr02t2.pdf>. (дата обращения: 10.02.2003).
25. Lee, E.E. Ketamine as a novel treatment for major depressive disorder and bipolar depression: a systematic review and quantitative meta-analysis. / E.E. Lee, M.P. Della Selva, A. Liu, S. Himelhoch. // *Gen. Hosp. Psychiatry*. –2015. – Mar-Apr – V.37 (2) – pp.178-184.
26. Li, Y. CYP2B6*6 allele and age substantially reduce steady-state ketamine clearance in chronic pain patients: impact on adverse effects. / Y. Li, K.A. Jackson, B. Slon, J.R. Hardy, M. Franco, L. William, P. Poon, J.K. Collier, M.R. Hutchinson, D.C. Currow, A.A. Somogyi. // *Br J Clin Pharmacol*. –2015. – Feb – N 22.
27. Liu, J.X. Intensive ketamine use for multiple years: A case report. / J.X Liu, E. Zerbo, S. Ross // *Am J Addict*. –2015. – V.24 (1) – pp.7-9.
28. Liu, R.J. Ketamine Strengthens CRF-Activated Amygdala Inputs to Basal Dendrites in mPFC layer V Pyramidal Cells in the Prelimbic but not Infralimbic Subregion, a Key Suppressor of Stress Responses. / R.J. Liu, K.T. Ota, S. Duthel, R.S. Duman, G.K. Aghajanian. // *Neuropsychopharmacology*. –2015. – N 11. doi: 10.1038/npp.2015.70.
29. Mak, P. Long-Term Antihyperalgesic and Opioid-Sparing Effects of 5-Day Ketamine and Morphine Infusion ("Burst Ketamine") in Diabetic Neuropathic Rats. / P. Mak, J.H. Broadbear, A. Kolosov, C.S. Goodchild. // *Pain Med*. – 2015. – Mar–20. doi: 10.1111/pme.12735.
30. Montes, J.M. Robust and sustained effect of ketamine infusions coadministered with conventional antidepressants in a patient with refractory major depression. / J.M. Montes, E. Lujón, F. Pascual, J.M. Belega, J.L. Perez-Santar, L.J. Irastorza, J.Saiz-Ruiz // *Case Rep. Psychiatry*. –2015. – V.8 (1) – pp.56-73.
31. Motov, S. Intravenous Subdissociative-Dose Ketamine Versus Morphine for Analgesia in the Emergency Department: A Randomized Controlled Trial. / S. Motov, B. Rockoff, V. Cohen, I. Pushkar, A. Likourezos, C. McKay, E. Soleyman-Zomalan, P. Homel, V. Terentiev, C. Fromm. // *Ann. Emerg. Med*. –2015. – Mar – N 26. pii: S0196-0644(15)00191-2.
32. O'Connell, N.E. Interventions for treating pain and disability in adults with complex regional pain syndrome- an overview of systematic reviews. / N.E. O'Connell, B.M. Wand, J. McAuley, L. Marston, G.L. Moseley // *Cochrane Database of Systematic Reviews* 2013, Issue 4. Art. No.: CD009416. DOI: 10.1002/14651858.CD009416.pub2.
33. Preskorn, S. Randomized Proof of Concept Trial of GLYX-13, an N-Methyl-D-Aspartate Receptor Glycine Site Partial Agonist, in Major Depressive Disorder Nonresponsive to a Previous Antidepressant Agent. / S. Preskorn, M. Macaluso, D.O. Mehra, G. Zammit, J.R. Moskal, R.M. Burch // *J. Psychiatr. Pract*. –2015. – Mar– V.21 (2) – pp.140-149.
34. Rahmanian, M. The effect of low-dose intravenous ketamine on postoperative pain following cesarean section with spinal anesthesia: a randomized clinical trial. / M. Rahmanian, M. Leysi, A.A. Hemmati, M. Mirmohammadhani. // *Oman Med J*. –2015. – Jan –V.30 (1) – pp.11- 16.
35. Reinstatler, L. Ketamine as a potential treatment for suicidal ideation: a systematic review of the literature. / L. Reinstatler, N.A. Youssef // *Drugs R. D*. –2015. – V.15 (1) – pp.37-43.
36. Sin, B. The Use of Subdissociative-dose Ketamine for Acute Pain in the Emergency Department. / B. Sin, T. Ternas, S.M. Motov // *Acad. Emerg. Med*. –2015. – Mar –V.22 (3) – pp.251- 277.
37. Tan, Y. Ketamine reduces LPS-induced HMGB1 via activation of the Nrf2/HO-1 pathway and NF- κ B suppression. / Y. Tan, Q. Wang, Y. She, X. Bi, B. Zhao // *J. Trauma Acute Care Surg*. –2015. – Apr –V.78 (4) – pp.784-792.
38. Tuncali, B. Addition of low-dose ketamine to midazolam-fentanyl-propofol-based sedation for colonoscopy: a randomized, double-blind, controlled trial. / B. Tuncali, Y.O. Pekcan, A. Celebi, P. Zeyneloglu. // *J. Clin. Anesth*. –2015. – Mar – N 19. pii: S0952-8180(15)00073-2.
39. Van Loon, A.M. NMDA Receptor Antagonist Ketamine Distorts Object Recognition by Reducing Feedback to Early Visual Cortex. / A.M. Van Loon, J.J. Fahrenfort, B. van der Velde, P.B. Lirk, N.C. Vulink, M.W. Hollmann, H. Steven Scholte, V.A. Lamme. *Cereb Cortex*. // – 2015. – N 6. pii: bhv018.
40. Wolf, S. Does ketamine target olfactory receptors in the brain? / S. Wolf, H. Hatt, O.P. Ernst. // *Sci. Signal*. – 2015. – Mar– 31(8)(370):fs6. doi: 10.1126/scisignal.aab0600.
41. Wu, P. Involvement of mitochondrial pathway of apoptosis in urothelium in ketamine-associated urinary dysfunction. / P. Wu, Z. Shan, Q. Wang, J. Huang, S. Zheng // *Am. J. Med. Sci*. –2015. – Apr – V.349 (4) – pp.344-351.