



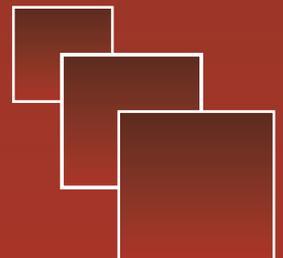
# Вестник

Уральского  
государственного  
университета  
путей сообщения

Научный журнал

**Herald**  
of the Ural State University  
of Railway Transport

Scientific journal



Научный журнал  
«Вестник Уральского государственного  
университета путей сообщения»  
№ 2 (18), 2013 год

**Главный редактор,  
научный редактор**  
Василий Михайлович Сай

**Литературный и выпускающий редактор**  
Людмила Станиславовна Барышниковна

**Техническое редактирование и верстка**  
Андрей Викторович Трубин

**Дизайн обложки**  
Ольга Петровна Игнатьева

**Учредитель и издатель:**  
Уральский государственный  
университет путей сообщения  
(УрГУПС)

**Адрес для корреспонденции:**  
620034, Екатеринбург,  
ул. Колмогорова, 66, УрГУПС,  
редакция журнала  
«Вестник УрГУПС»

**Телефон редакции:** (342) 221-25-60.  
**Веб-сайт:** [www.vestnik.usurt.ru](http://www.vestnik.usurt.ru);  
**e-mail:** [vestnik@usurt.ru](mailto:vestnik@usurt.ru).

Журнал издается по решению  
ученого совета университета  
©УрГУПС

Свидетельство о регистрации  
средства массовой информации  
Роскомнадзора ПИ № ФС77–38188  
от 30 ноября 2009 г.

Отпечатано в издательстве  
Уральского государственного  
университета путей сообщения,  
620034, Екатеринбург,  
ул. Колмогорова, 66.

Подписано в печать 18.07.2013.

Тираж 300. 1-й з-д.: 1–100.  
Формат 70×100/16.  
Заказ № 102.

Scientific journal «Herald of the  
Ural State University  
of Railway Transport»  
№ 2 (18), 2013

**Editor-in-chief,  
Science editor**  
Vasily M. Say

**Script and copy editor**  
Lyudmila S. Baryshnikova

**Technical editing and make-up**  
Andrey V. Trubin

**Cover design**  
Olga P. Ignatjeva

**Founder and publisher:**  
The Ural State University  
of Railway Transport  
(USURT)

**Correspondence address:**  
«Herald of USURT» editorial office  
The Ural State University of  
Railway Transport»  
66 Kolmogorov Street,  
620034, Ekaterinburg,

**Telephone:** +7 (342) 221-25-60.  
**Web-site:** [www.vestnik.usurt.ru](http://www.vestnik.usurt.ru);  
**e-mail:** [vestnik@usurt.ru](mailto:vestnik@usurt.ru).

The journal is published by the decision of  
University Academic Board  
©USURT

Certificate of registration of mass media  
by the Federal Service for Supervision  
in the sphere of communications,  
information technology and mass communications  
(Roskomnadzor) PI № FS77–38188  
of November 30, 2009.

Printed in the Publishing house  
of the Ural State University of  
Railway Transport  
66 Kolmogorov Street,  
620034, Ekaterinburg.

Passed for printing 18.07.2013.

Circulation 300. 1-й з-д.: 1–100.  
Format 70×100/16.  
Order № 102.

## Международный редакционный совет

**Кейт Бурнхам**, профессор, Университет г. Ковентри, факультет машиностроения и вычислительной техники, Великобритания

**Владимир Анциферов**, д-р техн. наук, профессор академик РАН, Пермь, Россия

**Петер Копачек**, профессор, Венский технологический университет, Венский институт транспорта и робототехники, интеллектуальный транспорт и робототехника, Вена, Австрия

**Владимир Цыганов**, д-р техн. наук, профессор, Институт проблем управления Российской академии наук, Москва, Россия

**Марек Ситаж**, профессор, Силезский технический университет, транспортный факультет, кафедра «Железнодорожный транспорт», Польша

**Клаус Беккер**, профессор, Университет прикладных наук г. Кельна, Институт автомобильной техники, лаборатория NVH, Германия

**Василий Сай**, д-р техн. наук, профессор, Уральский государственный университет путей сообщения, Екатеринбург, Россия

## Редколлегия

**Вовк Алексей Александрович**, д-р экон. наук, профессор, МГУПС, Москва

**Воскресенская Тамара Петровна**, д-р техн. наук, профессор, СибГИУ, Новокузнецк

**Воробьев Александр Алексеевич**, д-р техн. наук, профессор, МГУПС, Москва

**Ефимов Александр Васильевич**, канд. техн. наук, профессор, УрГУПС, Екатеринбург

**Корнилов Сергей Николаевич**, д-р техн. наук, профессор, МГТУ, Магнитогорск

**Нестеров Валерий Леонидович**, д-р техн. наук, профессор, УрГУПС, Екатеринбург

**Сапожников Валерий Владимирович**, д-р техн. наук, профессор, С.-ПГУПС, Санкт-Петербург

**Черемисин Василий Титович**, д-р техн. наук, профессор, ОмГУПС, Омск

**Щурин Константин Владимирович**, д-р техн. наук, профессор, ОГУ, Оренбург

**Тимофеева Галина Адольфовна**, д-р физ.-мат. наук, профессор, УрГУПС, Екатеринбург

## International editorial board

**Keith Burnham**, professor, Coventry University, Faculty of Engineering and Computing, Great Britain

**Vladimir Antsiferov**, DSc, professor, academician of Russian Academy of Sciences, Perm, Russia

**Peter Kopachek**, professor, Vienna University of Technology, Vienna Institute of Transportation and Robotics, Intelligent Transportation and Robotics, Vienna, Austria

**Vladimir Tsyganov**, DSc, professor, Russian Academy of Sciences, Institute of Control Sciences, Moscow, Russia

**Marek Sitarz**, professor, Silesian University of Technology, Faculty of Transport, Railway Engineering Department, Poland

**Klaus Becker**, professor, Cologne University of Applied Sciences, Institute of Automotive Engineering, NVH Laboratory, Germany

**Vasily Say**, DSc, professor, The Ural State University of Railway Transport, Ekaterinburg, Russia

## Editorial board

**Vovk Alexei Aleksandrovich**, DSc, professor, Moscow State University of Railway Transport, Moscow

**Voskresenskaya Tamara Petrovna**, DSc, professor, Siberian State Industrial University, Novokuznetsk

**Vorobjev Alexander Alexeevich**, DSc, professor, Moscow State University of Railway Transport, Moscow

**Efimov Alexander Vasilievich**, DSc, professor, The Ural State University of Railway Transport, Ekaterinburg

**Kornilov Sergey Nikolaevich**, DSc, professor, Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk

**Nesterov Valery Leonidovich**, DSc, professor, The Ural State University of Railway Transport, Ekaterinburg

**Sapozhnikov Valery Vladimirovich**, DSc, professor, Saint-Petersburg State University of Railway Transport, Saint-Petersburg

**Cheremisin Vasily Titovich**, DSc, professor, Omsk State University of Railway Transport, Omsk

**Shchurin Konstantin Vladimirovich**, DSc, professor, Orenburg State University, Orenburg

**Timofeeva Galina Adolfova**, DSc, professor, The Ural State University of Railway Transport, Ekaterinburg

# Содержание

## Математические модели технологических процессов

- 4 С. Л. Дерябин, А. П. Садов. Трехмерная модель сжимаемой сплошной среды для описания движения волн жидкости
- 18 К. В. Бердников, В. В. Стружанов. Остаточные напряжения в упругопластическом пространстве, возникающие после расширения сферической полости
- 27 К. В. Баутин, С. П. Баутин, В. Н. Макаров. Экспериментальное подтверждение возможности создания потока воздуха, закрученного силой Кориолиса

## Управление в технических системах

- 34 В. А. Сисин, Р. В. Гнитко, И. Г. Тильк. Исследование электромагнитной совместимости рельсовых цепей с коммутацией релейного конца с помехами электроснабжения и перспективного тягового состава
- 45 К. А. Паршин, П. А. Анашкин. О применении методов оценки шумового воздействия на население при защите речевой информации

## Управление. Экономика

- 54 А. А. Вовк, Ю. А. Вовк, А. Ю. Романов. Проблемы классификации и наименования счетов бухгалтерского финансового учета

## Организация образовательного процесса

- 63 В. А. Антропов. Современные вызовы российской системе профессионального образования
- 78 В. А. Антропов. Инновации в профессиональном образовании: вопросы для дискуссии

## Аспирантская тетрадь

- 84 Е. А. Рогозинников. О группах автоморфизмов отображений абелевых групп в модели
- 94 А. А. Гусев. Проблема формирования адаптивных систем управления в условиях перехода к шестому технологическому укладу

# Contents

## Mathematic models of technological processes

- 4 S. L. Deryabin, A. P. Sadov. Three-dimensional model of a compressible continuous medium describing waves of liquid
- 18 K. V. Berdnikov, V. V. Struzhanov. Residual stresses in the elastoplastic space arising after the expansion of a spherical cavity
- 27 K. V. Bautin, S. P. Bautin, V. N. Makarov. Experimental confirmation of the possibility of creating air flow swirled by the Coriolis forces

## Control in engineering systems

- 34 V. A. Sisin, R. V. Gnitko, I. G. Tilk. Study of electromagnetic compatibility of relay and switching track circuitis with interference in power line and perspective traction stock
- 45 K. A. Parshin, P. A. Anashkin. On the use of assessment methods of noise impact on humans for voice information protection

## Management. Economics

- 54 A. A. Vovk, Yu. A. Vovk, A. Yu. Romanov. Issues of classification and names of accounts in financial accounting

## Study process organization

- 63 V. A. Antropov. Dynamics of modernization processes in Russia
- 78 V. A. Antropov. Innovations in vocational education: issues for discussion

## Research of young scientists

- 84 E. A. Rogozinnikov. On automorphism groups of abelian group maps in the model
- 94 A. A. Gusev. Problems of formation of adaptive management systems in the context of transition to the sixth technological order

# Математические модели технологических процессов

УДК 517.95–533.6

*С. Л. Дерябин, А. П. Садов*

## Трехмерная модель сжимаемой сплошной среды для описания движения волн жидкости

UDC 517.95–533.6

*S. L. Deryabin, A. P. Sadov*

## Three-dimensional model of a compressible continuous medium describing waves of liquid

### Аннотация

Для описания распространения длинных волн используются все модели — от классических уравнений мелкой воды до полной модели идеальной жидкости. В работах предшественников проведены исследования для классических уравнений мелкой воды и получен закон движения границы уреза и значения скорости жидкости на ней. Однако замечено, что для детального моделирования явления на продолжительное время требуются модели, способные воспроизводить дисперсию и отражать неоднородность процесса. Считается, что этим условиям в моделях мелкой воды отвечают нелинейно-дисперсионные уравнения Грина – Нагди, Железняк – Пелиновского, Алешникова. Но система уравнений Грина – Нагди существенно сложнее классических уравнений мелкой воды и не является гиперболической. При ее исследовании возникают нетривиальные начально-краевые задачи. В частности, задача Коши для этой системы не имеет единственного решения. Замечено также, что модели мелкой воды, в принципе, не могут описать трехмерную волну, поскольку не позволяют получить распределений скорости и плотности волны по глубине. Кроме того, приближенные модели Грина – Нагди, Железняк – Пелиновского, Алешникова существенно сложнее точной модели газовой динамики.

В данной работе используется трехмерная модель газовой динамики для политропного газа с показателем политропы  $\gamma = 7$ . В виде степенных рядов построены решения двух начально-краевых задач, которые описывают течение жидкости от поверхности дна до поверхности воды включительно. Доказаны теоремы существования и единственности решений этих задач.

**Ключевые слова:** сжимаемая сплошная среда, модель газовой динамики, политропный газ, звуковая и контактная характеристики, слабый разрыв.

### Abstract

To describe propagation of long waves all models are used — from the classical shallow water equations to a full ideal fluid model. The works of predecessors include studies for classical shallow water equations and the law of motion of boundary edge and the values of fluid velocity on is obtained. However it is noted, that detailed modeling of the phenomenon for a long time requires models that can reproduce dispersion and reflect heterogeneity of the process. It is believed that these conditions in shallow water models are met by nonlinear dispersive equations Green – Naghdi, Zheleznyak – Pelinovsky, Aleshnikov. But the system of Green – Naghdi equations is much more complicated than classical shallow water equations, and is not hyperbolic. During its study, nontrivial initial boundary value problems occur. In particular, the Cauchy problem for this system does not have a unique solution. It is also noticed that shallow water models, in principle, can not describe the three-dimensional wave, because they do not allow to obtain wave velocity and density distributions in depth. In addition, the approximate models Green – Naghdi, Zheleznyak – Pelinovsky, Aleshnikov are much more complicated than accurate gas dynamics model.

This paper uses three-dimensional gas dynamics model for a polytropic gas with a polytropic exponent of  $\gamma = 7$ . Solutions of two initial boundary value problems are made in the form of exponential series, and describe the flow of liquid from bottom surface to the surface of the water inclusive. The theorems of existence and uniqueness of solutions to these problems are proven.

**Keywords:** compressible continuous medium, gas dynamics model, polytropic gas, sound and contact characteristic, weak discontinuity.

**Дерябин Сергей Львович**, д-р физ.-мат. наук, профессор; кафедра «Прикладная математика» Уральского государственного университета путей сообщения; Екатеринбург, Россия. Тел.: 8(343)221-24-04, e-mail: SDeryabin@usurt.ru.

**Садов Алексей Павлович**, канд. физ.-мат. наук, доцент; кафедра «Прикладная математика» Уральского государственного университета путей сообщения; Екатеринбург, Россия. Тел.: 8(343)221-24-04, e-mail: alsadov@yandex.ru.

**Sergei L. Deryabin**, DSc in Physics and Mathematics, Professor; Chair «Higher and Applied Mathematics», Ural State University of Railway Transport, Ekaterinburg, Russia. t. 8 (343) 221-24-04, SDeryabin@usurt.ru.

**Alexei P. Sadov**, PhD in Physics and Mathematics, Associate Professor; Chair «Higher and Applied Mathematics», Ural State University of Railway Transport, Ekaterinburg, Russia. t. 8 (343) 221-24-04, alsadov@yandex.ru.

Для описания распространения длинных волн используются многие модели — от классических уравнений мелкой воды [1] до полной модели идеальной жидкости [2]. В работе [3] были проведены исследования для классических уравнений мелкой воды и получен закон движения границы уреза и значения скорости жидкости на ней. Однако замечено, что для детального моделирования явления на продолжительное время требуются модели, способные воспроизводить дисперсию и отражать неоднородность процесса. Считается, что этим условиям в моделях мелкой воды отвечают нелинейно-дисперсионные уравнения Грина – Нагди, Железняка – Пелиновского, Алешникова [4]. Но система уравнений Грина – Нагди существенно сложнее классических уравнений мелкой воды и не является гиперболической. При ее исследовании возникают нетривиальные начально-краевые задачи. В частности, задача Коши для этой системы не имеет единственного решения [5]. Заметим также, что модели мелкой воды, в принципе, не могут описать трехмерную волну, поскольку не позволяют получить распределений скорости и плотности волны по глубине. Кроме того, приближенные модели Грина – Нагди, Железняка – Пелиновского, Алешникова существенно сложнее точной модели газовой динамики.

В работе [6] для описания воды рассматривалась модель газовой динамики для политропного газа с показателем политропы  $\gamma = 7$ . Представляется, что модель сжимаемой сплошной среды является адекватной физической природе жидкости и позволяет получить новые содержательные результаты [7].

В данной работе будет использоваться трехмерная модель газовой динамики для изэнтропических течений политропного газа [8] с показателем политропы  $\gamma = 7$ .

## 1. Постановка задачи

Рассматривается плоский слой жидкости, ограниченный свободной поверхностью и непроницаемым дном. Предполагается, что жидкость находится в гравитационном поле, является сжимаемой и невязкой.

Далее будут сделаны два существенных предположения.

1. Будем считать, что для описания жидкости можно использовать уравнение состояния для давления

$$\text{политропного газа } p = S^2 \frac{\rho^\gamma}{\gamma}$$

телем политропы  $\gamma = 7$ ,  $S = \text{const}$  [6].

2. Свободная поверхность жидкости  $\Gamma_0$  — это граница воды и воздуха. Поскольку плотность воды существенно больше плотности воздуха, далее будет предполагаться, что на свободной границе  $\Gamma_0$  плотность жидкости будет равна нулю во все моменты времени ( $\rho(t, x, y, z)|_{\Gamma_0} = 0$ ).

При численном моделировании течений, примыкающих к вакууму на свободной границе, значение плотности задается маленьким, но отличным от нуля. То есть, фактически, вместо границы «газ-вакуум» ищется слабый контактный разрыв.

В данной работе происходит обратная ситуация: вместо контактного разрыва «вода-суша» ищется граница «газ-вакуум».

Эти предположения делают используемую модель приближенной.

Система координат выбирается так, что в момент времени  $t = t_0$  уравнение свободной поверхности жидкости  $\Gamma_0$ :  $z = \varphi(x, y)$ , а уравнение  $z = z_{00}(x, y)$  — поверхность, задающая непроницаемое дно. В момент времени  $t = t_0$  заданы распределения:  $\rho = \rho_0(x, y, z)$  — плотности жидкости;  $\mathbf{U} = \mathbf{U}_0(x, y, z)$  — вектора скорости жидкости. Причем  $\rho_0(x, y, \varphi(x, y)) \equiv 0$ ,  $\rho_0(x, y, z_{00}(x, y)) > 0$ . Функции  $\rho_0(x, y, z)$ ,  $\mathbf{U}_0(x, y, z)$  предполагаются аналитическими.

Трехмерные течения рассматриваемой жидкости описываются системой [8]

$$\begin{cases} c_t + c_x u + c_y v + c_z w + 3c(u_x + v_y + w_z) = 0, \\ u_t + u_x u + u_y v + u_z w + \frac{1}{3} c c_x = 0, \\ v_t + v_x u + v_y v + v_z w + \frac{1}{3} c c_y = 0, \\ w_t + w_x u + w_y v + w_z w + \frac{1}{3} c c_z = -g, \end{cases} \quad (1.1)$$

где  $g$  — ускорение свободного падения,  $c = Sp^{\frac{\gamma-1}{2}}$  — скорость звука газа,  $u, v, w$  — проекции вектора скорости в декартовой системе координат  $Oxyz$ .

Для системы (1.1) задаются начальные условия

$$\begin{aligned} c(t_0, x, y, z) &= \rho_0(x, y, z), \quad u(t_0, x, y, z) = u_0(x, y, z), \\ v(t_0, x, y, z) &= v_0(x, y, z), \quad w(t_0, x, y, z) = w_0(x, y, z) \end{aligned} \quad (1.2)$$

и граничное условие

$$c(t, x, y, z) |_{\Gamma_0} = 0. \quad (1.3)$$

Будет предполагаться следующая конфигурация течения. В момент времени  $t = t_0$  от непроницаемого дна по фоновому течению начинает распространяться звуковая характеристика  $\Gamma_1$ .

Требуется решить следующие задачи.

1. Построить фоновое течение — течение, непрерывно примыкающее к вакууму.
2. Найти звуковую характеристику  $\Gamma_1$  и значения параметров жидкости на ней.
3. Построить течение, лежащее между звуковой характеристикой  $\Gamma_1$  и непроницаемым дном.

## 2. Построение фонового течения в окрестности свободной поверхности

В системе (1.1) введем новую независимую переменную  $\eta = z - z_0(t, x, y)$ , где  $z = z_0(t, x, y)$  — неизвестный закон движения свободной поверхности  $\Gamma_0$ . В новых переменных  $\Gamma_0$  будет задаваться уравнением  $\eta = 0$ .

Перепишем систему (1.1) в новых независимых переменных

$$\begin{cases} c_t + c_x u + c_y v + (w - z_{0t} - z_{0x} u - z_{0y} v) c_\eta + 3c(u_x + v_y + w_\eta - z_{0x} u_\eta - z_{0y} v_\eta) = 0, \\ u_t + u_x u + u_y v + (w - z_{0t} - z_{0x} u - z_{0y} v) u_\eta + \frac{1}{3} c(c_x - z_{0x} c_\eta) = 0, \\ v_t + v_x u + v_y v + (w - z_{0t} - z_{0x} u - z_{0y} v) v_\eta + \frac{1}{3} c(c_y - z_{0y} c_\eta) = 0, \\ w_t + w_x u + w_y v + (w - z_{0t} - z_{0x} u - z_{0y} v) w_\eta + \frac{1}{3} c c_\eta = -g. \end{cases} \quad (2.1)$$

Для системы (2.1) имеем начальные условия при  $t = t_0$

$$\begin{aligned} c(t_0, x, y, \eta) &= c_0(x, y, \eta + \varphi(x, y)), \\ u(t_0, x, y, \eta) &= u_0(x, y, \eta + \varphi(x, y)), \\ v(t_0, x, y, \eta) &= v_0(x, y, \eta + \varphi(x, y)), \\ w(t_0, x, y, \eta) &= w_0(x, y, \eta + \varphi(x, y)), \end{aligned} \quad (2.2)$$

а условие на свободной поверхности  $\Gamma_0$ , то есть при  $\eta = 0$ :

$$c(t, x, y, 0) = 0. \quad (2.3)$$

Для того чтобы решить поставленную начально-краевую задачу (2.1)–(2.3), необходимо, в частности, найти закон движения свободной поверхности  $\Gamma_0$  (то есть найти функцию  $z = z_0(t, x, y)$ ), а также значения газодинамических параметров на ней. Для этого в системе (2.1) положим  $\eta = 0$  и, учитывая условие (2.3), получим

$$\begin{aligned} z_{0t} + z_{0x}u_0 + z_{0y}v_0 &= w_0, \\ u_{0t} + u_{0x}u_0 + u_{0y}v_0 &= 0, \\ v_{0t} + v_{0x}u_0 + v_{0y}v_0 &= 0, \\ w_{0t} + w_{0x}u_0 + w_{0y}v_0 &= -g. \end{aligned} \quad (2.4)$$

Из условий (2.2) при подстановке  $\eta = 0$  получаются начальные условия для системы (2.4)

$$\begin{aligned} z_0(t_0, x, y) &= \varphi(x, y), \\ u_0(t_0, x, y) &= u_0(x, y, \varphi(x, y)), \\ v_0(t_0, x, y) &= v_0(x, y, \varphi(x, y)), \\ w_0(t_0, x, y) &= w_0(x, y, \varphi(x, y)). \end{aligned} \quad (2.5)$$

Поскольку система (2.4) — аналитическая и начальные условия (2.5) задаются аналитическими функциями, то по теореме Ковалевской [9] задача (2.4)–(2.5) имеет единственное решение

$$\begin{aligned} z_0 &= z_0(t, x, y), \quad u_0 = u_0(t, x, y), \\ v_0 &= v_0(t, x, y), \quad w_0 = w_0(t, x, y). \end{aligned} \quad (2.6)$$

Теперь для системы (2.1), используя решение (2.6), ставим другую начально-краевую задачу — задачу с данными на свободной поверхности  $\Gamma_0(\eta = 0)$

$$\begin{aligned} c(t, x, y, 0) &= 0, \\ u(t, x, y, 0) &= u_0(t, x, y), \\ v(t, x, y, 0) &= v_0(t, x, y), \\ w(t, x, y, 0) &= w_0(t, x, y) \end{aligned} \quad (2.7)$$

и начальными условиями (2.2).

**Теорема 1.1.** *Существует  $t_* > t_0$  такое, что при  $t_0 \leq t \leq t_*$  в некоторой окрестности  $\Gamma_0$  существует единственное локально-аналитическое решение задачи (2.1), (2.2), (2.7).*

Доказательство данной теоремы сводится, как и в [8], к теореме о существовании единственного аналитического решения у характеристической задачи Коши стандартного вида [8]. Задача (2.1), (2.7) является характеристической задачей Коши с данными на характеристике кратности пять, поэтому для построения единственного локально-аналитического решения надо задать пять дополнительных условий. Этими условиями и являются условия (2.2).

Для конструктивного представления решения задачи (2.1), (2.2), (2.7) разложим его в ряд по степеням  $\eta$

$$\begin{aligned} \mathbf{q}(t, x, y, \eta) &= \sum_{k=0}^{\infty} q_k(t, x, y) \frac{\eta^k}{k!}, \\ \mathbf{q} &= \{c, u, v, w\}, \end{aligned} \quad (2.8)$$

что при малых  $\eta$  возможно в силу аналитичности решения задачи (2.1), (2.2), (2.7) в некоторой окрестности  $\Gamma_0$ .

В системе (2.1) положим  $\eta = 0$  и, учитывая (2.7), получим тождество.

Если дифференцировать систему (2.1) по  $\eta$ , положить  $\eta = 0$ , будем иметь систему транспортных уравнений

$$\begin{cases} c_{1t} + c_{1x}u_0 + c_{1y}v_0 + \frac{\gamma-1}{2}(w_1 - z_{0x}u_1 - z_{0y}v_1)c_1 + 3(u_{0x} + v_{0y})c_1 = 0, \\ u_{1t} + u_{1x}u_0 + u_{1y}v_0 + (w_1 - z_{0x}u_1 - z_{0y}v_1)u_1 + u_{0x}u_1 + u_{0y}v_1 - \frac{1}{3}z_{0x}c_1^2 = 0, \\ v_{1t} + v_{1x}u_0 + v_{1y}v_0 + (w_1 - z_{0x}u_1 - z_{0y}v_1)v_1 + v_{0x}u_1 + v_{0y}v_1 - \frac{1}{3}z_{0y}c_1^2 = 0, \\ w_{1t} + w_{1x}u_0 + w_{1y}v_0 + (w_1 - z_{0x}u_1 - z_{0y}v_1)w_1 + w_{0x}u_1 + w_{0y}v_1 + \frac{1}{3}c_1^2 = 0, \end{cases} \quad (2.9)$$

решение которой описывает поведение первых выводящих с  $\Gamma_0$  производных газодинамических параметров.

Продифференцируем по  $\eta$  систему (2.1)  $k$  раз, положим  $\eta = 0$  и, учитывая уже найденные коэффициенты ряда (2.8), будем иметь

$$\begin{aligned} & c_{kt} + c_{kx}u_0 + c_{ky}v_0 + (3k+1) \times c_1(w_k - z_{0x}u_k - z_{0y}v_k) + \\ & + (3+k)c_k(w_1 - z_{0x}u_1 - z_{0y}v_1) + 3c_k(u_{0x} + v_{0y}) = F_{1k}(t, x, y), \\ & u_{kt} + u_{kx}u_0 + u_{ky}v_0 + k(w_1 - z_{0x}u_1 - z_{0y}v_1)u_k + u_{0x}u_k + \\ & + u_{0y}v_k - (w_k - z_{0x}u_k - z_{0y}v_k)u_1 - \frac{1}{3}(k+1)s_0^2 z_{0x}c_1c_k = F_{2k}(t, x, y), \\ & v_{kt} + v_{kx}u_0 + v_{ky}v_0 + k(w_1 - z_{0x}u_1 - z_{0y}v_1)v_k + v_{0x}u_k + \\ & + v_{0y}v_k - (w_k - z_{0x}u_k - z_{0y}v_k)v_1 - \frac{1}{3}(k+1)s_0^2 z_{0y}c_1c_k = F_{3k}(t, x, y), \\ & w_{kt} + w_{kx}u_0 + w_{ky}v_0 + k(w_1 - z_{0x}u_1 - z_{0y}v_1)w_k + \\ & + w_{0x}u_k + w_{0y}v_k - (w_k - z_{0x}u_k - z_{0y}v_k)w_1 + \frac{1}{3}(k+1)s_0^2 c_1c_k = F_{4k}(t, x, y). \end{aligned} \quad (2.10)$$

Функции  $F_{ik}(t, x, y)$ ,  $1 \leq i \leq 4$ , известным образом зависят от уже найденных коэффициентов ряда (1.10)  $\mathbf{q}_l$ ,  $l < k$ , и ввиду громоздкости здесь не приводятся. Единственное решение систем (2.9), (2.10) получается при задании начальных условий  $\mathbf{q}_k(t_0, x, y)$ , которые однозначно определяются при разложении в ряд по степеням  $\eta$  условий (2.2).

Системы (1.10) линейны, поэтому первые особенности решений этих систем совпадают с особенностями решений систем (2.4), (2.9). Функции (2.6), задающие решение системы (2.4), особенностей не имеют, следовательно, для определения момента времени  $t = t_*$ , являющегося граничной точкой области сходимости рядов (2.8), необходимо исследовать систему транспортных уравнений (2.9).

### Анализ свойств решения

Исследуем систему (2.4) с помощью семейства характеристических кривых [9], являющихся решениями системы обыкновенных дифференциальных уравнений. В случае уравнений (2.4) эта система имеет вид

$$\frac{dt}{d\tau} = 1, \quad \frac{dx}{d\tau} = u_0, \quad \frac{dy}{d\tau} = v_0, \quad \frac{dz_0}{d\tau} = w_0, \quad \frac{du_0}{d\tau} = 0, \quad \frac{dv_0}{d\tau} = 0, \quad \frac{dw_0}{d\tau} = -g. \quad (2.11)$$

Проинтегрировав первое уравнение системы (2.11), получим

$$\tau = t - t_0.$$

С учетом этого проинтегрируем систему (2.11). Получим

$$\begin{aligned} u_0 &= u_{00}, \quad v_0 = v_{00}, \quad w_0 = w_{00} - g(t - t_0), \quad x_0 = x_{00} + u_{00}(t - t_0), \\ y_0 &= y_{00} + v_{00}(t - t_0), \quad z_0 = z_{00} + w_{00}(t - t_0) - \frac{g}{2}(t - t_0)^2. \end{aligned} \quad (2.12)$$

Здесь в качестве начальных условий берутся координаты точки  $M_0(x_{00}, y_{00}, z_{00})$ , лежащей на начальной свободной поверхности  $\Gamma$ , и значения газодинамических параметров (2.2)  $u_{00}, v_{00}, w_{00}$ , вычисленные в этой точке. Тогда решение (2.12) задает траекторию движения точки, лежащей на свободной поверхности  $\Gamma_0$ , выпущенную из точки  $M_0(x_{00}, y_{00}, z_{00})$ .

Формулы (2.12) позволяют сделать следующие выводы.

1. Если  $w_{00} < 0$ , тогда точка на свободной поверхности движется в направлении дна.
2. Если  $w_{00} > 0$ , тогда точка на свободной поверхности некоторое время движется вверх, затем в момент времени  $t_1 = t_0 + \frac{w_{00}}{g}$  останавливается и далее движется вниз.

Конфигурация построенного течения будет сохраняться до момента времени — момента возникновения бесконечных производных у параметров жидкости. Этот момент времени определяется решением системы транспортных уравнений (2.9).

Используя метод характеристических кривых, сведем [9] систему транспортных уравнений (2.9) к виду, удобному для численного исследования.

$$\begin{aligned} c_{1\tau} + \frac{\gamma + 1}{2} \left( w_1 - \frac{z_{0\tau}}{u_0} u_1 - \frac{z_{0\tau}}{v_0} v_1 \right) c_1 + 3 \left( \frac{u_{0\tau}}{u_0} + \frac{v_{0\tau}}{v_0} \right) c_1 &= 0, \\ u_{1\tau} + \left( w_1 - \frac{z_{0\tau}}{u_0} u_1 - \frac{z_{0\tau}}{v_0} v_1 \right) u_1 + \frac{u_{0\tau}}{u_0} u_1 + \frac{u_{0\tau}}{v_0} v_1 + w_1 - \frac{1}{3} \frac{z_{0\tau}}{u_0} c_1^2 &= 0, \\ v_{1\tau} + \left( w_1 - \frac{z_{0\tau}}{u_0} u_1 - \frac{z_{0\tau}}{v_0} v_1 \right) v_1 + \frac{v_{0\tau}}{u_0} u_1 + \frac{v_{0\tau}}{v_0} v_1 - \frac{1}{3} \frac{z_{0\tau}}{v_0} c_1^2 &= 0, \\ w_{1\tau} + \left( w_1 - \frac{z_{0\tau}}{u_0} u_1 - \frac{z_{0\tau}}{v_0} v_1 \right) w_1 + \frac{w_{0\tau}}{u_0} u_1 + \frac{w_{0\tau}}{v_0} v_1 + \frac{1}{3} c_1^2 &= 0. \end{aligned} \quad (2.13)$$

Система (2.13) является нелинейной системой обыкновенных дифференциальных уравнений и при задании конкретных начальных данных она может быть исследована численными методами.

### 3. Построение течения между звуковой характеристикой $\Gamma_1$ и непроницаемым дном

Течения между звуковой характеристикой  $\Gamma_1$  и непроницаемым дном  $\Gamma$  удобнее строить в ортогональной криволинейной системе координат.

Пусть поверхность  $\Gamma$  задается параметрически

$$x_1 = \varphi_1(\xi_1, \xi_2), \quad x_2 = \varphi_2(\xi_1, \xi_2), \quad x_3 = \varphi_3(\xi_1, \xi_2)$$

или в векторной форме

$$\mathbf{x} = \Phi(\xi_1, \xi_2).$$

Функции  $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$  предполагаются аналитическими в окрестности точки  $\xi_1 = \xi_1^0, \xi_2 = \xi_2^0$ ,

$$\begin{aligned} \text{где} \quad x_1^0 &= \varphi_1(\xi_1^0, \xi_2^0), \\ x_2^0 &= \varphi_2(\xi_1^0, \xi_2^0), \\ x_3^0 &= \varphi_3(\xi_1^0, \xi_2^0). \end{aligned}$$

Не нарушая общности, полагаем, что криволинейные координаты  $\xi_1, \xi_2$  выбраны так, что координатная сеть ( $\xi_1 = \text{const}, \xi_2 = \text{const}$ ) совпадает с сетью линий кривизны в некоторой окрестности данной точки исходной поверхности  $\Gamma$ .

В системе (1.1) делается переход от декартовых координат  $x_1, x_2, x_3$  к новым ортогональным криволинейным координатам  $\eta, \xi_1, \xi_2$ . Здесь  $\xi_1, \xi_2$  — параметры, с помощью которых задается исходная поверхность  $\Gamma$ , а  $\eta$  — расстояние от поверхности  $\Gamma$  до произвольной точки пространства, измеряемое по нормали к  $\Gamma$ . Формулы перехода от переменных  $x_1, x_2, x_3$  к координатам  $\eta, \xi_1, \xi_2$  имеют вид

$$x_1 = \varphi_1(\xi_1, \xi_2) + \eta n_1(\xi_1, \xi_2),$$

$$x_2 = \varphi_2(\xi_1, \xi_2) + \eta n_2(\xi_1, \xi_2),$$

$$x_3 = \varphi_3(\xi_1, \xi_2) + \eta n_3(\xi_1, \xi_2)$$

или в векторной форме

$$\mathbf{R} = \Phi(\xi_1, \xi_2) + \eta \mathbf{n}(\xi_1, \xi_2).$$

Здесь  $\mathbf{R} = \{x_1, x_2, x_3\}$  — радиус-вектор произвольной точки пространства, а  $\mathbf{n} = \{n_1, n_2, n_3\}$  — единичный нормальный вектор к поверхности  $\Gamma$ . В новых переменных поверхность  $\Gamma$  задается уравнением  $\eta = 0$ .

Якобиан преобразования равен  $J_1 = \mathbf{R}_{\xi_1} \mathbf{R}_{\xi_2} \mathbf{R}_\eta$ . Если  $|\Phi_{\xi_1}|^2 + |\Phi_{\xi_2}|^2 \neq 0$  в точке  $(\xi_1 = \xi_1^0, \xi_2 = \xi_2^0)$  на поверхности  $\Gamma$ , то эта точка не является особой

точкой поверхности  $\Gamma$ . В дальнейшем это предполагается выполненным. Тогда якобиан преобразования  $J_1$  будет отличен от нуля в данной точке и в некоторой ее окрестности, а  $H_1, H_2, H_3$  — коэффициенты Ляме

$$H_1 = |\mathbf{R}_\eta| = 1, H_2 = |\mathbf{R}_{\xi_1}|, H_3 = |\mathbf{R}_{\xi_2}|.$$

В силу того, что координатная сеть на поверхности  $\Gamma$  совпадает с сетью линий кривизны, выполняются следующие соотношения:

$$\mathbf{n}_{\xi_1} = -k_1 \Phi_{\xi_1}, \mathbf{n}_{\xi_2} = -k_2 \Phi_{\xi_2},$$

где  $k_1(\xi_1, \xi_2), k_2(\xi_1, \xi_2)$  — значения главных кривизн поверхности  $\Gamma$ .

Вычисляя коэффициенты Ляме с учетом этих соотношений, получим

$$H_1 = 1, H_2 = |\Phi_{\xi_1}|(1 - k_1\eta),$$

$$H_3 = |\Phi_{\xi_2}|(1 - k_2\eta).$$

Заметим, что на поверхности  $\Gamma$  ( $\eta = 0$ )  $H_2 \cdot H_3 \neq 0$ . Коэффициенты Ляме обращаются в ноль только в тех случаях пространства, в которых

$$\eta = \frac{1}{k_i},$$

то есть когда  $\eta$  равна какому-либо из двух радиусов кривизны исходной поверхности  $\Gamma$ , когда от точки на исходной поверхности отошли вдоль нормали в направлении увеличения  $\eta$  на расстояние, равное одному из радиусов кривизны.

Заметим, что

$$H_{2\eta} = |\Phi_{\xi_1}|, H_{3\eta} = |\Phi_{\xi_2}|,$$

$$\frac{H_{2\eta}}{H_2} = \frac{-k_1}{1 - k_1\eta}, \frac{H_{3\eta}}{H_3} = \frac{-k_2}{1 - k_2\eta},$$

причем на поверхности  $\Gamma$

$$\frac{H_{2\eta}}{H_2} = -k_1, \frac{H_{3\eta}}{H_3} = -k_2.$$

Сила тяготения в новых переменных имеет вид

$$\mathbf{F} = -g \left\{ \frac{\Phi_{1\xi_1} \Phi_{2\xi_2} - \Phi_{2\xi_1} \Phi_{1\xi_2}}{|\Phi_{\xi_1}, \Phi_{\xi_2}|}, \frac{\Phi_{3\xi_1}}{|\Phi_{\xi_1}|}, \frac{\Phi_{3\xi_2}}{|\Phi_{\xi_2}|} \right\}.$$

Введем обозначения:

$$A = |\Phi_{\xi_1}|, B = |\Phi_{\xi_2}|, F = -g\{f_1(\xi), f_2(\xi), f_3(\xi)\}.$$

Система (1.1) перейдет в систему

$$\begin{aligned} c_t + c_\eta u + \frac{1}{H_2} c_{\xi_1} v + \frac{1}{H_3} c_{\xi_2} w + 3c \left[ u_\eta + \left( \frac{H_{2\eta}}{H_2} + \frac{H_{3\eta}}{H_3} \right) u + \frac{H_{3\xi_1}}{H_2 H_3} v + \right. \\ \left. + \frac{H_{2\xi_2}}{H_2 H_3} w + \frac{1}{H_2} v_{\xi_1} + \frac{1}{H_3} w_{\xi_2} \right] = 0, \\ u_t + u_\eta u + \frac{1}{H_2} u_{\xi_1} v + \frac{1}{H_3} u_{\xi_2} w - \frac{H_{2\eta}}{H_2} v^2 - \frac{H_{3\eta}}{H_3} w^2 + \frac{1}{3} c c_\eta = -g f_1(\xi), \\ v_t + v_\eta u + \frac{1}{H_2} v_{\xi_1} v + \frac{1}{H_3} v_{\xi_2} w - \frac{H_{2\eta}}{H_2} u v - \\ - \frac{H_{3\xi_1}}{H_2 H_3} w^2 + \frac{H_{2\xi_2}}{H_2 H_3} v w + \frac{1}{3 H_2} c c_{\xi_1} = -g f_2(\xi), \\ w_t + w_\eta u + \frac{1}{H_2} w_{\xi_1} v + \frac{1}{H_3} w_{\xi_2} w + \frac{H_{3\eta}}{H_3} u v + \\ + \frac{H_{3\xi_1}}{H_2 H_3} v w - \frac{H_{2\xi_2}}{H_2 H_3} v^2 + \frac{1}{3 H_3} c c_{\xi_2} = -g f_3(\xi). \end{aligned} \quad (3.1)$$

Здесь, в отличие от п. 2,  $u, v, w$  — проекции вектора скорости газа на координатные оси  $\eta, \xi_1, \xi_2$  соответственно.

В новых переменных решение (2.8), построенное в пункте 2, будет иметь вид

$$c = c_\Phi(t, \xi_1, \xi_2, \eta), u = u_\Phi(t, \xi_1, \xi_2, \eta), v = v_\Phi(t, \xi_1, \xi_2, \eta), w = w_\Phi(t, \xi_1, \xi_2, \eta).$$

Для определения  $\Gamma_1$  в системе (3.1) введем новую независимую переменную  $\vartheta = \eta - \eta_1(t, \xi_1, \xi_2, \eta)$ , где  $\eta = \eta_1(t, \xi_1, \xi_2, \eta)$  — неизвестный закон движения звуковой характеристики  $\Gamma_1$ . В новых переменных уравнение  $\Gamma_1: \Theta = 0$ .

Система (3.1) переписется в виде

$$\begin{aligned} c_t + \frac{1}{H_2} c_{\xi_1} v + \frac{1}{H_3} c_{\xi_2} w + \left( u - \frac{1}{H_2} \eta_{1\xi_1} v - \frac{1}{H_3} \eta_{1\xi_2} w - \eta_{1t} \right) c_\vartheta + \\ + 3c \left[ u_\vartheta + \left( \frac{H_{2\eta}}{H_2} + \frac{H_{3\eta}}{H_3} \right) u + \frac{H_{3\xi_1}}{H_2 H_3} v + \frac{H_{2\xi_2}}{H_2 H_3} w + \right. \\ \left. + \frac{1}{H_2} v_{\xi_1} + \frac{1}{H_3} w_{\xi_2} - \frac{1}{H_2} \eta_{1\xi_1} v_\vartheta - \frac{1}{H_2} \eta_{1\xi_2} w_\vartheta \right] = 0, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & u_t + \frac{1}{H_2} u_{\xi_1} v + \frac{1}{H_3} u_{\xi_2} w + \left( u - \frac{1}{H_2} \eta_{1\xi_1} v - \eta_{1t} \right) u_{\vartheta} - \\
 & - \frac{H_{2\eta}}{H_2} v^2 - \frac{H_{3\eta}}{H_3} w^2 + \frac{1}{3} c c_{\vartheta} = -g f_1, \\
 & v_t + \frac{1}{H_2} v_{\xi_1} v + \frac{1}{H_3} v_{\xi_2} w + \left( u - \frac{1}{H_2} \eta_{1\xi_1} v - \frac{1}{H_3} \eta_{1\xi_2} w - \eta_{1t} \right) v_{\vartheta} + \\
 & + \frac{H_{2\eta}}{H_2} uv - \frac{H_{3\xi_1}}{H_2 H_3} w^2 + \frac{H_{2\xi_2}}{H_2 H_3} vw + \frac{1}{3H_2} c c_{\xi_1} - \frac{1}{3H_2} \eta_{1\xi_1} c c_{\vartheta} = -g f_2, \\
 & w_t + \frac{1}{H_2} w_{\xi_1} v + \frac{1}{H_3} w_{\xi_2} w + \left( u - \frac{1}{H_2} \eta_{1\xi_1} v - \frac{1}{H_3} \eta_{1\xi_2} w - \eta_{1t} \right) w_{\vartheta} + \\
 & + \frac{1}{H_3} w_{\xi_2} w + \frac{H_{3\eta}}{H_3} uv + \frac{H_{3\xi_1}}{H_2 H_3} vw - \frac{H_{2\xi_2}}{H_2 H_3} v^2 + \\
 & + \frac{1}{3H_3} c c_{\xi_2} - \frac{1}{3H_3} \eta_{1\xi_2} c c_{\vartheta} = -g f_3.
 \end{aligned} \tag{3.2}$$

Из равенства нулю определителя перед выводящими производными по переменной  $\xi$  получаем дифференциальное уравнение для определения  $\eta = \eta_1(t, \xi_1, \xi_2)$

$$\begin{aligned}
 & \left( u_{\Phi} - \frac{1}{A(1-k_1\eta_1)} \eta_{1\xi_1} v_{\Phi} - \frac{1}{B(1-k_2\eta_1)} \eta_{1\xi_2} w_{\Phi} - \eta_{1t} \right)^2 = \\
 & = c_{\Phi}^2 \left( 1 + \frac{1}{A^2(1-k_1\eta_1)^2} \eta_{1\xi_1}^2 + \frac{1}{B^2(1-k_2\eta_1)^2} \eta_{1\xi_2}^2 \right).
 \end{aligned}$$

После преобразований имеем задачу для определения закона движения звуковой характеристики  $\Gamma_1$ :

$$\begin{aligned}
 & \eta_{1t} + \frac{1}{A(1-k_1\eta_1)} \eta_{1\xi_1} v_{\Phi} + \frac{1}{B(1-k_2\eta_1)} \eta_{1\xi_2} w_{\Phi} = \\
 & = u_{\Phi} + c_{\Phi} \sqrt{1 + \frac{\eta_{1\xi_1}^2}{A^2(1-k_1\eta_1)^2} + \frac{\eta_{1\xi_2}^2}{B^2(1-k_2\eta_1)^2}}, \quad \eta_1(t_0, \xi_1, \xi_2) = 0.
 \end{aligned} \tag{3.3}$$

Поскольку функции, задающие фоновое течение, являются аналитическими, то задача (3.3) имеет единственное решение  $\eta = \eta_1(t, \xi)$ . Подставляя найденное решение в фоновое течение, получаем аналитические условия на звуковой характеристике  $\Gamma_1$  для системы (1.2):

$$\begin{aligned}
 c|_{\Gamma_1} &= c_{\Phi}(t, \xi_1, \xi_2, \eta_1(t, \xi_1, \xi_2)) = c^0(t, \xi_1, \xi_2), \\
 u|_{\Gamma_1} &= u_{\Phi}(t, \xi_1, \xi_2, \eta_1(t, \xi_1, \xi_2)) = u^0(t, \xi_1, \xi_2), \\
 v|_{\Gamma_1} &= v_{\Phi}(t, \xi_1, \xi_2, \eta_1(t, \xi_1, \xi_2)) = v^0(t, \xi_1, \xi_2), \\
 w|_{\Gamma_1} &= w_{\Phi}(t, \xi_1, \xi_2, \eta_1(t, \xi_1, \xi_2)) = w^0(t, \xi_1, \xi_2).
 \end{aligned} \tag{3.4}$$

В данной работе не будет рассматриваться выход волны на берег, поэтому предполагается, что  $c_\Phi(t_0, \xi_1, \xi_2, 0) \neq 0$ .

Характеристика  $\Gamma_1$  имеет кратность один, поэтому для единственности решения задачи (3.1), (3.4) необходимо задать одно дополнительное условие. Этим условием является условие непротекания жидкости через дно  $\Gamma(\eta = 0)$

$$u(t, \xi_1, \xi_2, 0) = 0. \quad (3.5)$$

**Теорема 1.2.** *Существует  $t_1 > t_0$  такое, что при  $t_0 \leq t \leq t_1$  в некоторой окрестности  $\Gamma_1$  существует единственное локально-аналитическое решение задачи (3.1), (3.4), (3.5).*

Доказательство данной теоремы сводится, как и в [8], к теореме о существовании единственного аналитического решения у характеристической задачи Коши стандартного вида [8]. Задача (3.1), (3.4) является характеристической задачей Коши с данными на характеристике кратности один, поэтому для построения единственного локально-аналитического решения надо задать одно дополнительное условие. Этим условием и является условие (3.5).

Для конструктивного представления решения задачи (3.1), (3.4), (3.5), разложим его в ряд по степеням  $\eta$

$$\mathbf{p}(t, \xi_1, \xi_2, \eta) = \sum_{k=0}^{\infty} P_k(t, \xi_1, \xi_2) \frac{\eta^k}{k!}, \quad \mathbf{p} = \{c, u, v, w\}. \quad (3.6)$$

Заметим, что из условия (3.5) следует  $u_0(t, \xi_1, \xi_2) \equiv 0$ .

В системе (3.1) положим  $\eta = 0$  и с учетом (3.5) получим

$$\begin{aligned} c_{0t} + \frac{1}{A} c_{0\xi_1} v_0 + \frac{1}{B} c_{0\xi_2} w_0 + 3c_0 \left[ u_1 + \frac{B_{\xi_1}}{AB} v_0 + \frac{A_{\xi_2}}{AB} w_0 + \frac{1}{A} v_{0\xi_1} + \frac{1}{B} w_{0\xi_2} \right] &= 0, \\ k_1 v_0^2 + k_2 w_0^2 + \frac{1}{3} c_0 c_1 &= -gf_1(\xi), \\ v_{0t} + \frac{1}{A} v_{0\xi_1} v_0 + \frac{1}{B} v_{0\xi_2} w_0 - \frac{B_{\xi_1}}{AB} w_0^2 + \frac{A_{\xi_2}}{AB} v_0 w_0 + \frac{1}{3A} c_0 c_{0\xi_1} &= -gf_2(\xi), \\ w_{0t} + \frac{1}{A} w_{0\xi_1} v_0 + \frac{1}{B} w_{0\xi_2} w_0 + \frac{B_{\xi_1}}{AB} v_0 w_0 - \frac{A_{\xi_2}}{AB} v_0^2 + \frac{1}{3B} c_0 c_{0\xi_2} &= -gf_3(\xi). \end{aligned} \quad (3.7)$$

Решение системы (3.7) строится с произволом в одну функцию  $c_0(t, \xi_1, \xi_2)$ , описывающую распределение скорости звука на дне во все моменты времени.

Из первого и второго уравнений системы (3.7) получаем

$$\begin{aligned} u_1 &= -\frac{1}{3c_0} \left[ c_{0t} + \frac{1}{A} c_{0\xi_1} v_0 + \frac{1}{B} c_{0\xi_2} w_0 + 3c_0 \left( \frac{B_{\xi_1}}{AB} v_0 + \frac{A_{\xi_2}}{AB} w_0 + \frac{v_{0\xi_1}}{A} + \frac{w_{0\xi_2}}{B} \right) \right], \\ c_1 &= -\frac{3}{c_0} (gf_1 + k_1 v_0^2 + k_2 w_0^2). \end{aligned}$$

Интегрируя третье и четвертое уравнения системы (3.7) с учетом начальных условий для (3.4), имеем

$$v_0 = v_0(t, \xi_1, \xi_2, c_0(t, \xi_1, \xi_2)), \quad w_0 = w_0(t, \xi_1, \xi_2, c_0(t, \xi_1, \xi_2)).$$

Продифференцируем третье и четвертое уравнения системы (3.7) по  $\eta$ , положим  $\eta = 0$  и с учетом (3.5) получим

$$\begin{aligned} & v_{1t} + \frac{1}{A} v_{1\xi_1} v_0 + \frac{1}{B} v_{1\xi_2} w_0 - k_1 v_0 u_1 + \left( u_1 + \frac{1}{A} v_{0\xi_1} + \frac{A_{\xi_2}}{AB} w_0 \right) v_1 + \\ & + \left( \frac{1}{B} v_{0\xi_2} + \frac{2B_{\xi_1}}{AB} w_0 + \frac{A_{\xi_2}}{AB} v_0 \right) w_1 = - \left( \frac{k_1}{A} v_{0\xi_1} v_0 + \frac{k_2}{B} v_{0\xi_2} w_0 - \frac{k_2 B_{\xi_1}}{AB} w_0^2 + \right. \\ & \left. + \frac{(k_1 + k_2) B_{\xi_1}}{AB} w_0^2 + \frac{(k_1 + k_2) A_{\xi_2}}{AB} v_0 w_0 + \frac{1}{3A} c_1 c_{0\xi_1} + \frac{1}{3A} c_0 c_{1\xi_1} + \frac{k_1}{3A} c_0 c_{0\xi_1} \right), \\ & w_{1t} + \frac{1}{A} w_{1\xi_1} v_0 + \frac{1}{B} w_{1\xi_2} w_0 - k_2 w_0 u_1 + \left( u_1 + \frac{1}{B} w_{0\xi_2} + \frac{B_{\xi_1}}{AB} v_0 \right) w_1 + \\ & + \left( \frac{1}{A} w_{0\xi_1} + \frac{2A_{\xi_2}}{AB} v_0 + \frac{B_{\xi_1}}{AB} w_0 \right) v_1 = - \left( \frac{k_2}{A} w_{0\xi_1} v_0 + \frac{k_2}{B} w_{0\xi_2} w_0 - \frac{k_1 A_{\xi_2}}{AB} v_0^2 + \right. \\ & \left. + \frac{(k_1 + k_2) A_{\xi_2}}{AB} v_0^2 + \frac{(k_1 + k_2) B_{\xi_1}}{AB} v_0 w_0 + \frac{1}{3B} c_1 c_{0\xi_2} + \frac{1}{3B} c_0 c_{1\xi_2} + \frac{k_1}{3B} c_0 c_{0\xi_2} \right). \end{aligned}$$

Начальные условия для этих уравнений получаются, если из условий (3.4)  $v^0, w^0$  продифференцировать по  $\eta$  и положить  $\eta = 0, t = t_0$ .

Интегрируя уравнения, имеем

$$v_1 = v_1(t, \xi_1, \xi_2, c_0(t, \xi_1, \xi_2)), \quad w_1 = w_1(t, \xi_1, \xi_2, c_0(t, \xi_1, \xi_2)).$$

Продифференцируем  $k$  раз первое и второе уравнения системы (3.1) по  $\eta$ , а третье и четвертое уравнения системы —  $(k + 1)$  раз, положим  $\eta = 0$  и с учетом (3.5) получим

$$\begin{aligned} & c_{kt} + \frac{1}{A} c_{k\xi_1} v_0 + \frac{1}{B} c_{k\xi_2} w_0 + (k + 3) c_k u_1 + \frac{1}{A} c_{0\xi_1} v_k + \frac{1}{B} c_{0\xi_2} w_k + \\ & + 3c_0 \left[ u_{k+1} - (k_1 + k_2) u_k + \frac{B_{\xi_1}}{AB} v_k + \frac{A_{\xi_2}}{AB} w_k + \frac{1}{A} v_{k\xi_1} + \frac{1}{B} w_{k\xi_2} \right] + \\ & + 3c_k \left( \frac{B_{\xi_1}}{AB} v_0 + \frac{A_{\xi_2}}{AB} w_0 + \frac{1}{A} v_{0\xi_1} + \frac{1}{B} w_{0\xi_2} \right) = G_{1k}(\xi_1, \xi_2), \\ & u_{kt} + \frac{1}{A} u_{k\xi_1} v_0 + \frac{1}{B} u_{k\xi_2} w_0 + k u_1 u_k + \frac{1}{A} u_{0\xi_1} v_k + \frac{1}{B} u_{0\xi_2} w_k - \\ & - 2k_1 v_0 v_k - 2k_2 w_0 w_k + \frac{1}{3} c_0 c_{k+1} = G_{2k}(\xi_1, \xi_2), \\ & v_{(k+1)t} + \frac{1}{A} v_{(k+1)\xi_1} v_0 + \frac{1}{B} v_{(k+1)\xi_2} w_0 + k u_1 u_{k+1} + \frac{1}{A} v_{0\xi_1} v_{k+1} + \frac{1}{B} v_{0\xi_2} w_{k+1} - \\ & - \frac{2B_{\xi_1}}{AB} w_0 w_{k+1} + \frac{A_{\xi_2}}{AB} (v_{k+1} w_0 + v_0 w_{k+1}) + \frac{1}{3A} (c_{k+1} c_{0\xi_1} + c_0 c_{(k+1)\xi_1}) = G_{3k}(\xi_1, \xi_2), \\ & w_{(k+1)t} + \frac{1}{A} w_{(k+1)\xi_1} v_0 + \frac{1}{B} w_{(k+1)\xi_2} w_0 + k u_1 w_{k+1} + \frac{1}{A} w_{0\xi_1} v_{k+1} + \frac{1}{B} w_{0\xi_2} w_{k+1} + \\ & + \frac{B_{\xi_1}}{AB} (v_{k+1} w_0 + v_0 w_{k+1}) - \frac{A_{\xi_2}}{AB} v_0 v_{k+1} + \frac{1}{3B} (c_{k+1} c_{0\xi_2} + c_0 c_{(k+1)\xi_2}) = G_{4k}(\xi_1, \xi_2). \quad (3.8) \end{aligned}$$

Функции  $G_{ik}(t, \xi_1, \xi_2)$ ,  $1 \leq i \leq 4$ , известным образом зависят от уже найденных коэффициентов  $\mathbf{p}_l$ ,  $l < k$ , и из-за громоздкости здесь не приводятся. Из первого и второго уравнений системы (3.8) получаем

$$\begin{aligned} u_{k+1} = & (k_1 + k_2)u_k - \frac{B_{\xi_1}}{AB}v_k - \frac{A_{\xi_2}}{AB}w_k - \frac{1}{A}v_{k\xi_1} - \frac{1}{B}w_{k\xi_2} - \\ & - \frac{1}{3c_0} \left[ c_{kt} + \frac{1}{A}c_{k\xi_1}v_0 + \frac{1}{B}c_{k\xi_2}w_0 + (k+3)c_k u_1 + \frac{1}{A}c_{0\xi_1}v_k + \frac{1}{B}c_{0\xi_2}w_k - \right. \\ & \left. - 3c_k \left( \frac{B_{\xi_1}}{AB}v_0 + \frac{A_{\xi_2}}{AB}w_0 + \frac{1}{A}v_{0\xi_1} + \frac{1}{B}w_{0\xi_2} \right) - G_{1k} \right], \\ c_{k+1} = & - \frac{3}{c_0} \left( u_{kt} + \frac{1}{A}u_{k\xi_1}v_0 + \frac{1}{B}u_{k\xi_2}w_0 + ku_1u_k + \frac{1}{A}u_{0\xi_1}v_k + \right. \\ & \left. + \frac{1}{B}u_{0\xi_2}w_k - 2k_1v_0v_k - 2k_2w_0w_k - G_{2k} \right). \end{aligned}$$

Начальные условия для третьего и четвертого уравнений системы (3.8) получаются, если  $v^0, w^0$  из условий (3.4) продифференцировать  $(k+1)$  раз по  $\eta$  и положить  $\eta = 0, t = t_0$ .

Подставляя  $c_{k+1}$  в третье и четвертое уравнения системы (3.8) и интегрируя, имеем

$$v_{k+1} = v_{k+1}(t, \xi_1, \xi_2, c_0(t, \xi_1, \xi_2)), \quad w_{k+1} = w_{k+1}(t, \xi_1, \xi_2, c_0(t, \xi_1, \xi_2)).$$

Таким образом, построено решение (3.6), зависящее от функции  $c_0(t, \xi_1, \xi_2)$ , — распределение скорости звука на непроницаемом дне.

Функцию  $c_0(t, \xi_1, \xi_2)$  будем определять с помощью условий на звуковой характеристике (3.4) из равенства

$$c^0(t, \xi_1, \xi_2) = c(t, \xi_1, \xi_2, \eta_1(t, \xi)). \quad (3.9)$$

Разложим  $c_0(t, \xi_1, \xi_2)$  в ряд по степеням  $t - t_0$

$$c_0(t, \xi_1, \xi_2) = \sum_{k=0}^{\infty} c_{0k}(\xi_1, \xi_2) \frac{(t - t_0)^k}{k!}. \quad (3.10)$$

В равенстве (3.9) положим  $t = t_0$ , учитывая (3.4), получим

$$c_{00} = c^0(t_0, \xi_1, \xi_2, 0).$$

Продифференцируем равенство (3.9) по  $t$

$$c_t^0(t, \xi_1, \xi_2) = c_t(t, \xi_1, \xi_2, \eta_1(t, \xi)) + c_\eta(t, \xi_1, \xi_2, \eta_1(t, \xi))\eta_{1t}(t, \xi_1, \xi_2),$$

положим  $t = t_0$  и, учитывая (3.3), (3.4), (3.6), будем иметь

$$c_{01}(\xi_1, \xi_2) = c_t^0(t_0, \xi_1, \xi_2) - c_t(t_0, \xi_1, \xi_2)(u_\Phi(t_0, \xi_1, \xi_2, 0) + c_\Phi(t_0, \xi_1, \xi_2, 0)).$$

Продифференцируем  $k$  раз по  $t$  равенство (3.9)

$$c_t^{0(k)}(t, \xi_1, \xi_2) = c_t^{(k)}(t, \xi_1, \xi_2, \eta_1(t, \xi_1, \xi_2)) + c_\eta^{(k)}(t, \xi_1, \xi_2, \eta_1(t, \xi_1, \xi_2))\eta_{1t}^{(k)}(t, \xi_1, \xi_2) + F_k(t, \xi_1, \xi_2). \quad (3.11)$$

Здесь  $F_k$  — известная функция от коэффициентов  $\mathbf{p}_n$ ,  $n < k$ , ряда (3.6), ее производных по  $t$ , а также функции  $\eta_1$  и ее производных по  $t$ .

Положим в равенстве (3.11)  $t = t_0$  и, учитывая (3.3), (3.4), (3.6), получим

$$c_{0k}(\xi_1, \xi_2) = c_t^{0(k)}(t_0, \xi_1, \xi_2) - c_k(t_0, \xi_1, \xi_2)(u_\Phi(t_0, \xi_1, \xi_2, 0) + c_\Phi(t_0, \xi_1, \xi_2, 0))^k - F_k(t_0, \xi_1, \xi_2).$$

Таким образом, с помощью условий на звуковой характеристике (3.4) единственным образом определена неизвестная функция  $c_0(t, \xi_1, \xi_2)$  в виде ряда (3.10) и, следовательно, в виде ряда (3.6) определилось единственное локально-аналитическое решение задачи (3.1), (3.4), (3.5).

### Литература

1. Хакимзянов Г. С., Шокин Ю. И., Барахнин В. Б., Шокина Н. Ю. Численное моделирование течений жидкости с поверхностными волнами. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2001.
2. Рождественский Б. Л., Яненко Н. Н. Системы квазилинейных уравнений и их приложения к газовой динамике. М. : Наука, 1968.
3. Баутин С. П., Дерябин С. Л., Соммер А. Ф., Хакимзянов Г. С. Исследование решений уравнений мелкой воды в окрестности подвижной линии уреза // Вычислительные технологии, 2010. — Т. 15. № 6. С. 19–41.
4. Федотова З. И., Хакимзянов Г. С. Нелинейно-дисперсионные уравнения мелкой воды на нестационарном дне // Вычислительные технологии, 2008. Т. 13. № 4. С. 114–126. ISSN 1560-7534.
5. Баутин С. П., Дерябин С. Л. Исследование начально-краевой задачи для системы уравнений Грина – Нагди // Вестник УрГУПС, № 1 (13). 2012. С. 4–13. ISSN 2079-0392.
6. Нигматуллин Р. И., Болотнова Р. Х. Широкодиапазонное уравнение состояния воды и пара. Метод построения // Теплофизика высоких температур, 2008. — Т. 46, № 2. С. 206–218. ISSN 0040-3644.
7. Нигматуллин Р. И., Болотнова Р. Х. Широкодиапазонное уравнение состояния воды и пара. Результаты расчетов // ТВТ, 2008. Т. 46, № 3. С. 362–373.
8. Баутин С. П., Дерябин С. Л. Математическое моделирование истечения идеального газа в вакуум. Новосибирск : Наука, 2005. 390 с. ISBN 5-02-032505-8.
9. Курант Р. Уравнения с частными производными. М. : Мир, 1964. 830 с.

Подставляя функцию  $c_0(t, \xi_1, \xi_2)$  в решение (3.7), получаем граничные условия на поверхности дна

$$\begin{aligned} c|_\Gamma &= c_0(t, \xi_1, \xi_2), \\ v|_{\Gamma_1} &= v_0(t, \xi_1, \xi_2, c_0(t, \xi_1, \xi_2)), \\ u|_{\Gamma_1} &= 0, \\ w|_{\Gamma_1} &= w_0(t, \xi_1, \xi_2, c_0(t, \xi_1, \xi_2)). \end{aligned}$$

### Заключение

1. Построены решения двух начально-краевых задач, которые описывают течение жидкости от поверхности дна до поверхности воды включительно.
2. Построенное течение имеет внутри себя слабый разрыв и поэтому является кусочно-составным.
3. Получены граничные условия на поверхности дна  $\Gamma$ , поверхности воды  $\Gamma_0$  и на слабом разрыве  $\Gamma_1$ . Эти граничные условия могут быть использованы при проведении численных расчетов.

Авторы благодарят С. П. Баутина за полезное обсуждение данной работы. Исследование поддержано РФФИ, проект 11-01-00198. ■

## References

1. Khakimzyanov G. S., Shokin Yu. I., Barakhnin V. B., Shokina N. Yu. Chislennoe modelirovanie techeniy zhidkosti s poverkhnostnyimi volnami. [Numerical simulation of fluid with surface waves]. Novosibirsk : Publishing house of SO RAS, 2001.
2. Rozhdestvenskiy B. L., Yanenko N. N. Sistemy kvazilineynykh upavneniy i ikh prilozheniya k gazovoy dinamike. [System of quasi-linear equations and their applications for gas dynamics]. M. : Nauka, 1968.
3. Bautin S. P., Deryabin S. L., Sommer A. F., Khakimzyanov G. S. Issledovanie resheniy uravneniy melkoy vody v okrestnosti podvizhnoy linii ureza [Investigation of solutions of shallow water equations in the vicinity of the movable shore horizon] // Vychislitelnye tekhnologii, 2010. — T. 15. № 6. P. 19–41.
4. Fedotova Z. I., Khakimzyanov G. S. Nelineynno-dispersionnye uravneniya melkoy vody na nestatsionarnom dne [Nonlinear dispersive shallow water equations on non-stationary bottom] // Vychislitelnye tekhnologii, 2008. T. 13. № 4. p. 114–126. ISSN 1560-7534.
5. Bautin S. P., Deryabin S. L. Issledovanie nachalno-kraevoy zadachi dlya sistemy uravneniy Grina — Nagdi [The study of the initial-boundary value problem for the system of Green — Naghdi equations] // USURT Herald, № 1 (13). 2012. p. 4–13. ISSN 2079-0392.
6. Nigmatullin R. I., Bolotnova R. Kh. Shirokodiapazonnoe uravnenie sostoyaniya vody i para. Metod postroyeniya [Wide-range equation of water and steam state. Method of construction] // Teplofizika vysokikh temperatur, 2008. — T. 46, № 2. p. 206–218. ISSN 0040-3644.
7. Nigmatullin R. I., Bolotnova R. Kh. Shirokodiapazonnoe uravnenie sostoyaniya vody i para. Rezultaty raschetov [Wide-range equation of water and steam state. Calculation results] // TVT, 2008. T. 46, № 3. P. 362–373.
8. Bautin S. P., Deryabin S. L. Matematicheskoe modelirovanie istecheniya idealnogo gaza v vakuum. [Mathematical modeling of the ideal gas flow into vacuum]. Novosibirsk : Nauka, 2005. 390 p. ISBN 5-02-032505-8.
9. Courant R. Uravneniya s chastnymi proizvodnymi [Partial Differential Equations]. M. : Mir, 1964. 830 p.

*Статья сдана в редакцию 21 мая 2013 года*

УДК 539.3

*К. В. Бердников, В. В. Стружанов*

## Остаточные напряжения в упругопластическом пространстве, возникающие после расширения сферической полости

UDC 539.3

*K. V. Berdnikov, V. V. Struzhanov*

## Residual stresses in the elastoplastic space arising after the expansion of a spherical cavity

### Аннотация

Рассматривается упругопластическое пространство со сферической полостью. Полагается, что полость расширяется либо под действием равномерно распределенного внутреннего давления, либо посредством задания одинаковых радиальных перемещений точкам ее границы. С некоторого момента, а именно, после превышения напряжениями предела текучести, в прилегающих к поверхности полости слоях материала возникают пластические деформации. В общем случае эти деформации не удовлетворяют условиям совместности Сен-Венана, поэтому они инициируют появление самоуравновешенного поля остаточных напряжений после снятия нагрузки. Излагается методика определения остаточных напряжений, которая позволяет исходную краевую задачу привести к задаче Ляме в перемещениях. Проводится расчет и построение эпюр остаточных напряжений в задаче о расширении сферической полости в упругопластическом пространстве с полярно-симметричным распределением напряжений и деформаций.

**Ключевые слова:** сферическая полость, внутреннее давление, остаточные пластические деформации, упругопластическое пространство, остаточные напряжения.

### Abstract

Elastoplastic space with spherical cavity is considered. It is believed that this cavity expands under action of uniformly distributed internal pressure or by setting the same radial displacement for boundary points. Since some moment namely, after exceeding yield strength stress in adjacent to the cavity surface layers plasticity strains arise. Generally these strains do not satisfy the compatibility conditions of Saint-Venant. So they initiate appearance of self-equilibrated residual stress field after removing the load. Method for determination residual stresses is presented. This method allows to lead the initial boundary problem to Lamé problem in the movements. In the problem of expansion of spherical cavity in elastoplastic space calculation and plotting of diagrams of residual stresses with polar-symmetric distribution stresses and strains is presented.

**Key words:** spherical cavity, initial pressure, residual plasticity strains, elastoplastic space, residual stresses.

---

**Кирилл Вячеславович Бердников**, инженер; лаборатория микромеханики материалов Института машиноведения УрО РАН; Екатеринбург, Россия. E-mail: kir.berdnikov@mail.ru.

**Валерий Владимирович Стружанов**, д-р физ.-мат. наук, профессор; кафедра «Высшая и прикладная математика» Уральского государственного университета путей сообщения, Екатеринбург; Россия. E-mail: stru@imach.uran.ru.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 13-08-00186).*

**Kirill V. Berdnikov**, Engineer; Laboratory of materials micromechanics of the Institute of Engineering Science, UB RAS, Ekaterinburg, Russia. E-mail: kir.berdnikov@mail.ru.

**Valery V. Struzhanov**, DSc in Physics and Mathematics, Professor; Chair «Higher and Applied Mathematics», Ural State University of Railway Transport; Ekaterinburg, Russia. E-mail: stru@imach.uran.ru.

*The project was financially supported by RFBR (project 13-08-00186).*

### Введение

Задача о расширении сферической полости в трехмерном пространстве играет значительную роль в механике грунтов [1]. В частности, на ней можно проверить методы расчета напряженно-деформированного состояния, возникающего вокруг горизонтальных выработках (тоннелей). Известно классическое решение для упругого пространства [2]. Однако при весьма значительных внутренних воздействиях, после превышения определенного уровня напряжений (предела текучести) в среде появляются пластические деформации, не исчезающие с течением времени и остающиеся и после разгрузки. Эти деформации в общем случае несовместны (не удовлетворяют условиям совместности Сен-Венана [2]). После разгрузки эти несовместные деформации не могут быть реализованы в сплошной среде [2, 3]. Возникают силы, преобразующие поле несовместных деформаций в поле деформаций совместных. Эти силы носят название собственных напряжений и уравниваются без приложения внешней нагрузки [2, 3]. Очевидно, что собственные напряжения существенно влияют на прочность и долговечность конструктивных элементов. Поэтому их расчет является актуальной задачей. В настоящей работе приведен расчет остаточных напряжений, появляющихся в пространстве вокруг сферической полости после снятия нагрузки. При последующих нагружениях данные напряжения, складываясь с напряжениями от внешней нагрузки, воздействуют на прочность материала вокруг полости.

### Постановка задачи

Сферическая полость радиуса  $a$  расположена в трехмерном пространстве из упругопластического материала. Она расширяется, создавая некоторое напряженное состояние упругопластического массива. Расширение

может происходить либо под действием равномерного внутреннего давления  $p$  (мягкое нагружение), либо точкам поверхности сферы задаются одинаковые радиальные перемещения  $v$  (жесткое нагружение). В силу полярной симметрии, вытекающей из способа нагружения, в окружающем материале возникают только радиальные перемещения  $u(r)$ , затухающие на бесконечности. Здесь используется сферическая система координат с началом в центре полости. Отсюда  $r$  — расстояние от начала координат. Тогда в пространстве возникают совместные деформации, определяемые соотношениями Коши [2],

$$\varepsilon'_r = \frac{du}{dr}, \varepsilon'_\theta = \varepsilon'_\varphi = \frac{u}{r}. \quad (1)$$

Здесь  $\varepsilon'_r$  — радиальные деформации;  $\varepsilon'_\theta = \varepsilon'_\varphi$  — тангенциальные деформации.

После превышения определенного уровня напряжений (предела текучести) в среде появляются пластические деформации, которые в общем случае несовместны (не удовлетворяют условиям совместности Сен-Венана). После разгрузки (снятия давления внутри сферы) в пространстве остаются только эти пластические (остаточные) деформации. Так как несовместные деформации не могут быть реализованы в сплошной среде, то возникают силы, преобразующие поле несовместных деформаций в поле деформаций совместных. Это остаточные напряжения, уравнивающиеся без приложения внешней нагрузки [2, 3]; то есть удовлетворяют уравнениям равновесия, которые в данной задаче имеют вид [2]

$$\frac{d\sigma''_r}{dr} + 2 \frac{\sigma''_r - \sigma''_\theta}{r} = 0. \quad (2)$$

Здесь  $\sigma''_r(r)$  — радиальные остаточные напряжения,  $\sigma''_\theta(r) = \sigma''_\varphi(r)$  — тангенциальные напряжения. Они удовлетворяют следующему закону Гука [2]:

$$\begin{aligned} \sigma_r'' &= 2\mu\varepsilon_r' + \lambda(\varepsilon_r' + 2\varepsilon_\theta') - \\ &- 2\mu\varepsilon_r^p - \lambda(\varepsilon_r^p + 2\varepsilon_\theta^p), \\ \sigma_\theta'' &= \sigma_\varphi'' = 2\mu\varepsilon_\theta' + \lambda(\varepsilon_r' + 2\varepsilon_\theta') - \\ &- 2\mu\varepsilon_\theta^p - \lambda(\varepsilon_r^p + 2\varepsilon_\theta^p), \end{aligned} \quad (3)$$

где  $\lambda = \frac{vE}{(1+v)(1-2v)}$ ;  $\mu = G = \frac{E}{2(1+v)}$  —

коэффициенты упругости Ляме. Здесь  $E$  — модуль Юнга,  $G$  — модуль сдвига,  $v$  — коэффициент Пуассона,  $\varepsilon_r^p(r)$ ,  $\varepsilon_\theta^p(r) = \varepsilon_\varphi^p(r)$  — радиальные и тангенциальные компоненты остаточных деформаций соответственно. Решение упругой задачи [2] показывает, что объемные (гидростатические) деформации равны нулю, отсюда остаточные деформации являются остаточными деформациями сдвига. Для рассматриваемой задачи компоненты остаточных деформаций определяются формулами [4, 5]

$$\varepsilon_r^p = -\frac{2}{3}\gamma^p, \quad \varepsilon_\theta^p = \frac{1}{3}\gamma^p. \quad (4)$$

Здесь  $\gamma^p(r) = \varepsilon_\theta^p(r) - \varepsilon_r^p(r)$  — остаточные деформации сдвига.

К уравнениям (1)–(3) необходимо добавить граничные условия, которые определяют тип нагружения. Для мягкого нагружения это условия отсутствия внешних усилий:

$$\sigma_r''|_{r=a} = 0, \quad \sigma_r''|_{r=\infty} = 0. \quad (5)$$

Для жесткого нагружения имеем граничные условия смешанного типа

$$u|_{r=a} = 0, \quad \sigma_r''|_{r=\infty} = 0. \quad (6)$$

### Мягкое нагружение

При таком типе нагружения расширение сферической полости происходит под действием равномерно распределенного давления.

Для определения остаточных напряжений сведем краевую задачу (1)–(3) к уравнению Ляме в переме-

щениях. Соотношения (1) подставляем в закон Гука (3), а то, что получится, — в уравнение (2). После необходимых преобразований с учетом равенств (4) получаем

$$\begin{aligned} \frac{d^2u}{dr^2} + \frac{2}{r} \frac{du}{dr} - 2 \frac{u}{r^2} = \\ = -m \left( 3 \frac{\gamma^p(r)}{r} + \frac{d\gamma^p(r)}{dr} \right), \end{aligned} \quad (7)$$

где

$$\begin{aligned} m &= 4\mu[3(\lambda + 2\mu)]^{-1} = \\ &= 2(1-2\nu)[3(1-\nu)]^{-1}. \end{aligned}$$

Общее решение однородного уравнения, отвечающего уравнению (7), есть

$$u = \frac{C_1}{r^2} + C_2 r.$$

Частное решение неоднородного уравнения ищем исходя из вида правой части. Возьмем частное решение в виде

$$u = -mr \int_a^r \frac{\gamma^p(r)}{r} dr$$

и проверим, что это выражение есть частное решение уравнения (7). Имеем

$$\frac{du}{dr} = -m \int_a^r \frac{\gamma^p(r)}{r} dr - m\gamma^p(r),$$

$$\frac{d^2u}{dr^2} = -m \frac{\gamma^p(r)}{r} - m \frac{d\gamma^p(r)}{dr},$$

$$\frac{d^2u}{dr^2} + \frac{2}{r} \frac{du}{dr} - 2 \frac{u}{r^2} = -m \frac{\gamma^p(r)}{r} -$$

$$-m \frac{d\gamma^p(r)}{dr} - \frac{2m}{r} \int_a^r \frac{\gamma^p(r)}{r} dr -$$

$$- \frac{2m}{r} \gamma^p(r) + \frac{2m}{r} \int_a^r \frac{\gamma^p(r)}{r} dr =$$

$$= -3m \frac{\gamma^p(r)}{r} - m \frac{d\gamma^p(r)}{dr} =$$

$$= \frac{-4\mu}{3(\lambda + 2\mu)} \left( 3 \frac{\gamma^p(r)}{r} + \frac{d\gamma^p(r)}{dr} \right).$$

Таким образом, общее решение уравнения (7) равно

$$u = \frac{C_1}{r^2} + C_2 r - m r \int_a^r \frac{\gamma^p(r)}{r} dr. \quad (8)$$

Подставим найденные перемещения в соотношения Коши (1), то есть найдем совместные деформации.

$$\begin{aligned} \varepsilon'_r = & -\frac{2C_1}{r^3} + C_2 - \\ & - m \int_a^r \frac{\gamma^p(r)}{r} dr - m \gamma^p(r), \end{aligned} \quad (9)$$

$$\varepsilon'_\varphi = \varepsilon'_\theta = \frac{C_1}{r^3} + C_2 - m \int_a^r \frac{\gamma^p(r)}{r} dr. \quad (10)$$

Определим остаточные напряжения, подставляя найденные совместные деформации (9)–(10) в закон Гука (3). Получаем

$$\begin{aligned} \sigma'_r = & 2\mu \left[ -\frac{2C_1}{r^3} + C_2 - m \int_a^r \frac{\gamma^p(r)}{r} dr - m \gamma^p(r) \right] + \\ & + \lambda \left[ 3C_2 - 3m \int_a^r \frac{\gamma^p(r)}{r} dr - m \gamma^p(r) \right] + \\ & + \frac{4}{3} \mu \gamma^p(r) = -\frac{2C_1}{r^3} 2\mu + C_2 (3\lambda + 2\mu) - \\ & - (3\lambda + 2\mu) m \int_a^r \frac{\gamma^p(r)}{r} dr - \\ & - \frac{4\mu(\lambda + 2\mu)}{3(\lambda + 2\mu)} \gamma^p(r) + \frac{4\mu}{3} \gamma^p. \end{aligned}$$

Приводя подобные члены, имеем

$$\begin{aligned} \sigma'_r = & -\frac{2C_1}{r^3} 2\mu + C_2 (3\lambda + 2\mu) - \\ & - (3\lambda + 2\mu) m \int_a^r \frac{\gamma^p(r)}{r} dr. \end{aligned}$$

Остальные напряжения после выполнения несложных преобразований равны

$$\begin{aligned} \sigma'_r = \sigma'_\varphi = & \frac{C_1}{r^3} 2\mu + C_2 [3\lambda + 2\mu] - \\ & - [3\lambda + 2\mu] m \int_a^r \frac{\gamma^p(r)}{r} dr - \\ & - \lambda m \gamma^p(r) - \frac{2}{3} \mu \gamma^p(r). \end{aligned}$$

Для определения произвольных постоянных  $C_1$  и  $C_2$  используем граничные условия (5). Из второго граничного условия находим

$$C_2 = m \int_a^\infty \frac{\gamma^p(r)}{r} dr.$$

Используя первое граничное условие, получаем

$$-\frac{2C_1}{a^3} 2\mu + C_2 [3\lambda + 2\mu] = 0.$$

Значит,

$$\begin{aligned} C_1 = & \frac{C_2 (3\lambda + 2\mu) a^3}{4\mu} = \\ = & \frac{m (3\lambda + 2\mu) a^3}{4\mu} \int_a^\infty \frac{\gamma^p(r)}{r} dr. \end{aligned}$$

Используя величины констант, находим выражение для перемещений

$$\begin{aligned} u = & \frac{2(1-2\nu)}{3(1-\nu)} r \left( \left[ 1 + \frac{(1+\nu)a^3}{2(1-2\nu)r^3} \right] \times \right. \\ & \left. \times \int_a^\infty \frac{\gamma^p(r)}{r} dr - \int_a^r \frac{\gamma^p(r)}{r} dr \right); \end{aligned}$$

для совместных деформаций

$$\begin{aligned} \varepsilon'_r = & \frac{2(1-2\nu)}{3(1-\nu)} \left( \left[ 1 - \frac{(1+\nu)a^3}{(1-2\nu)r^3} \right] \times \right. \\ & \left. \times \int_a^\infty \frac{\gamma^p(r)}{r} dr - \int_a^r \frac{\gamma^p(r)}{r} dr - \gamma^p(r) \right), \end{aligned}$$

$$\varepsilon'_\varphi = \varepsilon'_\theta = \frac{2(1-2\nu)}{3(1-\nu)} \left( \left[ 1 + \frac{(1+\nu)\alpha^3}{2(1-2\nu)r^3} \right] \int_a^\infty \frac{\gamma^p(r)}{r} dr - \int_a^r \frac{\gamma^p(r)}{r} dr \right);$$

для объемных совместных деформаций

$$\theta' = \varepsilon'_r + 2\varepsilon'_\theta = \frac{2(1-2\nu)}{3(1-\nu)} \left( 3 \int_a^\infty \frac{\gamma^p(r)}{r} dr - 3 \int_a^r \frac{\gamma^p(r)}{r} dr - \gamma^p(r) \right);$$

для деформации сдвига

$$\gamma' = \varepsilon'_\theta - \varepsilon'_r = \frac{2(1-2\nu)}{3(1-\nu)} \left( \frac{3(1+\nu)\alpha^3}{2(1-2\nu)r^3} \int_a^\infty \frac{\gamma^p(r)}{r} dr + \gamma^p(r) \right);$$

для остаточных напряжений

$$\sigma'_r = \frac{2E}{3(1-\nu)} \left( \left[ 1 - \frac{\alpha^3}{r^3} \right] \int_a^\infty \frac{\gamma^p(r)}{r} dr - \int_a^r \frac{\gamma^p(r)}{r} dr \right), \quad (11)$$

$$\sigma'_\theta = \sigma'_\varphi = \frac{2E}{3(1-\nu)} \left( \left[ 1 + \frac{\alpha^3}{2r^3} \right] \int_a^\infty \frac{\gamma^p(r)}{r} dr - \int_a^r \frac{\gamma^p(r)}{r} dr - \frac{\gamma^p(r)}{2} \right) \quad (12)$$

и для компоненты шарового тензора остаточных напряжений

$$\sigma''_0 = \sigma''_r + 2\sigma''_\theta = \frac{2E}{3(1-\nu)} \left( 3 \int_a^\infty \frac{\gamma^p(r)}{r} dr - 3 \int_a^r \frac{\gamma^p(r)}{r} dr - \gamma^p(r) \right),$$

а также максимальные касательные напряжения (остаточные)

$$\tau'' = \frac{1}{2}(\sigma''_0 - \sigma''_r) = \frac{E}{3(1-\nu)} \left( \frac{3}{2} \frac{\alpha^3}{r^3} \int_a^\infty \frac{\gamma^p(r)}{r} dr - \frac{\gamma^p(r)}{2} \right);$$

псевдонапряжения, связанные законом Гука с совместными деформациями

$$\sigma'_r = \frac{2E}{3(1-\nu)} \left( \left[ 1 - \frac{\alpha^3}{r^3} \right] \int_a^\infty \frac{\gamma^p(r)}{r} dr - \int_a^r \frac{\gamma^p(r)}{r} dr - \frac{1-\nu}{1+\nu} \gamma^p(r) \right),$$

$$\sigma'_\theta = \frac{2E}{3(1-\nu)} \left( \left[ 1 + \frac{\alpha^3}{2r^3} \right] \int_a^\infty \frac{\gamma^p(r)}{r} dr - \int_a^r \frac{\gamma^p(r)}{r} dr - \frac{\nu}{1+\nu} \gamma^p(r) \right),$$

и компоненту шарового тензора псевдонапряжений

$$\sigma'_0 = \sigma'_r + 2\sigma'_\theta = \frac{2E}{3(1-\nu)} \left( 3 \int_a^\infty \frac{\gamma^p(r)}{r} dr - 3 \int_a^r \frac{\gamma^p(r)}{r} dr - \gamma^p(r) \right),$$

а также максимальные касательные псевдонапряжения

$$\tau' = \frac{1}{2}(\sigma'_0 - \sigma'_r) = \frac{E}{3(1-\nu)} \left( \frac{3}{2} \frac{\alpha^3}{r^3} \int_a^\infty \frac{\gamma^p(r)}{r} dr + \frac{1-2\nu}{1+\nu} \gamma^p(r) \right).$$

Отметим, что

$$\tau'' = \tau' + \tau^p, \quad (13)$$

где  $\tau^p = G\gamma^p$ . Тензор остаточных напряжений

$$\sigma^{\wedge''} = \sigma^{\wedge'} - \sigma^{\wedge p}, \quad (14)$$

где компоненты тензора  $\sigma^{\wedge p}$  равны

$$\sigma_r^p = -\frac{2E}{3(1+\nu)}\gamma^p, \quad \sigma_\theta^p = \frac{E}{3(1+\nu)}\gamma^p.$$

Тензор деформаций, связанный законом Гука с тензором остаточных напряжений, равен

$$\varepsilon^{\wedge''} = \varepsilon^{\wedge'} - \varepsilon^{\wedge p}, \quad (15)$$

где компоненты тензора  $\varepsilon^{\wedge p}$  есть

$$\varepsilon_r^p = -\frac{2}{3}\gamma^p, \quad \varepsilon_\theta^p = -\frac{1}{3}\gamma^p.$$

Построим эпюры остаточных напряжений. Для этого найдем остаточную деформацию сдвига, которая вычисляется по формуле [4, 5]

$$\gamma^p(r) = \left(1 - \frac{G^p}{G}\right)\gamma(r), \quad (16)$$

где  $\gamma(r)$  — сдвиговая деформация, определяемая из решения упругой задачи [6]

$$\gamma(r) = \frac{3}{4G}p\frac{a^3}{r^3}.$$

Здесь  $G = E/2(1 + \nu)$  — модуль сдвига в упругости;  $G^p$  — инкрементальный модуль;  $p$  — внутреннее давление. Пусть упругопластическая среда описывается моделью Генки с разупрочнением [4, 5]. Тогда

$$G^p = \frac{dT(\Gamma)}{d\Gamma},$$

где  $T(\Gamma) = \mu(\Gamma) \cdot \Gamma$ . Здесь  $T$  и  $\Gamma$  — соответственно интенсивности касательных напряжений и деформаций сдвига [6], т.е.

$$\Gamma = \frac{2}{\sqrt{3}}(\varepsilon_r - \varepsilon_\theta) = \frac{2}{\sqrt{3}}\gamma.$$

Полагаем, что  $\mu(\Gamma) = G(1 - 10\Gamma)$ . Отсюда после необходимых преобразований имеем

$$\gamma^p(r) = \frac{40\sqrt{3}}{3}\gamma^2(r) = \frac{30\sqrt{3}}{4G^2}p^2\frac{a^6}{r^6}. \quad (17)$$

Подставляя выражение (17) в формулы (11) и (12), находим

$$\sigma_r'' = -\frac{2E}{3(1-\nu)}\frac{5\sqrt{3}}{4G^2}p^2\frac{a^3}{r^3}\left(1 - \frac{a^3}{r^3}\right),$$

$$\sigma_\theta'' = \sigma_\phi'' = \frac{2E}{3(1-\nu)}\frac{5\sqrt{3}}{4G^2}p^2\frac{a^3}{2r^3}\left(1 - \frac{4a^3}{r^3}\right).$$

На рис. 1, 2 изображены характерные (качественные) эпюры остаточных напряжений, которые получены при  $a = 1$

$$p = 2G\sqrt{\frac{3(1-\nu)}{10\sqrt{3}}}\cdot 10^{-3}.$$

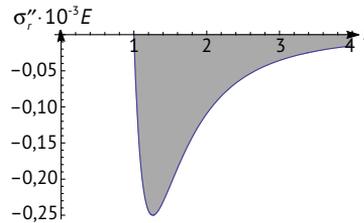


Рис. 1. Характерное распределение радиальных остаточных напряжений

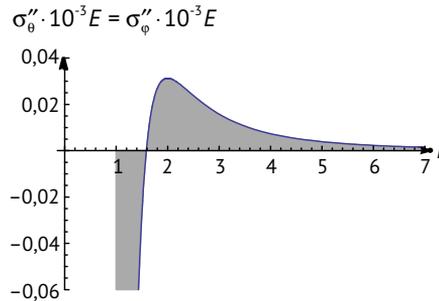


Рис. 2. Характерное распределение тангенциальных остаточных напряжений

### Жесткое нагружение

Пусть сферическая полость расширяется посредством задания одинаковых радиальных перемещений точкам ее границы. Задача (1)–(3) снова сводится к уравнению Ляме (7), решение которого есть функция (8). Аналогично изложенному выше получаем выражения для  $\sigma_r''$ ,  $\sigma_\theta'' = \sigma_\phi''$ , в которых присутствуют неизвестные константы  $C_1$  и  $C_2$ . Используя граничные условия (6), находим

$$C_1 = -ma^3 \int_a^\infty \frac{\gamma^p(r)}{r} dr, \quad C_2 = m \int_a^\infty \frac{\gamma^p(r)}{r} dr.$$

Подставляя данные константы в соответствующие формулы, имеем

$$u = \frac{2(1-2\nu)}{3(1-\nu)} r \left( \left[ 1 - \frac{a^3}{r^3} \right] \int_a^\infty \frac{\gamma^p(r)}{r} dr - \int_a^r \frac{\gamma^p(r)}{r} dr \right);$$

совместные деформации

$$\varepsilon_r' = \frac{2(1-2\nu)}{3(1-\nu)} \left( \left[ 1 + \frac{2a^3}{r^3} \right] \int_a^\infty \frac{\gamma^p(r)}{r} dr - \int_a^r \frac{\gamma^p(r)}{r} dr - \gamma^p(r) \right),$$

$$\varepsilon_\varphi' = \varepsilon_\theta' = \frac{2(1-2\nu)}{3(1-\nu)} \left( \left[ 1 - \frac{a^3}{r^3} \right] \int_a^\infty \frac{\gamma^p(r)}{r} dr - \int_a^r \frac{\gamma^p(r)}{r} dr \right);$$

объемные совместные деформации

$$\theta' = \varepsilon_r' + 2\varepsilon_\theta' = \frac{2(1-2\nu)}{3(1-\nu)} \left( 3 \int_a^\infty \frac{\gamma^p(r)}{r} dr - 3 \int_a^r \frac{\gamma^p(r)}{r} dr - \gamma^p(r) \right);$$

совместные деформации сдвига

$$\gamma' = \varepsilon_\theta' - \varepsilon_r' = \frac{2(1-2\nu)}{3(1-\nu)} \left( -3 \int_a^\infty \frac{\gamma^p(r)}{r^3} dr + \gamma^p(r) \right);$$

остаточные напряжения

$$\sigma_r'' = \frac{2E}{3(1-\nu)} \left( \left[ 1 + \frac{2(1-2\nu)a^3}{(1+\nu)r^3} \right] \int_a^\infty \frac{\gamma^p(r)}{r} dr - \int_a^r \frac{\gamma^p(r)}{r} dr \right), \quad (18)$$

$$\sigma_\theta'' = \sigma_\phi'' = \frac{2E}{3(1-\nu)} \left( \left[ 1 - \frac{(1-2\nu)a^3}{(1+\nu)r^3} \right] \int_a^\infty \frac{\gamma^p(r)}{r} dr - \int_a^r \frac{\gamma^p(r)}{r} dr - \frac{\gamma^p(r)}{2} \right); \quad (19)$$

компонента шарового тензора остаточных напряжений равна

$$\sigma_0'' = \sigma_r'' + 2\sigma_\theta'' = \frac{2E}{3(1-\nu)} \left( 3 \int_a^\infty \frac{\gamma^p(r)}{r} dr - 3 \int_a^r \frac{\gamma^p(r)}{r} dr - \gamma^p(r) \right),$$

максимальные касательные напряжения (остаточные)

$$\tau'' = \frac{1}{2}(\sigma''_{\theta} - \sigma''_r) = \frac{E}{3(1-\nu)} \left( -\frac{3(1-2\nu)}{1+\nu} \frac{a^3}{r^3} \int_a^{\infty} \frac{\gamma^p(r)}{r} dr - \frac{\gamma^p(r)}{2} \right),$$

псевдонапряжения, связанные законом Гука с совместными деформациями

$$\sigma'_r = \frac{2E}{3(1-\nu)} \left( \left[ 1 + \frac{2(1-2\nu)a^3}{(1+\nu)r^3} \right] \int_a^{\infty} \frac{\gamma^p(r)}{r} dr - \int_a^r \frac{\gamma^p(r)}{r} dr - \frac{1-\nu}{1+\nu} \gamma^p(r) \right),$$

$$\sigma'_0 = \frac{2E}{3(1-\nu)} \left( \left[ 1 - \frac{(1-2\nu)a^3}{(1+\nu)r^3} \right] \int_a^{\infty} \frac{\gamma^p(r)}{r} dr - \int_a^r \frac{\gamma^p(r)}{r} dr - \frac{\nu}{1+\nu} \gamma^p(r) \right);$$

компонента шарового тензора псевдонапряжений

$$\sigma'_0 = \sigma'_r + 2\sigma'_\theta = \frac{2E}{3(1-\nu)} \left( 3 \int_a^{\infty} \frac{\gamma^p(r)}{r} dr - 3 \int_a^r \frac{\gamma^p(r)}{r} dr - \gamma^p(r) \right);$$

максимальные касательные псевдонапряжения

$$\tau' = \frac{1}{2}(\sigma'_\theta - \sigma'_r) = \frac{E(1-2\nu)}{3(1-\nu)(1+\nu)} \left( -3 \frac{a^3}{r^3} \int_a^{\infty} \frac{\gamma^p(r)}{r} dr + \gamma^p(r) \right).$$

Непосредственно проверяется, что справедливы равенства (13)–(15).

Отметим, что полученные напряжения возникают возле сферической полости после снятия внутреннего давления и перемещения поверхности сферы в исходное состояние.

Построим эпюры остаточных напряжений. При задании перемещения  $v$  точкам границы сферы из решения упругой задачи [6] имеем  $\gamma(r) = 3Va^2r^{-3}$ .

Тогда по формуле (17) находим  $\gamma^p(r) = 120\sqrt{3}a^4v^2r^{-6}$ . Подставляя это значение в выражения для остаточных напряжений (18) и (19), после вычисления интегралов получаем

$$\sigma''_r = \frac{4E(1-2\nu)}{3(1-\nu^2)} 20\sqrt{3} \frac{a}{r^3} v^2 \left( 1 - \frac{1+\nu}{2(1-2\nu)} \frac{a^3}{r^3} \right),$$

$$\sigma''_\theta = \sigma''_\varphi = -\frac{4E(1-2\nu)}{3(1-\nu^2)} 20\sqrt{3} \frac{a}{r^3} v^2 \left( 1 + \frac{2(1+\nu)}{1-2\nu} \frac{a^3}{r^3} \right).$$

На рис. 3, 4 изображены характерные эпюры этих остаточных напряжений при  $a = 1$ ,  $\nu = 0,25$ ,

$$v = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{3(1-\nu^2)}{(1-2\nu)20\sqrt{3}}} \cdot 10^{-3}.$$

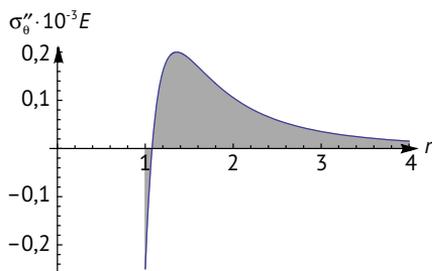


Рис. 3. Характерная эпюра остаточных радиальных напряжений при жестком нагружении

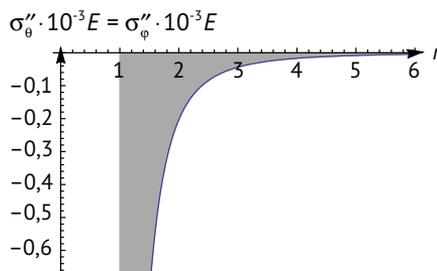


Рис. 4. Характерная эпюра остаточных тангенциальных напряжений при жестком нагружении

Таким образом, в работе представлена методика расчета остаточных напряжений для задач с полярно-симметричным распределением напряжений и деформаций. Проведен

расчет и представлены характерные эпюры остаточных напряжений, появляющихся в упругопластическом пространстве после расширения сферической полости. ■

### Литература

1. Баклашов И. В. Деформирование и разрушение породных массивов. М. : Недра, 1988. 271 с.
2. Тимошенко С. П., Гудьер Дж. Теория упругости. М. : Наука, 1975. 576 с.
3. Стружанов В. В., Миронов В. И. Деформационное разупрочнение материала в элементах конструкций. Екатеринбург : Изд-во УрО РАН, 1995. 192 с.
4. Стружанов В. В., Бердников К. В. Об определяющих соотношениях среды Генки для разупрочняющегося материала при диагональном тензоре деформаций // Вестник Самарского гос. техн. ун-та. (Сер. : Физ.-мат. науки), 2012. № 3 (28). С. 72–80. ISSN 1991-8615.
5. Стружанов В. В., Бердников К. В. Свойства среды Генки с разупрочнением при полярно-симметричном деформировании // Динамика сплошной среды. (Механика структурно-неоднородных сред). Новосибирск : Институт гидродинамики СО РАН. 2012, Вып. 127, С. 97–99. ISSN 0420-0497.
6. Лурье А. И. Теория упругости. М. : Наука, 1970. 940 с.

### References

1. Baklashov I. V. Deformirovanie i razrushenie porodnykh massivov. [Deformation and fracture of rock masses]. M. : Nedra, 1988. 271 p.
2. Timoshenko S. P., Gudyer J. Teoriya uprugosti. [Theory of Elasticity]. M. : Nauka, 1975. 576 p.
3. Struzhanov V. V., Mironov V. I. Deformatsionnoe razuprochnenie materiala v elementakh konstruksiy. [Strain softening of material in structural elements]. Ekaterinburg : Publishing House of UB RAS, 1995. 192 p.
4. Struzhanov V. V., Berdnikov K. V. Ob opredelyayushchikh sootnosheniyakh sredy Genki dlya razuprochnyayuschegosya materiala pri diagonalnom tenzore deformatsiy [On constitutive relations of Genki medium for softening material for diagonal strain tensor] // Bulletin of the Samara State. techn. Univ. (Ser. : Fiz.-mat. nauki), 2012. № 3 (28). P. 72–80. ISSN 1991-8615.
5. Struzhanov V. V., Berdnikov K. V. Svoystva sredy Genki s razuprochneniem pri polyarno-simmetrichnom deformirovanii [Properties of Genki medium with softening at polar-symmetric deformation] // Dinamika sploshnoy sredy. (Mekhanika strukturno-neodnorodnykh sred). [Dynamics of a continuous medium. (Mechanics of heterogeneous media).] Novosibirsk : Institute of Hydrodynamics, SB RAS. 2012, Issue № 127, p. 97–99. ISSN 0420-0497.
6. Lure A. I. Teoriya uprugosti. [Theory of elasticity]. M. : Nauka, 1970. 940 p.

Статья сдана в редакцию 15 апреля 2013 года

УДК 53.043

*К. В. Баутин, С. П. Баутин, В. Н. Макаров***Экспериментальное подтверждение возможности создания потока воздуха, закрученного силой Кориолиса**

UDC 53.043

*K. V. Bautin, S. P. Bautin, V. N. Makarov***Experimental confirmation of the possibility of creating air flow swirled by the Coriolis forces****Аннотация**

В работе описан проведенный эксперимент, подтвердивший возможность создания закрученного потока воздуха благодаря действию силы Кориолиса. На верхнем крае вертикально расположенной трубы помещен вентилятор, создающий в трубе движение воздуха снизу вверх. Вначале поток воздуха в придонной части (между нижним краем трубы и горизонтальной поверхностью пола) имеет радиальный характер. Но с течением времени благодаря вращению Земли поток воздуха через действие силы Кориолиса начинает в придонной части вращаться в положительном направлении, поскольку эксперимент проведен в Северном полушарии. Приведены конкретные значения диаметра и высоты трубы, а также скорости вертикального движения воздуха, при которых значения окружной скорости воздуха достигают 0,2–0,4 м/с. Результаты эксперимента подтверждают выводы, следующие из теоретических исследований С. П. Баутина по возникновению восходящих закрученных потоков воздуха.

**Ключевые слова:** эксперимент, восходящий поток, закрученный поток, сила Кориолиса.

**Abstract**

This paper describes the conducted experiment, confirming the possibility of creating a swirling air flow through the action of the Coriolis forces. On the upper edge of a vertical tube a fan is placed, creating bottom-up air flow in the pipe. Initially, the air flow in the bottom part (between the lower edge of the pipe and the horizontal floor surface) has radial nature. But with the course of time due to the rotation of the Earth, the flow of air through the action of the Coriolis forces begins to rotate in positive direction in the bottom part, as the experiment is conducted in the Northern Hemisphere. The specific values of pipe diameter and height of the pipe and vertical velocity of air are provided, for which the values of the circumferential air velocity reach 0,2–0,4 m/s. The experimental results confirm the conclusions that follow from theoretical research of S. P. Bautin on the appearance of ascending swirling air flows.

**Keywords:** experiment, ascending flow, vortex flow, Coriolis forces.

**Константин Викторович Баутин**, канд. физ.-мат. наук, научный сотрудник; кафедра «Высшая и прикладная математика» Уральского государственного университета путей сообщения; Екатеринбург, Россия. E-mail: baut@mail.ru.

**Сергей Петрович Баутин**, д-р физ.-мат. наук, профессор; кафедра «Высшая и прикладная математика» Уральского государственного университета путей сообщения; Екатеринбург, Россия. E-mail: SBautin@usurt.ru

**Владимир Николаевич Макаров**, д-р техн. наук, профессор, начальник Управления инноватики и развития Уральского государственного горного университета. E-mail: uk.intelnedra@gmail.com.

**Konstantin V. Bautin**, PhD in Physics and Mathematics; Senior Researcher, Chair «Higher and Applied Mathematics», Ural State University of Railway Transport; Ekaterinburg, Russia.

**Sergey P. Bautin**, Dr. in Physics and Mathematics, Professor; Chair «Higher and Applied Mathematics», Ural State University of Railway Transport; Ekaterinburg, Russia. E-mail: SBautin@math.usurt.ru

**Vladimir N. Makarov**, DSc in Engineering, Professor; Vice-Rector for Academic Affairs of Ural State Mining University; Ekaterinburg, Russia.

## **Введение**

Известно, что в природе достаточно часто наблюдаются восходящие закрученные потоки (ВЗП) воздуха. В качестве примеров таких потоков можно привести смерчи, торнадо, тропические циклоны. В монографиях [1, 2] предложены модели возникновения и устойчивого существования ВЗП, подтвержденные как математическим моделированием [1–5], так и результатами экспериментов [6].

Основные причины продолжительного и устойчивого существования ВЗП:

начальным эффектом при возникновении ВЗП является наличие стабильного вертикального стока воздуха, обусловленного в случае природных явлений нагревом плоских поверхностей суши или воды солнечной энергией;

придонное движение воздуха вдоль поверхности Земли имеет радиальный характер — от периферийных областей к центру восходящего потока со всех горизонтальных направлений;

из-за горизонтального движения воздуха в придонной части возникает также и окружное движение благодаря действию силы Кориолиса;

в случае существования достаточно длительного по времени восходящего потока воздуха и, как следствие, радиального движения воздуха в придонной области, вращение Земли посредством силы Кориолиса придает существенную окружную скорость частицам воздуха в придонной части ВЗП.

Создание стабильного вертикального стока в лабораторных условиях возможно несколькими способами, например:

нагрев плоской поверхности, как это было реализовано в экспериментах группы А. Ю. Вараксина [6];

использование вертикальной трубы фиксированного радиуса с вентилятором вытяжного действия с регулируемой скоростью тяги, направляющей воздух снизу вверх.

Для данных условий правомерен термин «свободный ВЗП», поскольку в эксперименте нет никакой предварительной или принудительной закрутки воздуха.

В настоящей работе исследовалась возможность создания стабильного окружного движения воздуха в придонной части ВЗП с применением вертикальной трубы с вентилятором вытяжного действия, направляющим воздух снизу вверх.

## **Теоретические предпосылки постановки экспериментов**

Многочисленные наблюдения природных ВЗП позволили высказать гипотезу о том, что в средней части (по высоте) таких потоков существует граница, отделяющая внешний покоящийся воздух от воздуха, движущегося в ВЗП. В газовой динамике такая граница называется контактной поверхностью [1, 2].

Для создания стабильного ВЗП в лабораторных условиях в качестве контактной поверхности использовалась непроницаемая для воздуха вертикальная цилиндрическая труба из плексигласа (первая серия экспериментов) или полипропилена (вторая).

Соотношение длин труб и их диаметров, а также высота придонной части и расстояние от верхнего среза труб до потолка экспериментальной лаборатории определялись на основании расчетов из монографий [1, 2].

## **Схемы экспериментов**

Схема первой серии экспериментов была реализована в аудитории с внутренними габаритами 10×3×3 м (рис. 1, 2).

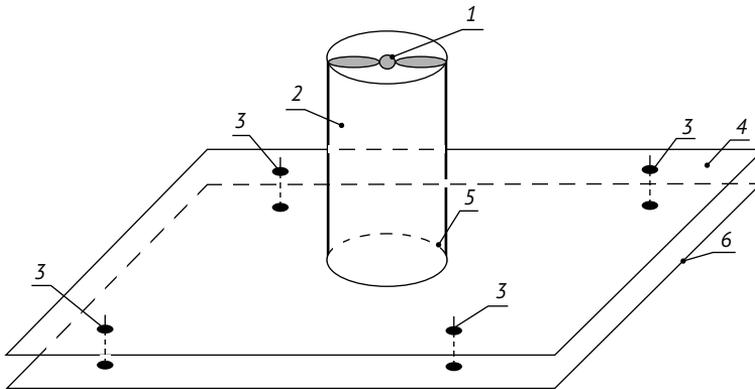


Рис. 1. Схема первой серии экспериментов

1 – вентилятор вытяжного действия с регулируемой скоростью вращения, стационарно закрепленный на верхнем срезе трубы 2; 2 – вертикальная цилиндрическая труба, нижним срезом прикрепленная к плоскости 4 по окружности кругового отверстия 5; 3 – опоры, поддерживающие плоскость 4 над поверхностью пола 6; 4 – сплошная горизонтальная плоскость; 5 – круговое отверстие в геометрическом центре плоскости 4; 6 – поверхность пола помещения, в котором проводится эксперимент

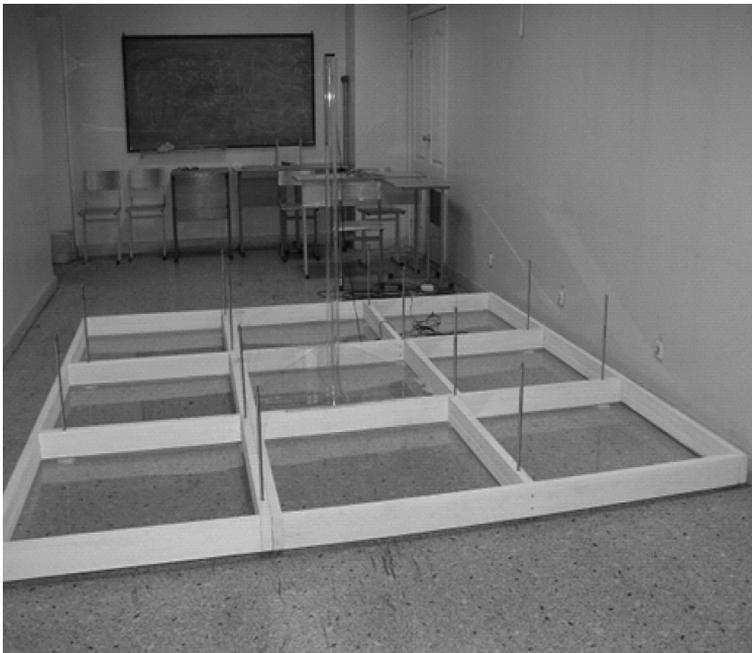


Рис. 2. Реализация схемы первой серии экспериментов

Плоскость 4, изготовленная из плексигласа, прикреплена снизу к деревянным рамам, установленным на опорах 3, нарезная поверхность которых позволяет регулировать расстояние между плоскостью 4 и поверхностью пола 6 от 0,02 до 0,37 м. Длина трубы — 1 м, диаметр — 0,05 м, материал — плексиглас.

Схема второй серии экспериментов была реализована в помещении с внутренними габаритами 17,5×8,5×5 м (рис. 3, 4).

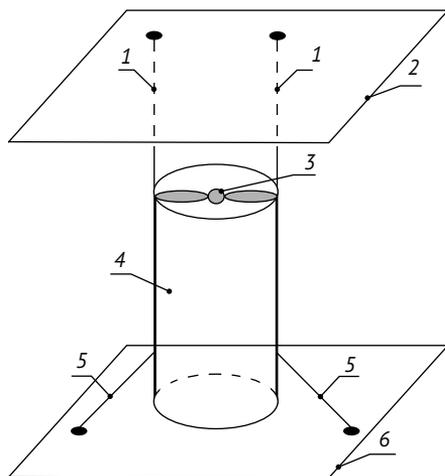


Рис. 3. Схема второй серии экспериментов 1 — элементы для крепления трубы 4 к потолку 2; 2 — потолок помещения, в котором проводится эксперимент; 3 — вентилятор вытяжного действия с регулируемой скоростью вращения, стационарно закрепленный на верхнем срезе трубы 4; 4 вертикальная цилиндрическая труба; 5 — растяжки от пола 6 к трубе 4 для фиксации ее вертикального положения; 6 — поверхность пола помещения, в котором проводится эксперимент



Рис. 4. Реализация схемы второй серии экспериментов

Длина составной трубы — 4,5 м, каждое звено — 1,5 м, диаметр — 0,05 м, материал — полипропилен. Нижний срез трубы расположен на расстоянии 0,012–0,014 м от поверхности пола.

При описании схем экспериментов используется цилиндрическая система координат  $(r, \varphi, z)$ , где  $r$  — расстояние от оси трубы в горизонтальном направлении,  $\varphi$  — полярный угол в плоскости пола, отсчитываемый от оси, направленной на восток, против хода часовой стрелки, то есть в положительном направлении,  $z$  — расстояние от поверхности пола в вертикальном направлении.

При описании результатов экспериментов использованы проекции вектора скорости воздуха на оси цилиндрической системы координат:  $u$  — радиальная,  $v$  — окружная и  $w$  — вертикальная.

#### Оборудование и средства визуализации экспериментов

Для реализации принудительного вертикального стока воздуха на специально оборудованном стационарном оборудовании (см. рис. 1, 3) были использованы: компьютерный вентилятор (так называемый кулер) вытяжного действия с регулируемой скоростью вращения (по ходу часовой стрелки, если смотреть на трубу сверху), (диапазон рабочих характеристик: напряжение питания постоянного тока, В, — 0–12; максимальный постоянный ток, А, — 1,5); стабилизированный источник постоянного тока НУ-1503D (параметры: регулируемое напряжение постоянного тока, В, — 0–15; регулируемый постоянный ток, А, — 2).

В качестве базового способа измерения скорости потока воздуха в радиальном, окружном и вертикальном направлениях был выбран принцип так называемой обогреваемой струны. Для реализации в эксперименте данного принципа были использованы два термоанемометра

Testo 425 (серийные номера 02419555 и 02419541), внесенные в Госреестр средств измерений РФ (свидетельство об утверждении типа средств измерений DE.C.28.010.A № 44519, приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 05.12.2011 № 6344), первичные калибровочные протоколы от 18.10.2012 и 17.10.2012 соответственно. Используемые термоанемометры соответствуют ГОСТ 6651–2009.

Основные технические характеристики термоанемометров Testo 425: диапазон измерения скорости воздушного потока, м/с — 0–20, разрешение — 0,01, точность — 0,03; температурный диапазон эксплуатации — от –20 до +50 °С.

В качестве средств визуализации исследуемых процессов использовались: цветные нитки различных диаметров; папиросная бумага; театральные и ароматические дымы.

### Экспериментальные результаты

В первой серии экспериментов измерения производились для пяти значений  $z$ : 0,37, 0,35, 0,25, 0,14, 0,02 м. В придонном слое замеры значений компонент вектора скорости (радиальной и окружной) производились по четырем азимутам: восточному ( $\varphi = 0$ ), северному ( $\varphi = \pi/2$ ), западному ( $\varphi = \pi$ ), южному ( $\varphi = 3\pi/2$ ); на расстояниях от оси трубы  $r$ : 0,035, 0,135, 0,235 м.

Варьирование напряжения на вентиляторе позволило изменять вертикальную скорость в трубе  $w$  в диапазоне 0,37–0,8 м/с. При этом значения окружной скорости  $v$  в придонной части и в трубе фиксировались в пределах 0,1–0,23 м/с.

Визуализация направления закрутки воздуха производилась с помощью слабого дымового потока в придонной части и с помощью цветной нитки, помещенной внутрь трубы.

Дополнительно направление закрутки воздуха определялось с помощью измерительного зонда тер-

моанемометра. Поскольку рабочая часть зонда спроектирована для реализации принципа «обогреваемая струна», прохождение воздуха через нее предусмотрено сквозным. Поэтому заклеивание одной из сторон рабочей части приводит к разности показаний термоанемометра при обращении навстречу воздушному потоку заклеенной и незаклеенной стороной. В случае, если эта разность превышает порог точности термоанемометра, можно делать вывод о направленности воздушного потока.

Анализ результатов, полученных в первой серии экспериментов, позволяет сделать следующие выводы:

- в придонной части возникает закрутка воздуха всегда в положительном направлении, которая передается и в восходящую часть потока, что полностью согласуется с теорией [1–5] и результатами экспериментов группы А. Ю. Варакина [6];

- максимальное значение окружной скорости  $v$  (до 0,23 м/с) зафиксировано как в придонной, так и в вертикальной части потока;

- движение воздуха в придонной части является нестационарным и трехмерным;

- в значениях компонент вектора скорости наблюдается определенная немонотонность по времени в фиксированных точках пространства;

- в середине вертикального потока воздуха амплитуда колебаний вертикальной и окружной компонент вектора скорости не превышает порога точности термоанемометра, что можно трактовать как стационарность газодинамических характеристик потока воздуха в трубе;

- значимое движение воздуха, включая его закрутку, зафиксировано практически по всей высоте придонного слоя;

- воздушное течение в самой верхней части придонного слоя зависит от  $r$  и от  $\varphi$ , причем с увеличением расстояния  $r$  зависимость от полярного угла  $\varphi$  практически пропадает.

Во второй серии экспериментов замеры производились на высоте  $z = 0,012\text{--}0,014$  м от поверхности пола; расстояния от оси трубы  $r$  составляли 0,03 и 0,5 м. В придонном слое замеры значений компонент вектора скорости (радиальной и окружной) производились по четырем азимутам: восточному ( $\varphi = 0$ ), северному ( $\varphi = \pi/2$ ), западному ( $\varphi = \pi$ ), южному ( $\varphi = 3\pi/2$ ).

Варьирование напряжения на вентиляторе позволило изменять вертикальную скорость в трубе  $w$  в диапазоне 0,46–1,1 м/с. При этом значения окружной скорости  $v$  в придонной части и в трубе фиксировались в пределах 0,16–0,44 и 0,13–0,27 м/с соответственно. Направление закрутки воздуха в придонной части было определено как положительное.

В процессе второй серии экспериментов проведен временный демонтаж экспериментальной трубы. При этом закрутка воздуха непосредственно у поверхности пола сохранилась, окружная компонента скорости убывала в течение 35 мин от 0,44 до 0,07 м/с.

Анализ результатов, полученных во второй серии экспериментов, позволяет сделать следующие выводы:

отсутствие горизонтальной плоскости практически не сказывается на формировании воздушного потока в придонной части и на зависимости окружной компоненты скорости воздушного потока от вертикальной скорости воздуха в трубе;

направление закрутки воздуха является положительным;

исчезновение вертикального стока, контактной поверхности и радиальной компоненты вектора скорости воздуха в придонной части не приводит к моментальному исчезновению закрутки воздуха в придонной части.

### Литература

1. Баутин С. П. Торнадо и сила Кориолиса. Новосибирск : Наука, 2008. 96 с. ISBN 978-502-0233266-2.
2. Баутин С. П., Обухов А. Г. Математическое моделирование разрушительных атмосферных вихрей. Новосибирск : Наука, 2012. 152 с. ISBN 978-5-02-019072-6.

### Заключение

Полученные экспериментальные данные полностью согласуются с теоретическими результатами, строго установленными для задачи о стоке [1–5] — поскольку эксперименты проведены в Северном полушарии, то при наличии вертикального стока течение воздуха в придонной части закручивается вокруг основания стока в положительном направлении.

Движение воздуха в придонном слое является трехмерным и нестационарным. При этом средние характеристики потока воздуха достаточно стабильны.

Значения окружной скорости движения воздуха напрямую зависят от величины вертикальной скорости стока: увеличение вертикальной скорости воздуха в трубе всегда приводит к увеличению окружной компоненты вектора скорости как в придонной, так и в вертикальной части потока.

Течение в придонной части практически не зависит от того, имеется ли горизонтальная плоскость, ограничивающая сверху придонный слой. На первом этапе движение воздуха возникает на уровне нижнего среза трубы, с течением времени оно фиксируется по всей высоте придонного слоя.

За организацию и подготовку серий экспериментов авторы признательны Н. В. Макарову, А. Г. Ермоленко, Л. Г. Пастуховой, А. Ю. Рогову, С. В. Зубкову, А. Г. Обухову, П. С. Баутину, М. К. Абдулкаримову.

Исследование поддержано Российским фондом фундаментальных исследований (проект № 11-01-00198) и Министерством образования и науки РФ (проект № 1.8490.2013). ■

3. Баутин С. П., Крутова И. Ю. Задача о плавном стоке в переменных  $r, t$  как характеристическая задача Коши стандартного вида // Вестник УрГУПС, 2011. № 1 (9). С. 4–13. ISSN 2079-0392.
4. Крутова И. Ю. Задача о движении газа в условиях действия сил тяжести и Кориолиса в окрестности непроницаемой горизонтальной плоскости // Вестник УрГУПС, 2012. № 1 (13). С. 14–21. ISSN 2079-0392.
5. Крутова И. Ю. Трехмерный стационарный поток газа в условиях действия сил тяжести и Кориолиса в окрестности непроницаемой горизонтальной плоскости // Вестник УрГУПС, 2012. № 3 (15). С. 16–24. ISSN 2079-0392.
6. Вараксин А. Ю., Ромаш М. Э., Копейцев В. Н. Торнадо. М. : Физматлит, 2011. 154 с. ISBN 5-9221-1249-X.

### References

1. Bautin S. P. Tornado i sila Koriolisa. [Tornado and the Coriolis forces]. Novosibirsk : Nauka, 2008. 96 p. ISBN 978-502-0233266-2.
2. Bautin S. P., Obukhov A. G. Matematicheskoe modelirovanie razrushitelnykh atmosferynykh vikhrey. [Mathematical modeling of destructive atmospheric vortices]. Novosibirsk : Nauka, 2012. 152 p. ISBN 978-5-02-019072-6.
3. Bautin S. P., Krutova I. Yu. Zadacha o plavnom stoke v peremennykh  $r, t$  kak kharakteristicheskaya zadacha Koshi standartnogo vida [The problem of smooth flow in variables  $r, t$  as the characteristic Cauchy problem of standard form] // USURT Herald. — 2011. — № 1 (9). — P. 4–13. ISSN 2079-0392.
4. Krutova I. Yu. Zadacha o dvizhenii gaza v usloviyakh deystviya sil tyazhesti i Koriolisa v okrestnosti neproniцаemoy gorizontальной ploskosti // USURT Herald, 2012. № 1 (13). P. 14–21. ISSN 2079-0392.
5. Krutova I. Yu. Trekhmernyy statsionarnyy potok gaza v usloviyakh deystviya sil tyazhesti i Koriolisa v okrestnosti neproniцаemoy gorizontальной ploskosti [Three-dimensional steady-state flow of gas under the action of gravity and Coriolis forces in the vicinity of an impermeable horizontal plane] // USURT Herald. 2012. № 3 (15). P. 16–24. ISSN 2079-0392.
6. Varaksin A. Yu., Romash M. E., Kopeytsev V. N. Tornado. [Tornado]. M. : Fizmatlit, 2011. 154 p. ISBN 5-9221-1249-X.

*Статья сдана в редакцию 28 марта 2013 года*

# Управление в технических системах

УДК 656.259.12

*В. А. Сисин, Р. В. Гнитко, И. Г. Тильк*

## Исследование электромагнитной совместимости рельсовых цепей с коммутацией релейного конца с помехами электроснабжения и перспективного тягового состава

UDC 656.259.12

*V. A. Sisin, R. V. Gnitko, I. G. Tilk*

## Study of electromagnetic compatibility of relay and switching track circuitis with interference in power line and perspective traction stock

### Аннотация

Рассмотрены вопросы исследования электромагнитной совместимости рельсовых цепей нового типа, у которых в нормальном режиме работы — без помех — сигнал, поступающий на решающее устройство рельсовой цепи, представляет последовательность импульсов напряжения с регламентируемыми параметрами. Показано, что при наличии помех в рельсовой линии и сети питания в области частот сигнального тока в шунтовом и контрольном режимах работы на выходе амплитудно-фазового детектора таких рельсовых цепей возникают гармонические колебания, которые подаются на вход решающего устройства, что может привести к состоянию ложной свободности рельсовых линий. Для применения таких рельсовых цепей на железнодорожных линиях с электрической тягой в их решающем устройстве должны быть предусмотрены средства, отличающиеся с высокой степенью вероятности гармонические колебания сигнала на входе от импульсного его изменения с регламентируемой частотой и последовательностью, характерного для нормального режима работы.

**Ключевые слова:** рельсовая цепь, рельсовая линия, переездная сигнализация, железнодорожный переезд, электромагнитная совместимость, помехи.

### Abstract

The problems of the study of electromagnetic compatibility of a new type of track circuits are considered, where under normal operation, without interference, the signal coming to track circuit resolver is a sequence of voltage pulses with controlled parameters. It is shown that in the presence of noise in rail line and power supply in the frequency area of signal current in shunting and control modes, harmonic oscillations occur at the output of gain-phase detector of such track circuits, which is fed to the input of the resolver, which might lead to a state of false vacancy of railway lines. In order to use such circuits on railway lines with electric traction, special means shall provided on the resolver that allow to distinguish with a high probability harmonic oscillation of signal at the input from its pulse change, with regulated frequency and consistency typical of normal operation.

**Keywords:** track circuit, rail line, crossing signaling, level crossing, electromagnetic compatibility, interference.

**Сисин Валерий Александрович**, канд. техн. наук; кафедра «Электрические машины» Уральского государственного университета путей сообщения; Екатеринбург, Россия. VSisin@usurt.ru.

**Гнитко Ростислав Васильевич**, канд. биол. наук; НПЦ «Промэлектроника» Уральского государственного университета путей сообщения; Екатеринбург, Россия. Gnitko\_R@nrcprom.ru.

**Тильк Игорь Германович**, канд. техн. наук, директор НПЦ «Промэлектроника» Уральского государственного университета путей сообщения; Екатеринбург, Россия. Melnikova\_i@nrcprom.ru.

**Valeriy A. Sisin**, PhD in Engineering; Chair «Electrical machinery» of Ural State University of Railway Transport; Ekaterinburg, Russia. VSisin@usurt.ru.

**Rostislav V. Gnitko**, PhD in Biology; SPC «Promelectronica», Ural State University of Railway Transport; Ekaterinburg, Russia. Gnitko\_R@nrcprom.ru.

**Igor G. Tilk**, PhD in Engineering, director of SPC «Promelectronica», Ural State University of Railway Transport; Ekaterinburg, Russia. Melnikova\_i@nrcprom.ru.

Рельсовые цепи (РЦ), входящие в состав СЦБ, контролируют свободу и целостность рельсовых линий (РЛ) участков железнодорожного пути. На электрифицированных участках железных дорог РЛ в РЦ используются для передачи на релейный конец сигнального тока и одновременно для отсоса обратного тягового тока электроподвижного состава (ЭПС). Применяемый в настоящее время и особенно разрабатываемый перспективный ЭПС создает широкий спектр электромагнитных помех, которые оказывают на работу РЦ опасное и мешающее воздействие. Воздействие тягового тока и его гармонических составляющих существенно усиливается при возникновении поперечной и продольной асимметрии тягового тока. Реальные значения уровней помех на разных частотах от ЭПС могут быть найдены в ряде работ [1–5]. На работу РЦ опасное и мешающее воздействие оказывают также качество электроэнергии электроснабжения тягового состава и качество электроэнергии высоковольтной линии СЦБ, от которых питается аппаратура РЦ.

Обеспечение электромагнитной совместимости (ЭМС) РЦ с системами электроснабжения и помехами тягового тока — актуальная и трудная задача. Она решается на протяжении всего жизненного цикла РЦ — на стадиях разработки, производства, введения в эксплуатацию — и продолжается в процессе эксплуатации. Она требует трудоемких и длительных исследований, значительных материальных затрат и проводится со значительной степенью неопределенности. В работе [6] показано, что помехозащищенность некоторых эксплуатируемых РЦ к воздействию помех в области частот сигнального тока РЦ не всегда является достаточной.

Очень интересно исследование помехозащищенности РЦ нового

типа [7–9]. Эти РЦ с коммутацией релейного конца (РЦ КРК) первоначально были разработаны для контроля участков приближения переездной сигнализации на малодетельных участках железных дорог. Работа РЦ КРК основана на регистрации динамически изменяемого основного параметра. Предполагалось, что такие РЦ могут обладать повышенной надежностью и устойчивостью к воздействию помех. Цель данной работы — исследование реальной защищенности РЦ КРК к воздействию всевозможных помех и установление возможности обеспечения их электромагнитной совместимости с системой электроснабжения, системой обеспечения тягового тока и помехами перспективного ЭПС.

Функциональная схема РЦ КРК участка приближения АПС с контролем на питающем конце и применением коммутации релейного конца приведена на рис. 1.

В качестве детектора скачков амплитуды и фазы сигнального тока при исследовании помехозащищенности РЦ КРК использовался балансный амплитудно-фазовый детектор (АФД). В нормальном режиме работы РЦ КРК, при работе без помех, сигнал, поступающий от АФД на решающее устройство, представляет последовательность импульсов напряжения с регламентируемой последовательностью и периодом следования (рис. 2).

При прохождении подвижной единицы по РЛ с РЦ КРК релейный конец с токовым ключом шунтируется колесной парой. Поэтому на питающем конце прекращается импульсное потребление сигнального тока и импульсное изменение фазы сигнального тока, которое в нормальном режиме работы РЦ свидетельствует о свободе РЛ. Импульсное потребление сигнального тока прекращается и при изломе рельса (контрольный режим).

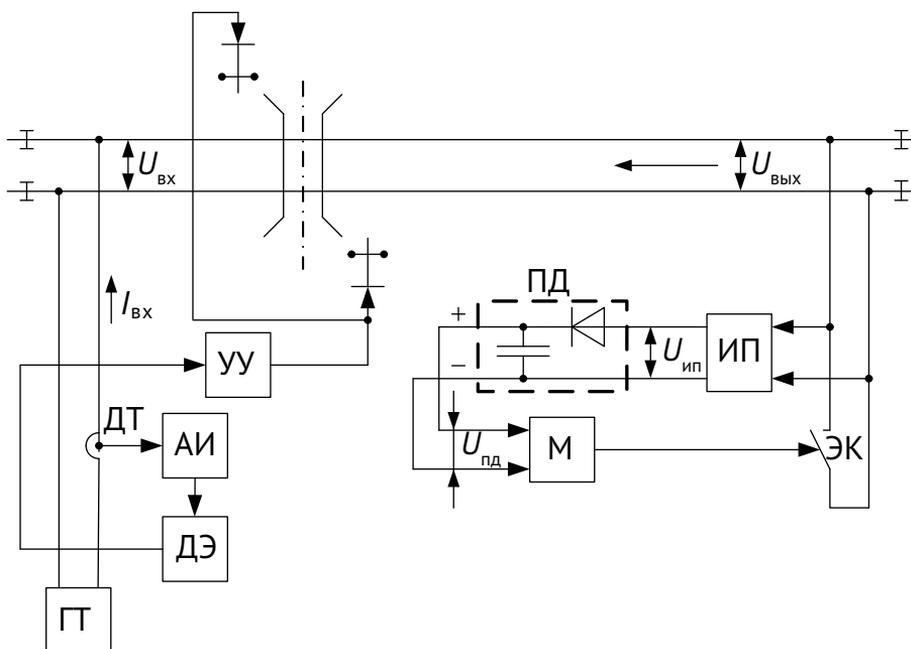


Рис. 1. Функциональная схема РЦ КРК участка приближения АПС с контролем на питающем конце и применением коммутации релейного конца  
 УУ – устройство управления переездной сигнализацией; ГТ – генератор тока; ДТ – датчик тока; АИ – анализатор импульсов тока РЦ; ДЭ – безопасный динамический элемент; ИП – источник питания; ПД – пиковый детектор; М – мультивибратор; ЭК – электронный ключ

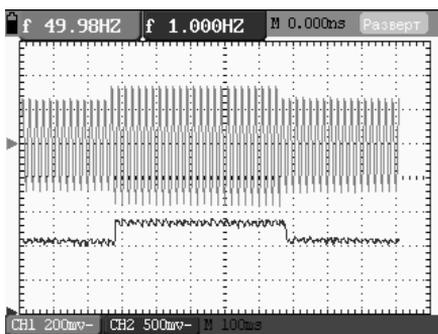


Рис. 2. Выходные осциллограммы АФД в нормальном режиме работы

Наибольший интерес представляет анализ возможности возникновения периодических импульсов на выходе АФД с частотой работы

релейного конца в шунтовом режиме РЦ, аналогичных нормальному режиму работы, что может быть воспринято как ложная свобода занятой РЛ. Гипотетически это может возникнуть за счет совместного воздействия помех и сигнального тока на входную цепь АФД. В этой ситуации необходимо рассмотреть временные диаграммы выходного сигнала АФД при воздействии на его входе сигнального тока и помех различного типа (с гармониками различных частот и различной амплитуды)\*.

На рис. 3 приведена схема замещения воздействия на АФД тока помехи, возникающей в РЦ, при условии стабилизированного источника питания опорного напряжения.

\* Далее будет рассматриваться влияние помех только гармонических колебаний с постоянной амплитудой в шунтовом режиме, поскольку единичные возмущения, действующие в цепях РЦ, не способны привести к периодическому изменению выходного сигнала АФД, аналогичного нормальному режиму работы РЦ.

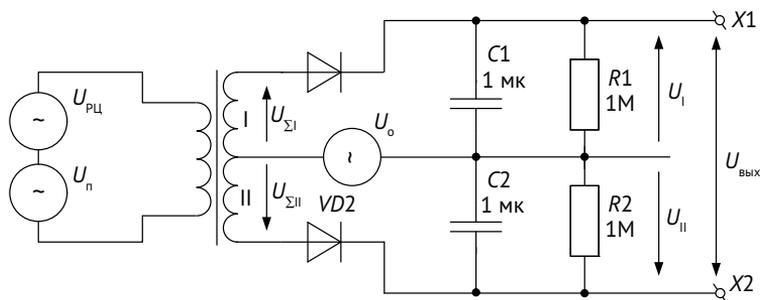


Рис. 3. Амплитудно-фазовый детектор

Рассмотрим первый случай: на АФД действует только сигнал помехи, сигнального тока в цепи нет, частота помехи отличается от частоты опорного сигнала. В этом случае сигналы на выходе полуобмоток трансформатора (до выпрямления), будут описываться следующими выражениями:

$$U_{\Sigma I} = U_o \sin(\omega_o t + \varphi_o) + \frac{1}{2} U_n \sin(\omega_n t + \varphi_n). \quad (1)$$

$$U_{\Sigma II} = U_o \sin(\omega_o t + \varphi_o) - \frac{1}{2} U_n \sin(\omega_n t + \varphi_n). \quad (2)$$

Здесь  $\omega_o$  и  $U_o$  — частота и амплитуда опорного напряжения, а  $\omega_n$  и  $U_n$  — частота и амплитуда помехи соответственно.

В полученных выражениях  $U_{\Sigma I}$  и  $U_{\Sigma II}$  следует различать две составляющие: кривую изменения амплитуды суммарного сигнала и «несущую».

Изменение амплитуды суммарного сигнала (выражения (1) и (2)) можно найти из векторной суммы, представленной на рис. 4.

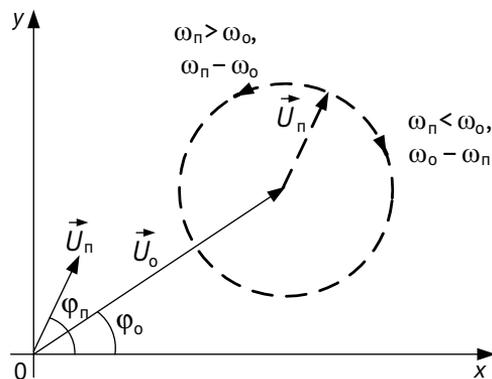


Рис. 4. Векторная сумма помехи и опорного сигнала АФД

$$|U_{\Sigma I}| = \sqrt{U_o^2 + \left(\frac{1}{2} U_n\right)^2 + 2U_o \left(\frac{1}{2} U_n\right) \cos((\omega_o - \omega_n)t + (\varphi_o - \varphi_n))}. \quad (3)$$

$$|U_{\Sigma II}| = \sqrt{U_o^2 + \left(\frac{1}{2} U_n\right)^2 - 2U_o \left(\frac{1}{2} U_n\right) \cos((\omega_o - \omega_n)t + (\varphi_o - \varphi_n))}. \quad (4)$$

Уравнения (3) и (4) для случая

$$\left( U_o^2 + \left( \frac{1}{2} U_{II} \right)^2 \right) = \left( 2U_o \left( \frac{1}{2} U_{II} \right) \right)$$

(помеха и опорный сигналы во вторичных полуобмотках трансформатора равны по амплитуде), частоты опорного сигнала и помехи близки, описывают периодические колоколообразные кривые (биение) с частотой  $f_o - f_{II}$ , и, соответственно, с периодом

$$T = \frac{1}{2\pi(\omega_o - \omega_{II})} = \frac{1}{f_o - f_{II}}.$$

Максимальные амплитудные значения функций:

$$A_I = A_{II} = \sqrt{U_o^2 + \left( \frac{1}{2} U_{II} \right)^2} + 2U_o \left( \frac{1}{2} U_{II} \right) = 2U_o.$$

в точках

$$t_I = \frac{k\pi - \varphi}{2\pi f}, \quad k = 2n, \quad n \in N, \quad \text{—}$$

для первой полуобмотки,

$$t_{II} = \frac{k\pi - \varphi}{2\pi f}, \quad k = 2n - 1, \quad n \in N, \quad n > 0, \quad \text{—}$$

для второй полуобмотки, где  $f = f_o - f_{II}$ .

В случае

$$\left( U_o^2 + \left( \frac{1}{2} U_{II} \right)^2 \right) \neq \left( 2U_o \left( \frac{1}{2} U_{II} \right) \right)$$

( $U_o$  и  $U_{II}$  по амплитуде не равны) частоты опорного сигнала и помехи близки, уравнения (3) и (4) представляют собой периодическую функцию

$$\sqrt{\cos((\omega_o - \omega_{II})t + (\varphi_o - \varphi_{II}))}$$

с периодом

$$T = \frac{1}{2\pi(\omega_o - \omega_{II})} = \frac{1}{f_o - f_{II}},$$

смещенную относительно нулевого уровня по оси ординат (на постоянную составляющую).

Моделированием было установлено, что при  $\omega_{II}$ , отличающейся от  $\omega_o$  более чем в два раза, независимо от амплитуды обоих сигналов, амплитуда суммарного сигнала изменяется по закону сигнала с более низкой частотой.

Форма выходного сигнала АФД определяются суммарным сигналом напряжений, возникающих на выходах плеч схемы АФД (рис. 3), то есть

$$U_{\text{вых}} = U_I - U_{II}. \quad (5)$$

Номиналы  $C1$ ,  $C2$ ,  $R1$  и  $R2$  подбираются таким образом, чтобы при воздействии на первичную обмотку трансформатора сигналом с частотой, равной частоте опорного напряжения  $f_c$ , выходной уровень сигнала в плечах АФД был постоянным (постоянные времени разряда конденсатора  $\tau = RC$  выбирается много больше  $1/f_c$ , чтобы сгладить пульсации). Тем самым добиваются того, чтобы фаза входного полезного сигнала определялась относительно опорного сигнала практически постоянным уровнем напряжения на выходе АФД.

При воздействии на входе АФД помехой, отличной от частоты опорного сигнала, напряжения на выходе его плеч в моменты разряда конденсаторов будут описываться выражениями

$$U_I(t) = |B1| e^{-\frac{t}{R1C1}}, \quad (6)$$

$$U_{II}(t) = |B2| e^{-\frac{t}{R2C2}}, \quad (7)$$

где  $|B1|$ ,  $|B2|$  — максимумы функции  $U_{\Sigma I}$  и  $U_{\Sigma II}$  (выражения (1) и (2)) соответственно.

Для определенности дальнейших рассуждений примем следующее: частота работы ключа (в нормальном режиме) равна 1 Гц, скважность импульсов 0,5,  $\tau = R1C1 = R2C2 = 1$  с.

Поскольку в этом случае частота сигнального тока РЦ значительно выше частоты работы токового ключа, параметры выходного сигнала АФД от частоты сигнального тока практически не зависят.

Так как длительность полупериодов колебаний «несущего» сигнала в плечах АФД (определяется из частоты колебаний «несущего» сигнала, формулы (1) и (2)) много меньше постоянной времени разряда конденсаторов, то форма напряжения  $U_I$  и  $U_{II}$  на выходе конденсаторов во время нарастания будет определяться изменением амплитуды суммарного сигнала (частота несущей сглаживается конденсаторами). При этом заряд конденсаторов  $C1$  и  $C2$  будет происходить в соответствии с выражениями (3) и (4), а разряд — в соответствии с выражениями (6) и (7).

Значит, при попадании на вход АФД помехи с частотой, близкой к частоте опорного сигнала (выше или ниже на 1 Гц), на выходе каждого из плеч АФД и на его суммарном выходе будет формироваться периодически изменяющееся напряжение с частотой биения сигналов помехи и опорного сигнала (1 Гц).

На рис. 5 приведены осциллограммы моделирования рассмотренного случая (рис. 1) в среде Multisim.

При отклонении частоты гармонических колебаний помехи более чем на 1 Гц от опорного сигнала, частота гармонических колебаний выходного сигнала АФД  $U_{\text{вых}}$  увеличивается в соответствии с выражением  $(f_o - f_n)$  (либо  $(f_o + f_n)$ ).

Изложенное будет справедливо и для случая, когда при наложенном шунте на входе АФД кроме помехи

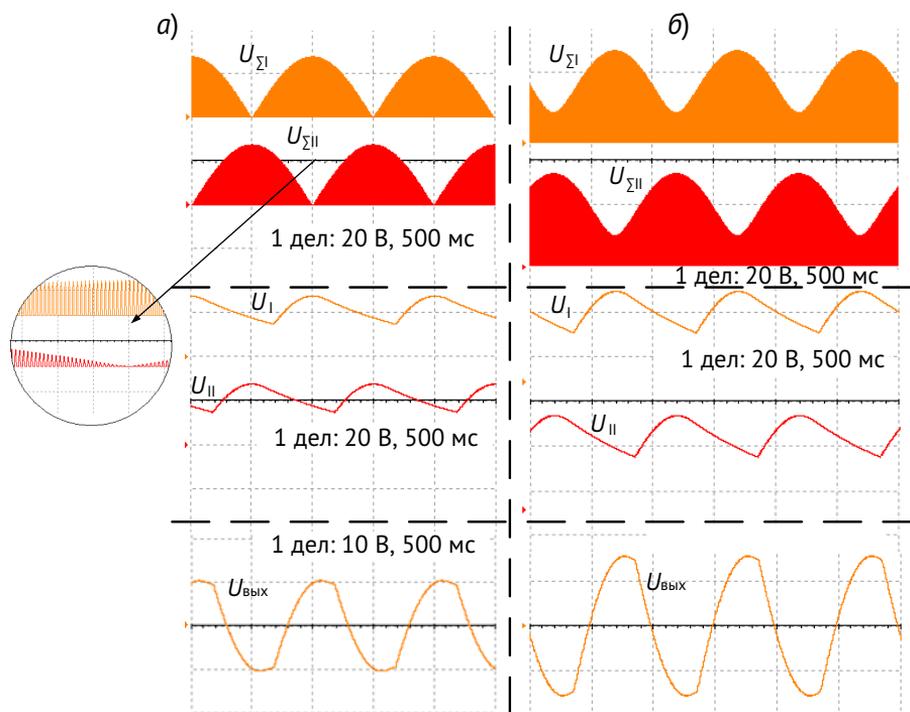


Рис. 5. Осциллограммы выходного напряжения АФД

*a* — для случая, когда величина напряжения помехи в плечах АФД

равна величине опорного напряжения  $U_o = 10$  В,  $U_n = 20$  В,  $f_o = 175$  Гц,  $f_n = 176$  Гц;

*б* — когда эти напряжения не равны друг другу  $U_o = 10$  В,  $U_n = 40$  В,  $f_o = 175$  Гц,  $f_n = 176$  Гц

действует сигнальный ток. Отличие заключается в том, что все периодические изменения выходного напряжения АФД будут смещены по оси абсцисс на величину, пропорциональную разности фаз сигнального тока и опорного сигнала и соотношению их амплитуд. Это можно объяснить исходя из векторной суммы сигналов (рис. 6). То есть исходя из работы АФД сумма сигнального тока и тока опорного сигнала будет

влиять только на уровень постоянной составляющей  $U_{\text{вых}}$ .

Кроме того, при проследовании шунта от релейного конца к питающему постоянная составляющая  $U_{\text{вых}}$  будет расти, поскольку фаза и амплитуда сигнального тока изменяются. Размах колебаний  $U_{\text{вых}}$  в этом случае при постоянном уровне помехи относительно сигнального тока будет уменьшаться. На рис. 7 приведены осциллограммы для рассматриваемо-

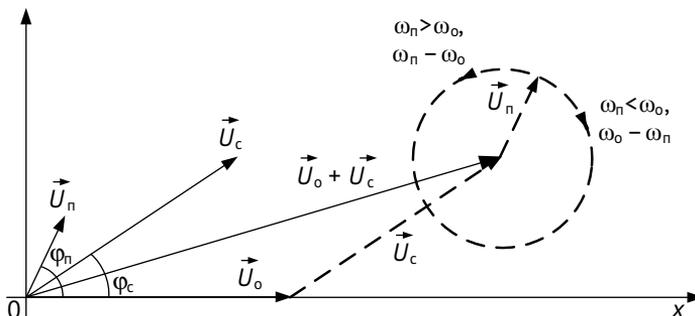


Рис. 6. Векторная сумма сигнального тока, помехи и опорного сигнала АФД

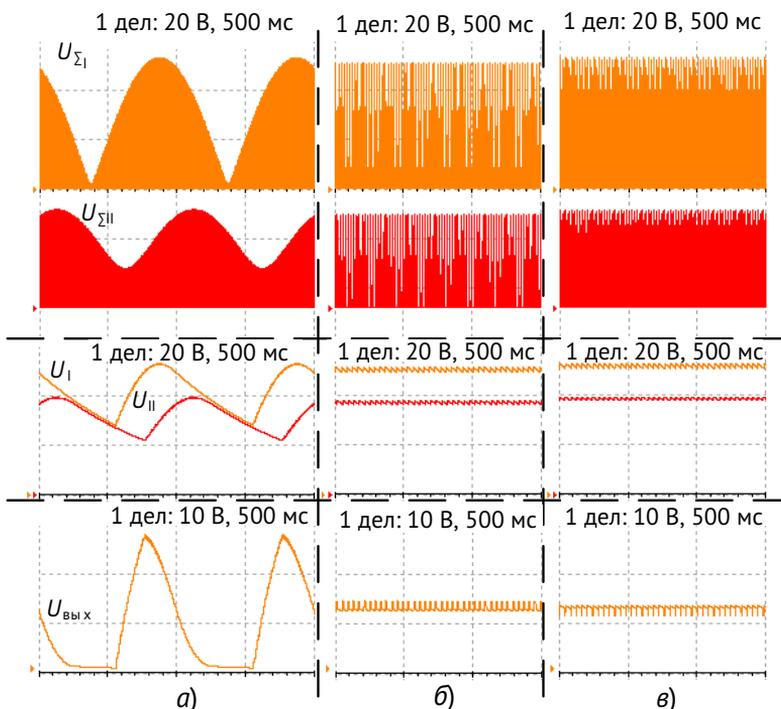


Рис. 7. Осциллограммы выходного напряжения ФД

$U_o = 10 \text{ В}, f_o = 175 \text{ Гц}, U_c = 20 \text{ В}, f_c = 175 \text{ Гц}, \varphi_c = 50^\circ$   
 а –  $U_n = 40 \text{ В}, f_n = 174 \text{ Гц}$ ; б –  $U_n = 40 \text{ В}, f_n = 50 \text{ Гц}$ ; в –  $U_n = 40 \text{ В}, f_n = 300 \text{ Гц}$



различается более чем в два раза. Из осциллограмм следует, что конденсаторы  $C1$  и  $C2$  полностью сглаживают выходной сигнал. Как видно из рис. 10, длительность импульсов меньше периода низкочастотного сигнала (в частности, меньше  $1/25 = 0,04$  с).

Исследования показали: наличие на входе АФД гармонической помехи постоянной частоты приводит к периодическому изменению уровня выходного сигнала. Наиболее опасный случай возникает при условии разницы частоты помехи и сигнального тока в 1 Гц (совпадает с частотой замыкания токового ключа РЦ КРК). При этих условиях напряжение на выходе АФД периодически изменяется с частотой, равной частоте коммутации ключа, что может быть воспринято как ложная свобода РЛ.

Помехи, возникающие в цепи питания РЦ, будут оказывать влияние как на опорный сигнал, так и на сигнальный ток РЦ (аппаратура питающего конца РЦ и опорный сигнал АФД формируются от одного источника напряжения). Поскольку частота помехи в сигнальном токе РЦ в данном случае совпадает с частотой помехи цепи опорного питания, то выходной уровень АФД будет определяться разницей фаз помехи и сигнального тока (появляется постоянная составляющая выходного сигнала

АФД). Амплитуда переменной составляющей (размах  $U_{\text{вых}}$ ) будет находиться из векторной суммы помехи, полезного сигнала РЦ и опорного напряжения. Частотная зависимость останется та же.

Аналогичные результаты были получены и при компьютерном моделировании в среде Multisim.

На рис. 11 приведена схема моделирования данного случая на частотах 50, 176, 300 Гц, а на рис. 12 — полученные временные диаграммы.

### Выводы

1. В нормальном режиме работы РЦ КРК, при работе без помех, сигнал, поступающий от АФД на решающее устройство, представляет последовательность импульсов напряжения с регламентируемой последовательностью и периодом следования (рис. 2).

2. При наличии помех в РЛ и сети питания в области частот сигнального тока в шунтовом и контрольном режимах работы на выходе АФД возникают гармонические колебания с частотой биения относительно частот помехи и сигнального тока (рис. 8, а, в).

Если эти изменения решающим устройством РЦ КРК или безопасным ДЭ будут восприняты как последовательность импульсов напряжения с регламентируемой длительностью и периодом следования, характерной для нормального режима

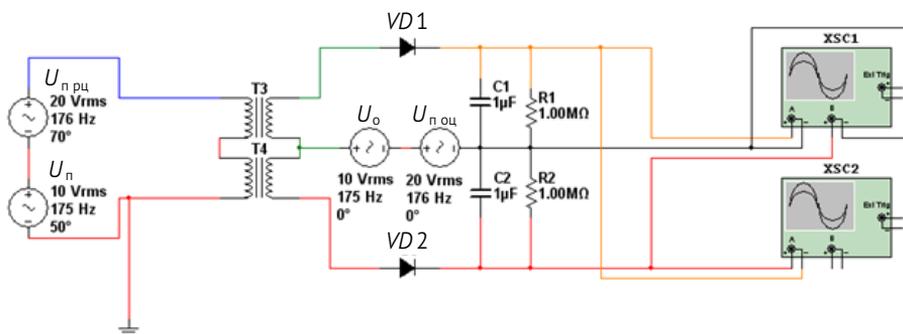


Рис. 11. Модель воздействия помех на входную и опорную цепь АФД в среде Multisim

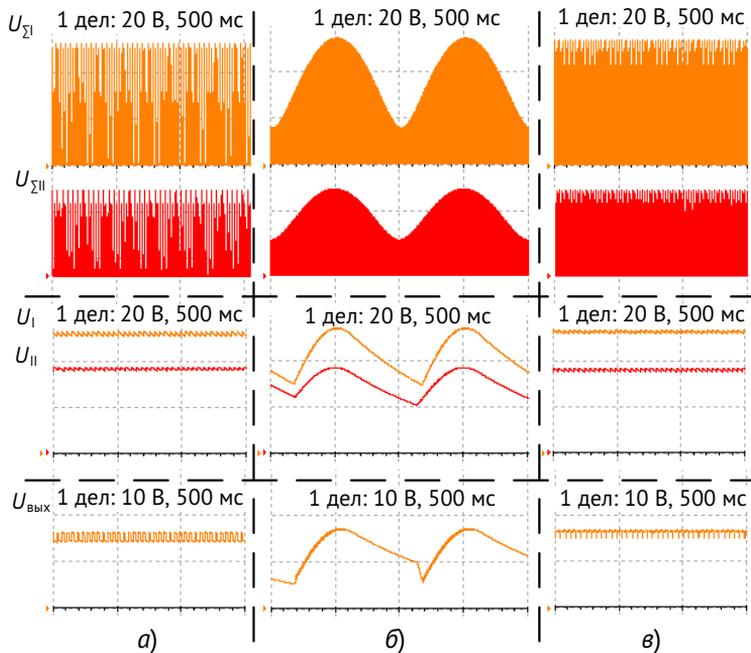


Рис. 12. Осциллограммы выходного напряжения АФД для схемы рис. 10  
 $U_o = 10 \text{ В}, f_o = 175 \text{ Гц}, U_c = 10 \text{ В}, f_c = 175 \text{ Гц}, \varphi_c = 50^\circ; U_{\text{п.рц}} = 20 \text{ В}, U_{\text{п.оц}} = 20 \text{ В};$   
 $a - f_{\text{п.рц}} = f_{\text{п.оц}} = 50 \text{ Гц}; б - f_{\text{п.рц}} = f_{\text{п.оц}} = 176 \text{ Гц}; в - f_{\text{п.рц}} = f_{\text{п.оц}} = 300 \text{ Гц}$

работы РЦ, то гипотетически это может привести к состоянию ложной свободы РЛ (или состоянию опасного отказа).

3. Для применения РЦ нового типа на железнодорожных линиях с электрической тягой в решающем

устройстве РЦ КРК должны быть предусмотрены средства, отличающиеся с высокой степенью вероятности гармонические колебания сигнала от импульсного его изменения с регламентируемой частотой и последовательностью. ■

### Литература

1. Горенбейн Е. Н. Электромагнитная совместимость тягового подвижного состава с устройствами интервального регулирования движения поездов : Дис... на соиск. уч. ст. канд. техн. наук. М., 2011. — 253 с.
2. Шаманов В. И., Березовский Г. С. Помехи от тяговых токов в фазочувствительных рельсовых цепях // Автоматика, связь, информатика, 2000. № 1. — С. 30–33. ISSN 0005-2329.
3. Бочарников Ю. В. Электромагнитная совместимость системы тягового электропитания и аппаратуры рельсовых цепей при воздействии через питающие и сигнальные цепи : Дис... на соиск. уч. ст. канд. техн. наук. — М., 2008. — 176 с.
4. Швердин И. Н., Шаманов В. И., Трофимов Ю. А. Влияние тяжеловесных поездов на рельсовые цепи и АЛС // Автоматика, связь, информатика, 2004. № 8. — С. 24–29. ISSN 0005-2329.
5. Калиниченко А. Я., Фесечко А. И., Шубин И. Н. Повышение эффективности работы электроподвижного состава с тиристорными импульсными регуляторами // Вестник УрГУПС, 2011. № 2. — С. 18–22. ISSN 2079-0392.
6. Лисенков В. М., Ваньшин А. Е., Катков М. В. Методы повышения безопасности функционирования рельсовых цепей // Автоматика, связь, информатика, 2010. № 4. — С. 8–10. ISSN 0005-2329.

7. Сисин В.А. Оптимизация устройств автоматической переездной сигнализации // Транспорт Урала, 2011. № 3 (30). — С. 40–43. ISSN 1815-9400.
8. Сисин В.А. Рельсовые цепи с импульсными методами преобразования информации для систем автоматической переездной сигнализации : Дис... на соиск. уч. ст. канд. техн. наук. — Екатеринбург, 2012. — 151 с.
9. Пат. 2455185 Российская Федерация, МПК В 61 L 29/24. Устройство управления переездной сигнализацией / Тильк И.Г., Гнитько Р.В., Сергеев Б.С.; заявитель и патентообладатель Закрытое акционерное общество «Научно-производственный центр «Промэлектроника». № 2010145608/11; заявл. 9.11.2010; опубл. 10.07.2012; Бюл. № 19.

## References

1. Gorenbeyn E. N. Electromagnetic compatibility of traction rolling stock with interval railway traffic control devices : PhD in Engineering Thesis. — M., 2011. — 253 p.
2. Shamanov V.I., Berezovskiy G.S. Pomekhi ot tyagovykh tokov v fazochuvstvitelnykh relsovykh tsepyakh [Interference from traction currents in phase-sensitive rail circuits] // Avtomatika, svyaz, informatika, 2000. № 1. — p. 30–33. ISSN 0005-2329.
3. Bocharnikov Yu.V. Electromagnetic compatibility of traction power supply system and track circuits equipment for influence through supply and signal circuits : PhD in Engineering Thesis — M., 2008. — 176 p.
4. Sheverdin I.N., Shamanov V.I., Trofimov Yu.A. Vliyanie tyazhelovesnykh poezdov na relsovye tsepi i AJIC [Influence of heavy trains on track circuits and ALS] // Avtomatika, svyaz, informatika, 2004. № 8, — p. 24–29. ISSN 0005-2329.
5. Kalinichenko A. Ya., Fesechko A.I., Shubin I.N. Povyshenie effektivnosti raboty elektropodvizhnogo sostava s tiristornymi impulsnymi regulyatorami [Improving the efficiency of electric rolling operation using thyristor switched regulators] // USURT Herald, 2011. № 2. — p. 18–22. ISSN 2079-0392.
6. Lisenkov V.M., Vanshin A.E., Katkov M.V. Metody povysheniya bezopasnosti funktsionirovaniya relsovykh tsepей [Methods to improve operational safety of track circuits] // Avtomatika, svyaz, informatika, 2010. № 4. — p. 8–10. ISSN 0005–2329.
7. Sisin V.A. Optimizatsiya ustroystv avtomaticheskoy pereezdnoy signalizatsii [Optimization of automatic crossing signalization devices] // Transport of the Urals, 2011. № 3 (30). — S. 40–43. ISSN 1815-9400.
8. Sisin V.A. Track circuits with pulse methods for the transformation of information for automatic crossing signalization systems : PhD in Engineering Thesis. — Ekaterinburg, 2012. — 151 p.
9. Pat. 2455185 of the Russian Federation, MPK B 61 L 29/24. Crossing signals control device / Tilk I.G., Gnitko R.V., Sergeev B.S.; applicant and patentee : Closed Joint Stock Company «Scientific-Production Center» Promelectronica» № 2010145608/11; appl. date 9.11.2010, publ. 10.07.2012; Bull. № 19.

*Статья сдана в редакцию 22 марта 2013 года*

УДК 004.056.53

*К. А. Паршин, П. А. Анашкин*

## О применении методов оценки шумового воздействия на население при защите речевой информации

UDC 004.056.53

*K. A. Parshin, P. A. Anashkin*

## On the use of assessment methods of noise impact on humans for voice information protection

### Аннотация

В статье рассмотрены инструментально-расчетная методика оценки защищенности речевой информации от утечки по прямым акустическим каналам при аттестации выделенных помещений, а также методика определения шумоизоляции ограждающих конструкций в помещениях жилых и общественных зданий инструментальным способом, проводимая в рамках оценки защищенности населения от вредного воздействия шума. В результате сравнения методик определяется возможность применения аналитических методов оценки изоляции воздушного шума ограждающими конструкциями, используемыми в области охраны труда, для оценки защищенности речевой информации при проведении конфиденциальных переговоров.

Вопрос оценки звукоизоляционных свойств помещений актуален для предприятий малого и среднего бизнеса, для которых защита коммерческой тайны позволяет на должном уровне поддерживать конкурентоспособность своих товаров и услуг на рынке.

**Ключевые слова:** звукоизоляционные свойства; конфиденциальность; звукоизоляция конструкций; утечка информации; разборчивость речи; затухание акустического сигнала; отношение сигнал/шум; восприятие человека слухом; спектральный индекс речи.

### Abstract

The article addresses instrumental calculation method for assessment of voice information protection from leaking via direct acoustic channels, for certification of specialized premises as well as method for determining noise reduction of walling structures in residential and public buildings using instrumental method is described, carried out as a part of assessment of population protection from harmful noise effects. Based on comparison of methods, application of analytical methods to assess acoustic noise insulation of enclosing structures used in the field of occupational safety and assessment of the security of voice information during confidential talk is possible.

The question of assessment of soundproof properties of premises is relevant for small and medium businesses, for which the protection of trade secrets allows to maintain proper competitiveness of their products and services on the market.

**Keywords:** acoustic insulation properties; confidentiality soundproofing of structures; information leaks, speech intelligibility, attenuation of acoustic signal, signal / noise ratio, human hearing perception, spectral index of speech.

Константин Анатольевич Паршин, канд. техн. наук, доцент; кафедра «Информационные технологии и защита информации» Уральского государственного университета путей сообщения; Екатеринбург, Россия. E-mail: kparshin@usurt.ru.

Павел Анатольевич Анашкин, аспирант; кафедра «Информационные технологии и защита информации» Уральского государственного университета путей сообщения; Екатеринбург, Россия. E-mail: v060138@gmail.com.

Konstantin A. Parshin, PhD in Engineering, Associate Professor; Chair «Information Technology and Information Protection», Ural State University of Railway Transport, Ekaterinburg, Russia. E-mail: kparshin@usurt.ru.

Pavel A. Anashkin, postgraduate student, Chair «Information Technology and Information Protection», Ural State University of Railway Transport, Ekaterinburg, Russia. E-mail: v060138@gmail.com.

**О**ценка звукоизоляционных свойств помещений в целом, и ограждающих конструкций в частности является одним из важнейших аспектов подготовки помещения к переговорам конфиденциального характера.

В настоящее время существуют различные методы определения звукоизоляционных свойств ограждающих конструкций.

Объективные результаты акустической защищенности выделенного помещения дают технические методы контроля. Они различны по сложности, точности измерений и стоимости.

При проведении аттестации соответствующих помещений используется инструментально-расчетный метод оценки эффективности защиты выделенных помещений от утечки речевой информации [1].

В то же время в области охраны труда и защиты населения от шумового воздействия применяют методики, с помощью которых определяют уровень изоляции воздушного шума ограждающими конструкциями в жилых и общественных зданиях.

В настоящей статье рассматриваются инструментально-расчетная методика оценки защищенности речевой информации от утечки по прямым акустическим каналам при аттестации выделенных помещений, а также методика определения шумоизоляции ограждающих конструкций в помещениях жилых и общественных зданий инструментальным способом, проводимая в рамках оценки защищенности населения от вредного воздействия шума.

Цель — определение возможности использования методик, применяемых при оценке шумового воздействия на население, для аудита помещений, предназначенных для проведения переговоров конфиденциального характера.

### Методика оценки защищенности речевой информации от утечки по прямым акустическим каналам при аттестации выделенных помещений [2, 3]

Рассмотрим возможный метод и порядок проведения измерений звукоизолирующей способности ограждающих конструкций защищаемых (выделенных) помещений.

Цель проверки — определение словесной разборчивости речи  $W$ , под которой понимается относительное количество (в процентах) правильно понятых человеком слов из перехваченного разговора.

#### Измерительная аппаратура

Передающая измерительная система должна содержать:

- генератор шума;
- усилители мощности;
- акустическую систему.

Блок-схема аппаратуры для создания звукового сигнала приведена на рис. 1.

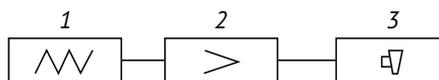


Рис. 1. Аппаратура для создания тестового акустического сигнала  
1 — генератор шума; 2 — усилитель мощности;  
3 — акустическая система

Приемная измерительная система должна содержать: измерительный микрофон; шумомер; третьоктавные полосовые фильтры;

Блок-схема аппаратуры для измерения звукового сигнала приведена на рис. 2.

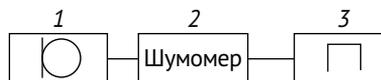


Рис. 2. Аппаратура для измерения звукового сигнала  
1 — измерительный микрофон;  
2 — шумомер; 3 — октавные фильтры

### Порядок проведения измерений и расчетов

Измерительная аппаратура собирается по приведенной на рис. 3 блок-схеме, калибруется и подготавливается к измерениям в соответствии с инструкциями по эксплуатации.

1) Акустическая система (звуковая колонка) источника тестового акустического сигнала устанавливается в месте расположения источника речевого сигнала (высота установки акустической системы над поверхностью пола — 1,5 м). На расстоянии 1 м от акустической системы устанавливается измерительный микрофон. Включается генератор тестового акустического сигнала, устанавливается максимальный уровень излучения и измеряется уровень тестового сигнала для каждой октавной полосы  $L_{ТС1,i}$ . По окончании измерений генератор тестового акустического сигнала выключается, при этом фиксируются его настройки.

2) Измерительный микрофон устанавливается в выбранной контрольной точке на расстоянии  $r$  от ограждающей конструкции выделенного помещения до места возможного размещения средства акустической разведки. Высота установки над поверхностью пола — 1,5 м.

3) При отключенном источнике тестового сигнала шумомером измеряется уровень акустических шумов в контрольной точке в каждой октавной полосе  $L_{Ш2,i}$ . Измерения проводятся в течение 10–20 мин при отсутствии транспортных шумов и пр. Определяются минимальные значения уровня шумов, полученные при измерениях.

4) Включается генератор тестового акустического сигнала (настройки генератора не изменяются). При включенном источнике тестовых сигналов измеряется уровень суммарного тестового сигнала (сигнал плюс шум) в каждой октавной полосе  $L_{ТС2,i}$ . Измерения проводятся при отсутствии транспортных шумов.

5) Рассчитывается уровень тестового акустического сигнала в контрольной точке для каждой октавной полосы  $L_{ТС,i}$ :

$$L_{ТС,i} = 10 \lg(10^{0,1L_{ТС2,i}} - 10^{0,1L_{Ш2,i}}), \quad (1)$$

где  $L_{ТС,i}$  — уровень тестового акустического сигнала в контрольной точке в  $i$ -й октавной полосе, дБ;  $L_{Ш2,i}$  — уровень акустического шума в контрольной точке в  $i$ -й октавной полосе, дБ;  $L_{ТС2,i}$  — уровень тестового суммарного акустического сигнала (сигнал плюс шум) в контрольной точке в  $i$ -й октавной полосе, дБ.

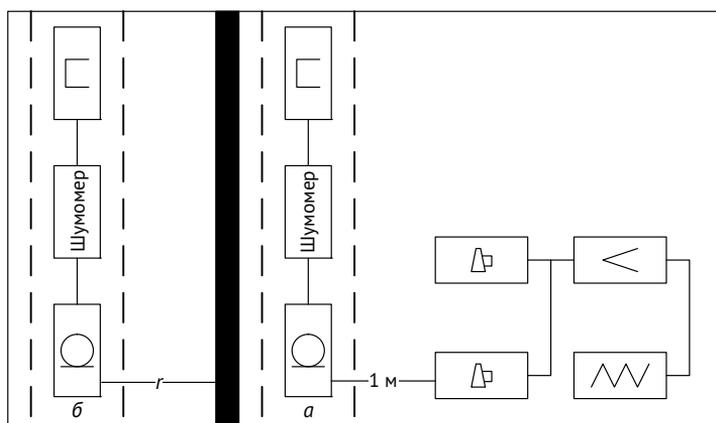


Рис. 3. Схема измерительной установки при контроле выполнения норм защищенности речевой информации  
а – в помещении; б – вне помещения

6) Рассчитывается затухание акустического сигнала на трассе от месторасположения источника речевого сигнала до контрольной точки для каждой октавной полосы  $Z_i$ :

$$Z_i = L_{TC1,i} = L_{TC,i} \quad (2)$$

где  $Z_i$  — затухание акустического сигнала на трассе от места расположения источника речевого сигнала до контрольной точки в  $i$ -й октавной полосе, дБ;  $L_{TC1,i}$  — уровень тестового акустического сигнала в выделенном помещении в  $i$ -й октавной полосе, дБ.

7) Рассчитывается отношение сигнал/шум в контрольной точке в каждой октавной полосе  $q_i$ :

$$q_i = L_{C,i}^* - Z_i - L_{ш2,i}, \quad (3)$$

где  $L_{C,i}^*$  — уровень скрываемого акустического сигнала в выделенном помещении в  $i$ -й октавной полосе, дБ (определяется по таблице 1).

8) На основе вычисленного отношения сигнал/шум  $q_i$  рассчитывается словесная разборчивость:

- для каждой октавной частотной полосы рассчитывается коэффициент восприятия формант слуховым аппаратом человека  $p_i$ , который представляет собой вероятное относительное количество формантных составляющих речи, обладающих уровнями интенсивности выше порогового значения восприятия:

$$p_i = \begin{cases} \frac{0,78 + 5,46 \cdot \exp[-4,3 \cdot 10^{-3} \cdot (27,3 - |Q_i|^2)]}{1 + 10^{0,1|Q_i|}}, & \text{если } Q_i \leq 0; \\ 1 - \frac{0,78 + 5,46 \cdot \exp[-4,3 \cdot 10^{-3} \cdot (27,3 - |Q_i|^2)]}{1 + 10^{0,1|Q_i|}}, & \text{если } Q_i > 0, \end{cases} \quad (4)$$

где  $Q_i = q_i - \Delta A_i$ , дБ;  $\Delta A_i$  — значение формантного параметра спектра речевого сигнала в  $i$ -й октавной полосе частот (определяется по таблице 2), дБ;  $i$  — номер октавной полосы,  $i = 1 \dots 7$ ;

Таблица 1

Типовые уровни речевого сигнала  $L_{C,i}^*$ , дБ, измеренные в октавных полосах на расстоянии 1 м от источника сигнала в зависимости от вида речи

Номер полосы	Среднегеометрическая частота полосы $f_i$ , Гц	Уровни речевого сигнала $L_{C,i}^*$ , дБ, в зависимости от вида речи			
		тихая речь	речь средней громкости	громкая речь	очень громкая речь
1	125	47	53	59	67
2	250	60	66	72	80
3	500	60	66	72	80
4	1000	55	61	67	75
5	2000	50	56	62	70
6	4000	47	53	59	67
7	8000	43	49	55	63

Таблица 2

## Характеристика октавных полос частотного диапазона речи

Номер полосы	Частотные границы полосы $f_{н} - f_{шв}$ , Гц	Среднегеометрическая частота полосы $f_i$ , Гц	Весовой коэффициент полосы $k_i$	Значение формантного параметра речи в полосе $\Delta A_i$ , дБ
1	90–175	125	0,01	25
2	175–355	250	0,03	18
3	355–710	500	0,12	14
4	710–1400	1000	0,20	9
5	1400–2800	2000	0,30	6
6	2800–5600	4000	0,26	5
7	5600–11200	8000	0,07	4

- рассчитывается спектральный индекс артикуляции (понимаемости) речи  $R_i$  и интегральный индекс артикуляции речи  $R$ :

$$R_i = p_i \cdot k_i, \quad (5)$$

$$R = \sum_{i=1}^7 R_i, \quad (6)$$

где  $k_i$  — весовой коэффициент  $i$ -й октавной полосы частот (определяется по таблице 2);

- рассчитывается словесная разборчивость речи  $W$ :

$$W = \begin{cases} 1,54 \cdot R^{0,25} [1 - \exp(-11 \cdot R)], & \text{если } R < 0,15; \\ 1 - \exp\left(-\frac{11 \cdot R}{1 + 0,7 \cdot R}\right), & \text{если } R \geq 0,15; \end{cases} \quad (7)$$

- рассчитанное значение словесной разборчивости сравнивается с нормированным значением  $W_n$  (приведены в таблице 3).

Если рассчитанное значение словесной разборчивости речи не превышает установленного нормированного значения  $W \leq W_n$ , считается, что перехват разговоров, ведущихся в выделенном помещении, техническими средствами акустической разведки невозможен.

Если рассчитанное значение словесной разборчивости речи выше установленного нормированного значения  $W > W_n$ , необходимо применять меры по защите выделенного помещения от утечки речевой информации.

Таблица 3

## Критерии эффективности защиты выделенных помещений

Цель защиты	Критерий эффективности защиты
Скрытие факта ведения переговоров в выделенном помещении	$W_n \leq 10 \%$
Скрытие предмета переговоров в выделенном помещении	$W_n \leq 20 \%$
Скрытие содержания переговоров в выделенном помещении	$W_n \leq 30 \%$
Скрытие содержания переговоров в выделенном помещении (в случае непреднамеренного прослушивания)	$W_n \leq 40 \%$

**Методика определения шумоизоляции ограждающих конструкций в помещениях жилых и общественных зданий инструментальным способом [4]**

Методика предназначена для измерения изоляции воздушного шума внутренними и наружными ограждающими конструкциями (стенами, перекрытиями и их элементами, перегородками) жилых и общественных зданий и заключается в последовательном измерении и сравнении средних уровней звукового давления в помещениях высокого и низкого уровней в определенных полосах частот.

Методика основана на ГОСТ 27296–87 «Защита от шума в строительстве. Звукоизоляция ограждающих конструкций. Методы измерения».

*Измерительная аппаратура*

Передающая измерительная система, излучающая шум при измерениях изоляции воздушного шума, должна содержать: генератор шума; полосовые третьоктавные фильтры; усилители мощности; громкоговорители.

Схема аппаратуры для создания звукового сигнала приведена на рис. 4.

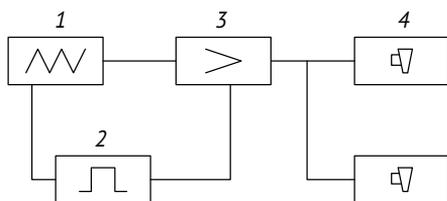


Рис. 4. Аппаратура

для создания шумового сигнала  
1 – генератор шума; 2 – октавные фильтры;  
3 – усилитель мощности; 4 – громкоговорители

Приемная измерительная система должна обеспечивать проведение измерений уровня звукового давления в третьоктавной полосе и содержать: измерительный микрофон; шумомер или микрофонный усилитель; третьоктавные полосовые фильтры;

регистрирующий прибор звукового давления.

Схема аппаратуры для измерения звукового сигнала приведена на рис. 5.

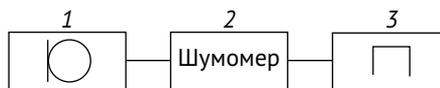


Рис. 5. Аппаратура для измерения шума

1 – измерительный микрофон;  
2 – шумомер; 3 – октавные фильтры

*Условия*

*для проведения измерений*

Стандартные тест-сигналы типа белый или розовый шум задаются генераторами, усиливаются усилителями мощности и излучаются в озвучиваемое помещение одной или несколькими системами соответствующей мощности.

Акустические системы располагаются на расстоянии 1–2 м от проверяемой ограждающей конструкции. Количество акустических систем, их расположение и ориентация обеспечивают неравномерность звукового поля вдоль проверяемой конструкции в пределах 3 дБ во всех полосах частот.

При проведении измерений звукоизоляции помещений, оборудованных системами озвучивания, уровень звукового давления тест-сигнала задается через систему озвучивания помещений независимо от размещения в них акустических систем.

В помещении с источником шума точки размещения измерительного микрофона находятся на расстоянии 1 м от проверяемой ограждающей конструкции и других ограждающих конструкций. Количество точек — не менее трех (одинаковое для выделенного и соседнего помещений; определяется размерами проверяемой конструкции, степенью ее однородности).

При высокой неоднородности проверяемой конструкции (окна, двери,

ниши, проемы и т.п. в стене или перегородке) точки размещения микрофона в выделенном и соседнем помещениях следует дополнительно располагать в центре каждой локальной неоднородности.

В помещении с источником шума микрофон должен быть направлен в сторону проверяемой конструкции.

При проверке вертикальных ограждающих конструкций микрофон в точках размещения располагается на высоте 1,5 м, а при проверке горизонтальных ограждающих конструкций — вдоль наибольшего размера проверяемой конструкции.

*Порядок проведения измерений*

1) При выключенном тест-сигнале в выбранных точках размещения микрофона в соседнем помещении измеряются уровни звукового давления шумового фона  $L_{ш}$  в октавных полосах частот.

2) На шумомере должна быть установлена временная характеристика «Медленно». Показания отсчитываются с интервалом не менее 5 с, установившиеся показания или среднее значение колебаний уровня звукового давления регистрируют.

3) Включить тест-сигнал и установить с помощью усилителя мощности во всех точках измерения и во всех октавных полосах частот уровни звукового давления в соседнем помещении на 10 дБ выше средних уровней измеренного шумового фона. Если такие уровни установить невозможно, то необходимо либо принять меры к снижению шумового фона на время измерений, либо увеличить мощность звукового давления тест-сигнала.

4) Измерить уровни заданного звукового давления в выбранных точках  $L_{зад}$  размещения микрофона в помещении с источником шумового тест-сигнала во всех остальных полосах частот в соответствии с п. 2.

5) Измерить уровни звукового давления  $L_{изм}$  во всех точках измерения,

во всех октавных полосах частот в соседнем помещении с учетом условий п.2.

6) Измерения по п.п. 1 и 4 можно проводить одновременно при наличии двух каналов измерительной аппаратуры.

7) Измерения по пунктам 1 и 4 необходимо проводить не менее трех раз.

8) Все результаты измерений записываются в протокол измерений.

*Обработка результатов измерений*

Определить средние значения уровней шумового фона  $L_{ш}$  и звуковых давлений  $L_{зад}$ ,  $L_{изм}$ , измеренных согласно п.п. 1, 2, 4, во всех октавных полосах частот для каждой точки размещения микрофона по формулам:

$$\Delta L_{jш.ср} = \frac{\sum_{i=1}^n L_n}{n}, \text{ дБ}, \quad (8)$$

$$\Delta L_{jзад.ср} = \frac{\sum_{i=1}^n L_{задi}}{n}, \text{ дБ}, \quad (9)$$

$$\Delta L_{jизм.ср} = \frac{\sum_{i=1}^n L_{изм.i}}{n}, \text{ дБ}, \quad (10)$$

где  $n$  — число измерений.

Если полученные по формулам (8)–(10) значения для всех точек измерений в соседнем помещении отличаются не более чем на 5 дБ, то определяется среднее значение для всей ограждающей конструкции в каждой октавной полосе:

$$\Delta L'_{изм.ср} = \frac{\sum_{j=1}^m L_{изм.ср}}{m}, \text{ дБ}, \quad (11)$$

где  $m$  — количество точек размещения микрофона в соседнем помещении.

Определить среднее значение уровней звукового давления для всех точек измерения в помещении с источником шумового тест-сигнала:

$$\Delta L'_{\text{зад.ср}} = \frac{\sum_{j=1}^m L_{\text{зад.ср}}}{m}, \text{ дБ}, \quad (12)$$

где  $m$  — количество точек размещения микрофона в помещении с источником шумового тест-сигнала.

Среднее значение звукоизолирующей способности (звукоизоляции) проверяемой ограждающей конструкции для каждой октавной полосы частот определяется по формуле

$$Q = \Delta L'_{\text{зад.ср}} - \Delta L'_{\text{изм.ср}}. \quad (13)$$

Если значение в точках измерений в соседнем помещении отличается более чем на 5 дБ, то определяется локальная звукоизолирующая способность (звукоизоляция) для каждой пары точек измерения в обоих помещениях:

$$Q_j = L_{\text{зад.ср}} - L_{\text{изм.ср}}. \quad (14)$$

За окончательный результат, сравниваемый с нормируемым значением, принимается минимальное

значение звукоизолирующей способности:

$$Q = Q_{j_{\min}}.$$

Для повышения надежности результатов измерения и исключения появления случайных значений целесообразно проводить по предлагаемой методике не менее трех измерений звукоизоляции и рассчитывать доверительный интервал. Достаточно надежными можно считать результаты измерений при доверительном интервале, не превышающем 2 дБ при вероятности 0,75.

Сравнительный анализ методики оценки защищенности речевой информации от утечки по прямым акустическим каналам при аттестации выделенных помещений и методики определения шумоизоляции ограждающих конструкций в помещениях жилых и общественных зданий инструментальным способом, проводимым в рамках оценки защищенности населения от вредного воздействия шума, приведен в таблице 4.

Таблица 4

Сравнительный анализ рассмотренных методик

	Охрана труда	Защита речевой информации
Методика измерений	инструментально-расчетная	инструментально-расчетная оценка
Используемая аппаратура	Генератор шума; усилители мощности; громкоговорители; измерительный микрофон; третьоктавные полосовые фильтры; шумомер или микрофонный усилитель; регистрирующий прибор звукового давления	Генератор шума; усилители мощности; акустическая система; измерительный микрофон; третьоктавные полосовые фильтры
Определяемые параметры	Уровни звукового давления в выбранных точках $L_{\text{зад}}$ , дБ; уровни звукового давления шумового фона $L_{\text{ш}}$ , дБ; уровни звукового давления во всех точках соседнего помещения $L_{\text{изм}}$ , дБ; звукоизолирующая способность ограждающей конструкции $Q$ , дБ	Уровни звукового давления тестового сигнала $L_{\text{ТС1}}$ , дБ; уровень звукового давления акустических шумов $L_{\text{ш2}}$ , дБ; уровень звукового давления суммарного тестового сигнала $L_{\text{ТС2}}$ , дБ; уровень тестового акустического сигнала в контрольной точке $L_{\text{ТС}}$ , дБ; затухание акустического сигнала $Z$ , дБ; отношение сигнал/шум в контрольной точке $q$ , дБ; уровень скрываемого акустического сигнала в выделенном помещении $L_{\text{с}}$ , дБ; словесная разборчивость $W$ , %

Соответствие используемой аппаратуры и определяемых параметров при проведении инструментальных измерений для нужд охраны труда и нужд защиты речевой информации дает основание для применения

норм и методов, используемых в области охраны труда, для аудита защищенности помещений при проведении переговоров конфиденциального характера аналитическими методами [5]. ■

### Литература

1. Хорев А. А. Контроль эффективности защиты выделенных помещений от утечки речевой информации по техническим каналам // Защита информации. Инсайд. 2010. № 1. С. 34–45.
2. Железняк В. К., Макаров Ю. К., Хорев А. А. Некоторые методические подходы к оценке эффективности защиты речевой информации // Специальная техника. 2000. № 4. С. 39–45.
3. Дворянкин С. В., Макаров Ю. К., Хорев А. А. Обоснование критериев эффективности защиты речевой информации // Защита информации. Инсайд. 2007. № 2. С. 18–25.
4. ГОСТ 27296–87. Государственный стандарт Союза ССР. Защита от шума в строительстве. Звукоизоляция ограждающих конструкций. Методы измерения. М., 1987, 20 с.
5. СНиП 23-03–2003. Защита от шума. М., 2004, 41 с.

### References

1. Khorev A. A. Kontrol effektivnosti zaschity vydelennykh pomescheniy ot utechki rechevoy informatsii po tekhnicheskim kanalam [Monitoring of effectiveness of selected areas protection from leakage of voice information through technical channels] // Zashchita informatsii. Inside. 2010. № 1. P. 34–45.
2. Zheleznyak V. K., Makarov Yu. K., Khorev A. A. Nekotorye metodicheskie podkhody k otsenke effektivnosti zaschity rechevoy informatsii [Some methodological approaches to evaluation of effectiveness of voice information protection] // Spetsialnaya tekhnika. 2000. № 4. P. 39–45.
3. Dvoryankin S. V., Makarov Yu. K., Khorev A. A. Obosnovanie kriteriev effektivnosti zaschity rechevoy informatsii [Justification of effectiveness criteria of voice information protection] // Zashchita informatsii. Insayd. 2007. № 2. P. 18–25.
4. GOST 27296–87. The State Standard of the USSR. Noise protection in construction industry. Soundproofing of walling. Methods of measurement. M., 1987, 20.
5. SNIP 23-03–2003. Noise Protection. M., 2004, 41 p.

*Статья сдана в редакцию 25 марта 2013 года*

# Управление. Экономика

УДК 336.11: 336.225.611.2

*А. А. Вовк, Ю. А. Вовк, А. Ю. Романов*

## Проблемы классификации и наименования счетов бухгалтерского финансового учета

UDC 336.11: 336.225.611.2

*A. A. Vovk, Yu. A. Vovk, A. Yu. Romanov*

## Issues of classification and names of accounts in financial accounting

### Аннотация

В статье рассмотрены проблемы классификации и наименования счетов бухгалтерского финансового учета. Предложено все счета объединить в четыре группы: предназначенные для отражения финансов, находящихся в юридическом распоряжении организации; счета источников образования финансов, находящихся в юридическом распоряжении организации; счета финансов, находящихся в ограниченном юридическом распоряжении организации; операционных счетов. Именно такое число групп счетов позволяет раскрыть предмет финансового учета. При этом предложено счета именовать так, чтобы их наименование указывало на объекты учета. В статье раскрывается содержание каждой группы счетов, а отдельные счета рассматриваются весьма детально.

**Ключевые слова:** финансы, капитал, счета, бухгалтерский учет, основные средства, амортизация, износ, предметы труда, производственная деятельность, финансовая деятельность.

### Abstract

The paper addresses the problems of classification and naming of accounts in financial accounting. It suggests merging all accounts into four groups: the group designed to reflect the finances being in legal possession of the organization; accounts of finance sources being in legal possession of the organization; finance accounts, being in limited legal possession of the organization, and operating accounts. This number of account groups can reveal the subject of financial accounting. With that, it is proposed to name accounts so that their name refers to the accounting object. The article describes the content of each account group, and individual accounts are analyzed in great detail.

**Keywords:** finance, capital, accounts, accounting, fixed assets, depreciation, wear and tear, labor subjects, industrial activity, financial activity.

Классификация — это осмысленный порядок явлений, разделение их на разновидности по важным признакам. Развитие классификации счетов бухгалтерского финансового учета, заключается в обоснованном выделении групп счетов и согласовании их с предметом учета и задачами, решение которых он призван обеспечивать [1]. Решение этой задачи, наряду с обоснованием наименования счетов, теснейшим образом связано с проблемой развития терминологии экономической науки [2].

Поскольку классификация счетов бухгалтерского финансового учета является одним из важнейших моментов его организации, то при ее разработке должны быть осмыслены основные моменты ведения финансового

**Алексей Александрович Вовк**, д-р экон. наук, профессор; кафедра «Бухгалтерский учет и статистика» Московского государственного университета путей сообщения; Москва, Россия. E-mail: alexejvovk@yandex.ru.

**Юлия Алексеевна Вовк**, канд. экон. наук; заместитель начальника Управления дирекции ЦМ ОАО «РЖД»; Москва, Россия.

**Александр Юрьевич Романов**, канд. экон. наук; заместитель начальника департамента корпоративных финансов ОАО «РЖД»; Москва, Россия.

**Alexei A. Vovk**, DSc in Economics, Professor; Chair «Accounting and Statistics», Moscow State University of Railway Transport; Moscow, Russia. E-mail: alexejvovk@yandex.ru.

**Yulia A. Vovk**, PhD in Economics; Deputy Head of the Directorate of CM JSC «Russian Railways»; Moscow, Russia.

**Alexander Yu. Romanov**, PhD in Economics; Deputy Head of Corporate Finance Chair of JSC «Russian Railways»; Moscow, Russia.

учета — с отражения его предмета до выполнения им своих функций. Функции учета предполагают, в частности, информационное обеспечение определения затрат капитала на орудия труда, предметы труда и продукцию, финансовых результатов деятельности организации, оценки степени эффективности производственной и финансовой деятельности, а также эффективности функционирования организации в целом.

На счетах бухгалтерского финансового учета должно отражаться то, что является его предметом, — финансы, находящиеся в юридическом распоряжении организации и источники их образования, а также процессы использования финансов (капитала) и их результаты [3].

Это следует понимать так: счета или группы их, выделяемые при классификации счетов бухгалтерского финансового учета, должны обеспечивать учет финансов, находящихся в юридическом распоряжении организации (распоряжении в соответствии с правом); финансов, находящихся вне юридического распоряжения (финансов, с ограниченными правами распоряжения ими); источников финансов, находящихся в юридическом распоряжении организации, а также процессов использования финансов (капитала) и результатов этих процессов.

Мы предлагаем группировать счета бухгалтерского финансового учета: а) счета, которые отражают финансы, находящиеся в юридическом распоряжении организации; б) счета источников образования финансов, находящихся в юридическом распоряжении организации; в) счета финансов, находящихся в ограниченном юридическом распоряжении организации; операционных счетов.

Счета финансов, находящихся вне юридического распоряжения (в ограниченном юридическом распоряжении организации), принято называть забалансовыми. Мы предлагаем на-

зывать их иначе с тем, чтобы в названии указать на то, что на них учитывается, а не на их отношение к бухгалтерскому балансу (под которым понимается равенство финансов, находящихся в юридическом распоряжении организации и источников их образования). Такой подход позволяет на основе анализа тех объектов, которые якобы принято учитывать на забалансовых счетах, а на деле — финансов, предложить ввести в употребление счет «Арендные обязательства» и включить его в группу счетов учета источников заемных финансов, находящихся в юридическом распоряжении организации. Тем самым в бухгалтерском финансовом учете получит отражение источник заемных финансов, получаемых в результате аренды (лизинга) основных средств и нематериальных активов, и это будет способствовать объективному отражению в учете источников финансов.

Введением на отдельных субсчетах учета капитала, авансированного на арендованные орудия труда, наряду с капиталом, авансированным на собственные орудия труда, должны быть включены в состав финансов, находящихся в юридическом распоряжении организации, финансы (капитал), воплощенные в арендованных основных средствах. Это необходимо сделать в силу того, что эта часть финансов (капитала) по правовому статусу существенно отличается от финансов, воплощенных в материалах (предметах труда), принятых в переработку, и финансов, воплощенных в материалах, находящихся на ответственном хранении, которые относятся к финансам, находящимся вне юридического распоряжения организации.

Финансы (капитал), воплощенные в арендованных основных средствах, поступают в распоряжение организации в результате заключения договора аренды. Договор аренды предполагает возникновение

образование взаимной задолженности между арендатором и арендодателем. В результате использования арендованных основных средств осуществляется оборот капитала, авансированного на них. И поэтому давно назрела необходимость в наведении порядка в учете капитала, воплощенного в арендованных основных средствах, а также в учете издержек по амортизации (восстановлению) в денежной форме капитала, первоначально авансированного на них, с тем, чтобы исключить занижение себестоимости продукции арендатором и так называемую оптимизацию налогообложения, которая является ни чем иным, как узаконенным обходом законов.

Ценности, переданные в переработку, могут быть использованы строго по назначению в единичном процессе производства. Материалы, находящиеся на ответственном хранении, должны быть возвращены в сохранности. Из этого следует, что организация существенно ограничена в распоряжении финансами, воплощенными в этих ценностях. Вполне логичным представляется учет в составе финансов, находящихся вне юридического распоряжения (в ограниченном юридическом распоряжении организации, задолженности неплатежеспособных дебиторов, задолженности списанной в убыток и т.п. Что касается финансов, воплощенных в других ценностях, учитываемых на забалансовых счетах, то полагаем нецелесообразным в современных условиях вести их двойной учет — учитывать эти объекты на забалансовых счетах для усиления контроля за сохранностью.

Источники финансов, находящиеся вне юридического распоряжения организации, ее не интересуют, и поэтому они не должны отражаться в бухгалтерском финансовом учете. За редким исключением это источники заемных финансов. Поэтому нет необходимости в веде-

нии счетов, на которых должны учитываться источники финансов, воплощенные в материальных ценностях (принятых в переработку или на ответственное хранение). Поэтому в классификации счетов нет группы счетов источников финансов, находящихся вне юридического распоряжения организации.

Поскольку счета учета финансов, находящихся в юридическом распоряжении организации, должны обеспечивать необходимую группировку финансов, то в связи с предложенным нами делением финансов на производительный капитал и бездействующие финансы необходимо выделить счета учета производительного капитала и счета учета бездействующих финансов [4].

На счетах учета производительного капитала находятся финансы, которые в силу участия в процессе создания прибыли и дохода становятся капиталом. Эти счета предлагается также объединять в две группы: счета учета капитала, авансированного в производство, и счета учета капитала, направленного в финансовые вложения.

В зависимости от объектов авансирования капитала, а также для отражения его размера на различных этапах оборота, счета учета капитала, авансированного в производство, следует объединять в три группы: счета капитала, авансированного на орудия труда (основные средства и нематериальные активы); счета капитала, авансированного на предметы труда, а также счета капитала, находящегося в обороте организации, то есть в форме авансов на вещественные и невещественные предметы труда, а также расчеты за них; незавершенного производства; расходов будущих периодов; готовой продукции; отгруженных изделий, выполненных работ, оказанных услуг; денежных средств.

Что касается третьего и самого важного элемента процесса произ-

водства — рабочей силы, то в связи с тем, что в современных условиях рабочая сила является собственно только работников и имеются особенности в авансировании капитала на ее наем, то размер капитала, направляемого на эти цели, определяется расчетным путем, а не путем учета [5]. Следовательно, нет необходимости выделения счета для учета «капитала, авансированного на наем рабочей силы».

Для учета капитала в обороте организации в настоящее время могут быть использованы: «Расчеты по авансам, выданным...», «Основное производство», «Расходы будущих периодов», «Выпуск продукции (работ и услуг)», «Готовая продукция», «Расчеты с покупателями и заказчиками», «Касса», «Расчетные счета», «Валютные счета». Наименование некоторых из них нуждается в уточнении, иногда в существенном. Например, счет «Основное производство» логично называть «Издержки основного производства». Счет «Выпуск продукции (работ и услуг)», поскольку на нем отражается не продукция (изделия, работы и услуги) в натуральном выражении, а издержки производства, относящиеся к продукции, процесс производства которой закончен, логично называть «Издержки производства, относящиеся к произведенной продукции», счет «Готовая продукция» (поскольку на нем в реальности не учитывается продукция организации, а отражается ее денежная оценка исходя из плановой и фактической себестоимости) следует именовать «Капитал, в форме готовой продукции».

Счета по учету капитала, первоначально авансированного на орудия труда, предназначены для отражения на них капитала, авансированного на основные средства и нематериальные активы при создании организации или осуществлении инвестиционных проектов с целью обновления орудий труда [6]. Эти объ-

екты участвуют в процессе производства или многократно его обслуживают. Живой труд постепенно переносит капитал, авансированный на них, на создаваемую продукцию, сохраняя при этом натуральную форму объектов до конца срока их полезного использования. В данную группу могут входить счета, наименования которых должны соответствовать тому, что на них учитывается: «Капитал, первоначально авансированный на основные средства», «Капитал, первоначально авансированный на нематериальные активы».

Поскольку капитал, первоначально авансированный на орудия труда, в процессе их использования амортизируется, то есть восстанавливается в денежной форме, то происходит постоянное уменьшение размера капитала, воплощенного в орудиях труда. Поэтому, с одной стороны, необходимо вести учет капитала, принявшего денежную форму в результате амортизации, а с другой, определять размер капитала, воплощенного в орудиях труда. Эту задачу решают путем применения регулирующих контрактивных счетов. Для отражения процесса восстановления в денежной форме капитала, первоначально авансированного на орудия труда, следует использовать следующие наименования: «Амортизация капитала, первоначально авансированного на основные средства» и «Амортизация капитала, первоначально авансированного на нематериальные активы». Эти регулирующие контрактивные счета имеют структуру пассивных счетов и поэтому по кредиту отражается увеличение капитала, принявшего денежную форму. Что же касается записей по дебету счетов «Амортизация капитала, первоначально авансированного на основные средства» и «Амортизация капитала, первоначально авансированного на нематериальные активы», то записи по дебету их не отражают какого-либо списания, то есть

исключения из учета капитала, принявшего денежную форму, как это представлено в работе [7]. Скорее всего, записи по дебету этих пассивных счетов и кредиту счетов должны показать, какой размер капитала уже принял денежную форму и с учетом этого определять размер денежных средств, за которые может быть продан объект орудий труда, или размер потерь капитала организации в результате недостачи или порчи объекта. В бухгалтерском финансовом учете не может находить отражение износ орудий труда, являющийся процессом физического их старения. Поэтому в рамках финансового учета, как и учета вообще, не может быть счетов с названием «Износ основных средств», равно как и счетов «Амортизация основных средств». Это обусловлено тем, что износ, по нашему мнению, не является экономической категорией и не синоним понятия «амортизация», а следовательно, не может отражаться в бухгалтерском финансовом учете. С этих позиций названия счетов «Амортизация основных средств» и «Амортизация нематериальных активов» лишены какого-либо смысла, поскольку неправомерно вести речь о восстановлении основных средств или нематериальных активов [8].

Предметы труда в отличие от орудий труда участвуют в процессе производства один раз. Живой труд переносит капитал, воплощенный в них, на созданную продукцию. Поэтому для учета капитала, воплощенного в предметах труда в рамках бухгалтерского финансового учета, может быть предусмотрен счет «Капитал, авансированный на предметы труда». Для учета капитала, направленного на финансовые вложения (на финансовую деятельность, которая приносит организации доход в результате перераспределения прибыли, полученной другой организацией), могут быть предусмотрены три счета. Два — для учета капитала, кото-

рый амортизируется (восстанавливается в денежной форме) и принимает формы основных средств и нематериальных активов. Эти счета могут быть подобны счету «Доходные вложения в материальные ценности». Поскольку вложение финансов в материальные ценности осуществляется с целью получения дохода, то они сразу же становятся капиталом, то есть организация вправе рассчитывать на доход. Значит, счет учета капитала, вложенного в основные средства, предназначенные для передачи в финансовую деятельность, следует называть: «Капитал, вложенный в основные средства, предназначенные для передачи в аренду». На этом счете, по нашему мнению, можно также отражать размер капитала, авансированного на основные средства, передаваемые в аренду (лизинг) (бухгалтерская запись: дебет счета «Капитал, вложенный в основные средства, предназначенные для передачи в аренду» и кредит счета «Капитал, первоначально авансированный на основные средства»). Предложение обусловлено тем, что на этом счете отражаются «инвестиции в приобретение активов, предназначенных для сдачи в аренду с правом выкупа после окончания срока аренды и завершения арендных отношений или без права выкупа» [9]. Второй счет может быть предназначен для учета капитала, вложенного в нематериальные активы, предназначенные для передачи в аренду. Название третьего счета учета капитала, направленного на финансовые вложения, должно указывать на предмет учета и на место его использования. Вариант наименования: «Капитал, направленный на паи, займы, акции и другие ценные бумаги».

На счетах учета бездействующих финансов учитывают финансы, направленные на инвестиции в форме капитальных вложений, то есть на обновление орудий труда (поскольку

в этот период финансы не участвуют в процессе создания продукции и практически омертвлены), а также финансы, отвлеченные от производства и иной деятельности. Счетами учета бездействующих финансов могут быть: «Финансы, вложенные в оборудование, требующее монтажа», «Финансы, в форме капитальных вложений», «Финансы, в форме орудий труда, переданных на консервацию», «Финансы, обеспечивающие уплату налога на добавленную стоимость», «Задолженность прочих дебиторов», «Задолженность по возмещению материального ущерба».

В названиях этих счетов помимо соблюдения, ранее сформулированных принципов их наименования вместо привычного слова «расчеты» использовано слово «задолженность». Это обусловлено тем, что в рамках бухгалтерского финансового учета ведется учет дебиторской и кредиторской задолженности и ее движения, то есть возникновение и погашение.

Счет «Финансы, вложенные в оборудование, требующее монтажа» предлагается применять взамен счета «Оборудования к установке», который, как следует из названия, предназначен для обобщения информации о наличии и движении технологического энергетического и производственного оборудования (включая оборудование для мастерских, опытных установок и лабораторий, требующее монтажа и предназначенное для установки в строящихся (реконструируемых) объектах [9]. Счет «Инвестиции в форме капитальных вложений» предлагается использовать для учета затрат финансов в процессе осуществления капитальных вложений. Сальдо по этому счету будет характеризовать размер финансов в форме незавершенного строительства.

На счетах учета источников собственных финансов учитывают финансы, которыми учредители наделили организацию и которые становятся капиталом, а также финансы,

созданные в процессе производственно-финансовой деятельности, которые могут и не превратиться в капитал. К таким следует отнести счета «Уставный капитал», «Добавочный капитал», «Резервный капитал», а также «Нераспределенная прибыль (непокрытый убыток)», «Целевое финансирование», «Резервы предстоящих расходов» и т.п.

На счетах учета источников заемных финансов учитываются финансы, не принадлежащие данной организации, но которые находятся в ее обороте наряду с собственными финансами в соответствии с принятым порядком расчетов или в соответствии с заключенными договорами. При наступлении срока платежа заемные финансы должны быть возвращены по принадлежности юридическим или физическим лицам. Для учета источников заемных финансов могут быть предусмотрены счета: «Задолженность по краткосрочным займам», «Задолженность по долгосрочным займам», «Задолженность поставщикам и подрядчикам», «Задолженность персоналу по заработной плате», «Задолженность по социальному страхованию и обеспечению», «Задолженность по налогам и сборам», «Доходы будущих периодов». «Арендные обязательства», «Отложенные налоговые обязательства» и т.д.

Употребление в наименовании счетов слова «задолженность» согласуется с задачей бухгалтерского финансового учета — обеспечивать достоверный учет финансов, находящихся в юридическом распоряжении организации и источниками их образования. А источниками финансов, особенно заемных, является именно кредиторская задолженность, образующаяся в результате расчетов, но никак не расчеты.

Чтобы бухгалтерский финансовый учет мог выполнять свои функции в полном объеме, то есть обеспечивать информацией калькуляцию

себестоимости продукции и определение финансового результата деятельности организации, рассмотренные счета должны быть дополнены операционными счетами, которые составляют четвертую группу счетов. Счета этой группы подразделяются: а) на распределительные, б) калькуляционные и в) сопоставляющие.

Поскольку процесс производства предполагает соединение рабочей силы и средств производства, в результате чего образуются издержки производства, являющиеся одной из частей расходов организации по созданию различных видов продукции, то должны быть предусмотрены счета издержек. Для учета издержек производства (по сути, прямых расходов, связанных с производством конкретного вида продукции) могут быть использованы счета «Издержки основного производства», «Издержки вспомогательных производств» и другие.

Кроме того, организация в процессе деятельности образует издержки производства, которые не могут быть прямо отнесены на конкретный вид продукции, а подлежат распределению между ними. Для этих целей должны быть предусмотрены собирательно-распределительные счета: «Общепроизводственные расходы», «Общехозяйственные расходы» и т.п.

Кроме задачи распределения издержек производства между разными видами продукции возникает задача распределения издержек производства и доходов между смежными отчетными периодами с целью равномерного включения издержек производства в расходы организации или отражения в учете полученных доходов. Эту функцию выполняют бюджетно-распределительные счета «Расходы будущих периодов», «Резерв предстоящих расходов», «Доходы будущих периодов», первый из которых активный, а остальные пассивные.

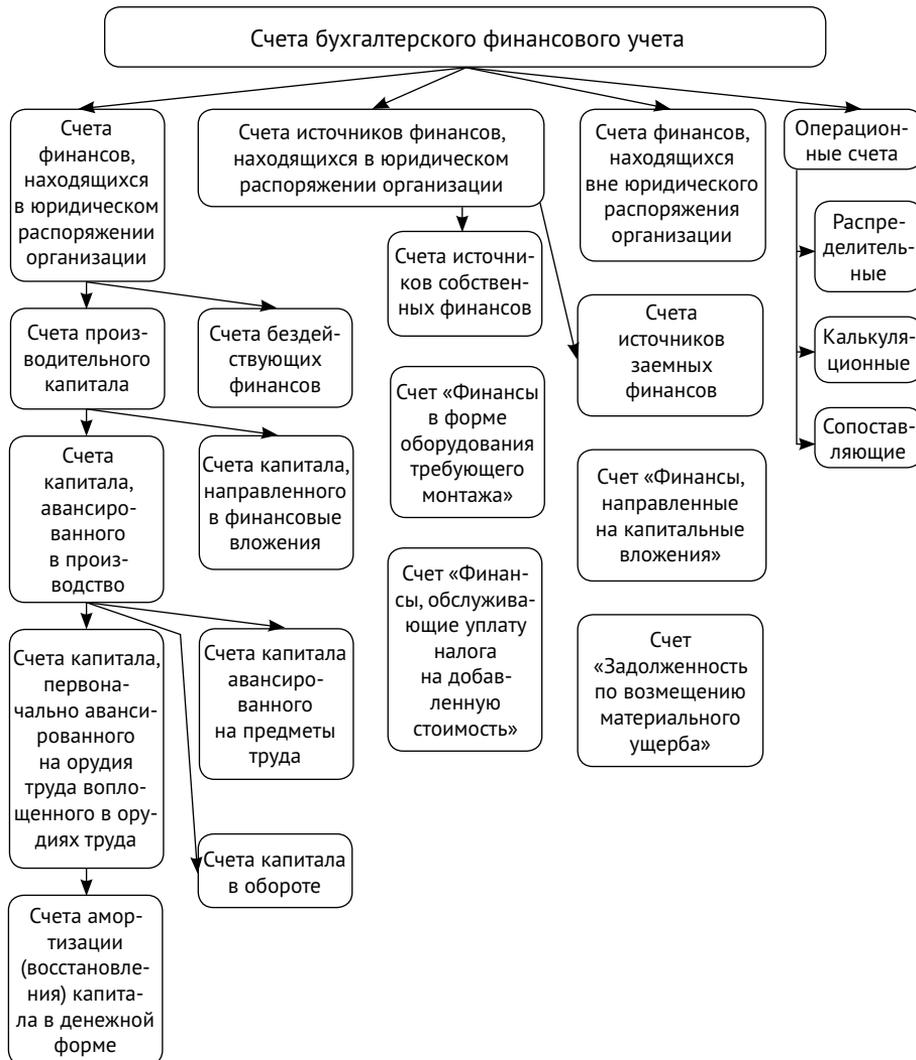
Другой составляющей расходов организации являются затраты капитала — косвенные расходы, осуществляемые организацией при оплате услуг в процессе приобретения или создания орудий труда, заготовления предметов труда и реализации продукции. Использование счетов затрат капитала наряду со счетами издержек производства позволяет определять показатели стоимости орудий труда, предметов труда и готовой продукции. Для учета затрат капитала в процессе продажи продукции и товаров (на транспортировку, страхование и т.п.) может быть использован счет «Затраты капитала, связанные с продажей продукции и товаров».

Сопоставляющие счета используют для выявления результатов хозяйственных процессов путем сопоставления данных учетных на дебете и кредите соответствующего счета. Это счета «Продажи», «Прочие доходы и расходы» и «Прибыли и убытки».

По дебету счета «Продажи» отражают расходы по обычным видам деятельности, а по кредиту — доходы, полученные от продажи продукции этих видов деятельности. По дебету счета «Прочие доходы и расходы» отражаются расходы полученные организацией от совершения операций, относящихся к другим сферам деятельности

На счете «Прибыли и убытки» в течение года учитывают: по дебету — убытки, а по кредиту — прибыль, получаемые ежемесячно. Сопоставив суммы, учтенные по дебету этого счета, с суммами, учтенными по кредиту, определяют финансовый результат деятельности организации.

В обобщенном виде предлагаемая классификация счетов бухгалтерского финансового учета представлена на рисунке. По нашему мнению, она может быть использована при разработке плана счетов организации. ■



Классификация счетов бухгалтерского финансового учета

### Литература

1. Вовк А.А., Вовк Ю.А., Чуприкова З.В. Классификация видов учета как основа развития их и отчетности / В сб.: «Рынок транспортных услуг (повышение эффективности производства)». Вып. 5; Ч. 1. Гомель. 2012. С. 12–16. ISSN 2225-6741.
2. Вовк А.А. Проблемы развития терминологии экономики железнодорожного транспорта // Вестник УрГУПС, 2010. № 2. С. 87–95. ISSN 2079-0392.
3. Вовк А.А., Вовк Ю.А. Сущность и взаимосвязь экономических категорий «финансы» и «капитал» // Экономика железных дорог, 2011. № 10. С. 60–63. ISSN 2079-0392.
4. Вовк А.А., Панюшкина М.В. Сущность и структура оборотного капитала транспортной компании // Экономика железных дорог, 2009. № 12. С. 21–26. ISSN 2079-0392.
5. Вовк А.А., Вовк Ю.А. Содержание и форма отчета о наличии и размещении финансов, находящихся в юридическом распоряжении транспортной компании и их источниках / В сб.: «Рынок транспортных услуг (повышение эффективности производства)»; Вып. 4. Гомель, 2011. С. 22–30. ISSN 2225-6741.

6. Вовк А.А., Остапенко С.Н., Вовк Ю.А. Экономическое обоснование выбора инвестиционных проектов на железнодорожном транспорте // Вестник УрГУПС, 2012. № 3. С. 76–82. ISSN 2079-0392.
7. Вовк А.А., Вовк Ю.А. Характеристика размера заемного основного капитала транспортных компаний // Экономика железных дорог, 2012. № 3, С. 76–83. ISSN 1727-6500.
8. Бухгалтерский финансовый учет на железнодорожном транспорте / А. П. Красов, А.А Вовк и др. / Под ред. проф. А. П. Красова. — М. : ФГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2008. — 672 с. ISBN 978-5-89035-524-9.
9. План счетов бухгалтерского учета финансово хозяйственной деятельности ОАО «РЖД» и инструкция по его применению. М. : ООО ИПП «Инсофт», 2005. 480 с.

## References

1. Vovk A.A., Vovk Yu.A., Chuprikova Z. V. Klassifikatsiya vidov ucheta kak osnova razvitiya ikh i otchetnosti [Classification of accounting types as a basis of their development and reporting] / Included in the collection «Rynok transportnykh uslug (povyshenie effektivnosti proizvodstva)». [Transport services market (improvement of production efficiency)] Issue № 5; P. 1. Gomel. 2012. p. 12–16. ISSN 2225-6741.
2. Vovk A.A. Problemy razvitiya terminologii ekonomiki zheleznodorozhnogo transporta [Problems of development of terminology of railway transport economy] // USURT Herald, 2010. № 2. p. 87–95. ISSN 2079-0392.
3. Vovk A.A., Vovk Yu.A. Suschnost i vzaimosvyaz ekonomicheskikh kategoriy «finansy» i «kapital» [The nature and relationship of economic categories «finance» and «capital»] // Ekonomika zheleznikh dorog, 2011. № 10. p. 60–63. ISSN 2079-0392.
4. Vovk A.A., Panyushkina M. V. Suschnost i struktura oborotnogo kapitala transportnoy kompanii [The nature and structure of the working capital of a transport company] // Ekonomika zheleznikh dorog, 2009. № 12. p. 21–26. ISSN 2079-0392.
5. Vovk A.A., Vovk Yu.A. Soderzhanie i forma otcheta o nalichii i razmeschenii finansov, nakhodyaschikhsya v yuridicheskom rasporyazhenii transportnoy kompanii i ikh istochnikakh [The content and form of the report on the availability and allocation of funds being in legal possession of the transport company and their sources] / Included in the collection: «Rynok transportnykh uslug (povyshenie effektivnosti proizvodstva) [Transport services market (improvement of production efficiency)]; Issue № 4. Gomel, 2011. p. 22–30. ISSN 2225-6741.
6. Vovk A.A., Ostapenko S. N., Vovk Yu.A. Ekonomicheskoe obosnovanie vybora investitsionnykh projektov na zheleznodorozhnom transporte [Economic rationale for the selection of investment projects at rail transport] //USURT Herald, 2012. № 3. p. 76–82. ISSN 2079-0392.
7. Vovk A.A., Vovk Yu.A. Kharakteristika razmera zaemnogo osnovnogo kapitala transportnykh kompaniy [Feature of the size of main debt capital of transport companies] // Ekonomika zheleznikh dorog, 2012. № 3, p. 76–83. ISSN 1727-6500.
8. Bukhgalterskiy finansovyy uchety na zheleznodorozhnom transporte [Financial accounting at rail transport] / A. P. Krasov, A.A Vovk et al. / Edited by prof. A. P. Krasov. — М. : ФГОУ «Учебно- методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2008. — 672 p. ISBN 978-5-89035-524-9.
9. Plan schetov bukhgalterskogo ucheta finansovo hozajstvennoj dejatel'nosti OAO RZHD I instruksija po ego primeneniju. [Chart of Accounts for financial and economic activities of JSC «Russian Railways» and guidelines for its implementation]. М. : ООО ИПП «Insoft», 2005. 480 p.

*Статья сдана в редакцию 18 апреля 2013 года*

# Организация образовательного процесса

УДК 37.014.54

*В. А. Антропов*

## Современные вызовы российской системе профессионального образования

UDC 37.014.54

*V. A. Antropov*

## Dynamics of modernization processes in Russia

*Окончание. Начало см. в «Вестнике УрГУПС», 2013. № 1 (17)*

**П**рофессиональное образование само должно быть инновационным — именно так оно обеспечит подготовку инновационных специалистов, в которых так нуждается экономика России. Но образование — это еще и осмысление, и передача опыта поколений, то есть оно должно быть консервативным. Как пройти по этому лезвию? Тем более, что все решаемые образовательные проблемы так или иначе затрагивают всех россиян. Именно поэтому принятый в декабре 2012 года Закон «Об образовании в Российской Федерации» [1] так активно обсуждался.

Руководство же Минобрнауки ситуацию в системе профессионального образования видит как негативную. Российские вузы полностью неконкурентоспособны, заявил его глава Д. Ливанов, выступая на Петербургском экономическом форуме: «Мы фиксируем очень глубокие проблемы и в нашем образовании, и в нашей науке. За последние 20 лет мы

полностью утратили международную конкурентоспособность в этих сферах. Мы ее просто потеряли. То, что мы имеем сегодня, это не соответствует даже минимальным требованиям» [2].

— На повестке дня стоят радикальные изменения, — обещал министр. Его реплику о неконкурентоспособности вузов можно оспорить, но из этой позиции он наверняка будет исходить в процессе намеченных изменений. Если еще добавить официальную статистику по коррумпированности (на первом месте — здравоохранение, на втором — образование и на третьем — полиция) [3], то необходимость перемен в образовании по всем направлениям становится очевидной. Об этом свидетельствует и ряд публикаций.

С нашей точки зрения, инновации (и связанная с ними модернизация) в профессиональном образовании могут быть осуществлены по следующим направлениям:

---

**Владимир Алексеевич Антропов**, д-р экон. наук, профессор; кафедра «Управление в социально-экономических системах» Уральского государственного университета путей сообщения; Екатеринбург, Россия. E-mail: antrvl@list.ru.

**Vladimir Alekseevich Antropov**, DSc in Economics, Professor; «Frames of Society & Business Systems Management» Chair, Ural State University of Railway Transport; Ekaterinburg, Russia. E-mail: antrvl@list.ru.

- вхождение российских вузов в мировое образовательное пространство;
- развитие системы «профессиональное образование через всю жизнь» в достаточном и необходимом единстве компонентов: бакалавриат — специалитет — магистратура — аспирантура — MBA — DBA — PhD — докторантура;
- методология, теория и практика управления системой профессионального образования;
- прогнозирование и планирование развития профессионального образования;
- разработка модели личности современного российского преподавателя высшей школы;
- разработка модели личности обучаемого на всех ступенях и уровнях профессионального образования;
- разработка предметно-пространственной среды обучения будущих специалистов;
- целеполагание в образовательных системах;
- научно-методические основы и принципы отбора содержания передаваемого знания;
- разработка и внедрение в практику современных образовательных технологий (методов, форм и средств обучения), в том числе дистанционных;
- разработка временных характеристик образовательного процесса;
- разработка систем менеджмента качества образования;
- интеграция академической науки и профессионального образования;
- внедрение в практику учебного процесса исследовательской компоненты;
- оценка социально-экономической эффективности функционирования созданных федеральных и национальных университетов, других объединений и образовательных структур;
- финансовые механизмы функционирования автономных образовательных организаций;
- оптимизация материально-технической базы системы образования;
- формирование и развитие современной модели преподавателя, изменение в стиле его профессионального педагогического мышления;
- разработка систем мотивации труда преподавателей и студентов и другие\*.

Все направления инноваций должны быть согласованы с Законом «Об образовании» [10], реформой средней школы [11] или их опережать.

Система профессионального образования должна выполнять свою главную экономическую задачу: обеспечение подготовки востребованных кадров требуемого качества и количества в заданные сроки. Однако анализ документов по этим проблемам показывает, что инновации и модернизации в экономике и профессиональном образовании проходят практически вне корреляционной связи друг с другом (см.: Антропов В. А. Динамика модернизационных процессов в России // Вестник УрГУПС, № 1 (17), 2013. С. 79–101).

Инновационные процессы в экономике зачастую обсуждаются вне проблем инноваций в образовании и наоборот, то есть кадровое обеспечение инноваций находится вне поля самих

---

\*См., напр.: Антропов В. А., Морозова Е. Н. Кадровая политика саморазвития предприятий // Вестник УрГУПС, 2010. № 3. С. 95–104. ISSN 2079-0392; Нестеров В. Л., Радченко В. И., Лузина Е. С. Показатели качества организации образовательного процесса в учебном заведении // Вестник УрГУПС, 2010. № 2. С. 66–73; Нестеров В. Л. Инновационное развитие кадрового обеспечения предприятий транспортного комплекса // Вестник УрГУПС, 2011. № 3. С. 75–82; Сорокина Н. И. Межкультурная коммуникация: от обучения к учению // Вестник УрГУПС, 2011. № 3. С. 83–92; Оськина М. Н. Подготовка преподавателей отраслевого вуза к инновационной методической работе. Вестник УрГУПС, 2013. № 1 (17). С. 133–141; Куликова О. В., Чуев Н. П. Развитие творческих способностей и культуры мышления студентов вуза при изучении математики // Вестник УрГУПС, 2012. № 3. С. 120–128.

инновационных процессов. С нашей точки зрения, это одна из важнейших методологических ошибок разработчиков идей инноваций. Инновационные процессы должны жестко коррелировать друг с другом на основе четкого понимания прогноза и стратегии развития России\*.

Ставя во главе угла развитие инновационной экономики, мы рассматриваем профессиональное образование как обслуживающую инновационную подсистему, понимая, что оно выполняет кроме того и опережающую функцию.

Инновации в сфере профессионального образования, как и в экономике, могут быть реализованы с помощью базовых инноваций, модернизации, модификации и трансформации. Именно на их основе должен строиться механизм инновационных процессов кадрового обеспечения, учитывающий необходимость учета его экономической целесообразности.

К сожалению, настоящая модернизация российского образования не имеет необходимой методологической и экономической основы, да и с модернизацией в других отраслях экономики связана слабо. Поэтому реализуемые Минобразом мероприятия оказываются точечными, не решая проблему как для страны в целом, так и для ее регионов. В результате идущий «модернизационный» процесс не снимает имеющиеся проблемы и не отвечает в должной мере на системные вызовы для российского профессионального образования. Нужен системный подход в решении проблем выхода России на инновационный путь развития, учитывающий опыт советской высшей профессиональной школы.

Даже эксперты OECD-ОЭСР считают, что «какие бы решения ни были приняты, они должны быть сугубо «российскими» — отражающими историю, ценности и традиции российской культуры», «решение проблем должно быть по своей природе «российским» и соответствовать социальным, культурным и юридическим традициям Российской Федерации» [13]. Эти идеи были высказаны еще в 2001 г., но происходящие в России преобразования по-прежнему копируют западные технологии.

Нами предлагается альтернативная концепция модернизации российского профессионального образования, учитывающая как стратегию развития нашего государства, так и ее реализацию на конкретном рабочем месте.

В настоящее время перед системой российского профессионального образования стоят следующие вызовы:

1. Неблагоприятная демографическая ситуация (которая не позволяет обеспечить полноценный набор в профессиональные образовательные учреждения. Это повлечет за собой нехватку квалифицированных, с соответствующим высшим образованием кадров для инновационной экономики России);

2. Действующая система подготовки инженерно-технических кадров не соответствует требованиям времени [14] (имеется разрыв в системных связях между кадрами и рынком, необходима разработка единой кадровой политики с участием государства, вузов и работодателей);

3. В стране разрушена система массовой подготовки квалифицированных рабочих кадров. Сохранившиеся

---

\*Вот один из примеров. Власти ХМАО в июне 2012 г. представили депутатам окружной думы Стратегию социально-экономического развития округа до 2020 года и на период до 2030 года. Стоимость документа оценена в 280 млн руб. Проректор Высшей школы экономики А. Каспржак, который был привлечен правительством ХМАО в качестве эксперта, заявил, что ряд моментов Стратегии выполнены достаточно качественно, в том числе качественно представлена аналитика по топливно-энергетическому комплексу (ТЭК), создана интересная и необходимая информационная система. «Но есть другой вопрос по этой стратегии. Что человек получит нового, как он изменит свою жизнь? Этого мы в представленном документе не увидели», — подчеркнул эксперт. Также он отметил, что в стратегии напрочь отсутствует такое понятие, как «человеческий капитал»: «Человека в этой стратегии не очень видно» [12].

профессиональные образовательные учреждения начального и среднего профессионального образования в значительной мере материально и морально устарели. В новом же Законе «Об образовании» устранено само понятие «начальное профессиональное образование» [15];

4. Отсутствует современная национальная система сертификации и квалификаций рабочих профессий — используются еще советские системы, которые включают семь тысяч рабочих профессий\*;

5. Качество подготовки кадров в профессиональных образовательных учреждениях всех уровней (НПО, СПО, ВПО) не устраивает работодателей, так как не соответствует требованиям современного производства, необходимости его технологической модернизации;

6. Подготавливаемые в профессиональных образовательных учреждениях будущие работники не соответствуют масштабам и требованиям развивающейся экономики России; профессионально-квалификационная структура подготовки кадров не соответствует потребностям экономики;

7. Продолжающееся снижение качества образования (фиксирующееся кадровыми службами предприятий в процессе набора персонала, не способствует развитию предприятий, обеспечению конкурентоспособности продукции российских предприятий на глобальном рынке);

8. Увеличивается количество преподавателей, не знающих современных производственных технологий, активных методов и средств обучения (что не позволяет обеспечить подготовку востребованных экономикой кадров);

9. Образование перестает работать как механизм социального лифта и перемещения, обеспечивающего переход талантливой молодежи на более высокие уровни управления и квалификаций;

10. Высшая профессиональная школа не отошла от знаниевого подхода к организации обучения, не встала на позицию экономики знаний [16], а потому образовательные технологии не обеспечивают производство инноваций и инноваторов.

В ноябре 2012 года Минобрнауки России опубликовал мониторинг университетов России и их филиалов. Ряд из них оказались в «красной зоне», в том числе и некоторые уральские [17, 18]\*\*.

Одна из проблем создания национальной инновационной системы (НИС) — это определение места и роли науки и научных организаций в инновационных процессах. Некоторые документы предполагают, что в соответствии с выбранной американской (западной) моделью ключевым звеном НИС должны стать университеты. Для этого им необходимо не только предлагать инновационное образование и создавать старта-

---

\*В развитых странах – 600–800. Совместно с Торгово-промышленной палатой России, Российским союзом промышленников и предпринимателей, ассоциациями работодателей необходимо разработать новую, современную национальную систему квалификаций и систему профессиональных стандартов и уже на этой основе доработать государственные образовательные стандарты для учреждений профессионального образования. Такая работа в ряде отраслей уже идет, в Минобрнауке рассматривается вопрос о формировании Федеральных государственных стандартов (ФГОС) 4 поколения.

\*\*Характерный пример неготовности вузов обеспечить качественную подготовку кадров – это результаты общественной аккредитации юридических вузов. Она показала, что в России сегодня юристов готовят 1300 вузов. Ассоциация юристов России провела общественную аккредитацию всех этих учебных заведений. Успешно прошли аккредитацию лишь 75 вузов. Категорически отказались от общественной аккредитации в 41 вузе. Еще 27 вузов представили документы для общественной аккредитации, но не смогли ее пройти по разным причинам. В целом, по мнению экспертного сообщества, лишь 100–150 российских вузов выпускают юристов высокого класса, которые востребованы на рынке труда.

С экономистами ситуация значительно хуже. Их выпускают 1800 вузов и филиалов. Ректор Финансового университета при правительстве РФ М. Эскиндаров предложил подумать о подобной общественной аккредитации и экономических вузов. И предложил подключить к этому Торгово-промышленную палату, Российский союз промышленников и предпринимателей, ассоциации банков

пы, но и заняться прикладной наукой и инжинирингом для традиционных отраслей российской экономики, то есть они должны стать *предпринимательскими*, стимулирующими создание стартапов. Далее предполагается, что созданные стартапы подхватят инновационные лифты институтов развития.

В рамках этой парадигмы в 2009 г. принят Закон «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации по вопросам создания бюджетными научными и образовательными учреждениями хозяйственных обществ в целях практического применения (внедрения) результатов интеллектуальной деятельности» [19]. Закон предоставил вузам и НИИ возможность максимального сближения бюджетной науки и бизнеса, создания малых инновационных предприятий.

Университеты в таком подходе могут стать звеном, соединяющим академическую, фундаментальную науку и промышленность. За ними — мощный кадровый и материальный потенциал, они открыты для работы с академическим сектором и отдельными инновационными стартапами, знают последние тенденции мировой науки, ведут собственные изыскания.

Задачей университетов в российской НИС помимо высокой миссии обучения, исследования и создания стартапов станет заполнение практически пустующей сейчас ниши отраслевой науки и инжиниринга в более значимых пока для отечественной экономики традиционных отраслях. С учетом отводимой им роли в создании технологических платформ и территорияльных инновационных кластеров университеты, как это и должно быть по теории, де-факто станут ключевым элементом тройной спирали в России.

Для развития инноваций важны стимулы, которые мотивируют талантливых изобретателей к действиям. Таковыми могут стать «малые

бизнесы» при вузах. Предложено ввести во всех российских вузах должность «проректор по инновациям», который бы занимался исключительно «бизнесом, деньгами, а не образованием» [20]. И такие должности в вузах, в том числе и в ряде уральских, уже есть.

ФЗ № 217 разрешил создание предприятий при бюджетных научных и образовательных учреждениях [21]. Однако быстрому росту предприятий при бюджетных учреждениях до сих пор мешают другие законодательные акты, которые не приведены в соответствие с этим законом. Работу властей, академических институтов и вузов в направлении инноваций сдерживает целый ряд норм налогового, бюджетного и гражданского кодексов. Так, вуз не может вносить в уставный фонд малых инновационных предприятий и технопарков принадлежащее ему имущество, не разрешена упрощенная форма налоговой отчетности, даже если в составе такой структуры всего четыре-шесть человек.

Для ускорения инновационных процессов необходимо, как показывает европейский опыт, формирование так называемых технологических платформ. Это система соглашений между участниками рынка на одном из направлений экономики, требующего исследовательских усилий и перехода к новым технологическим поколениям [22]. Вузы и промышленные компании должны сформировать свои программы развития — базу для органов государственного управления, в частности, чтобы применить различные инструменты стимулирования: экономическое регулирование, технический регламент, финансирование работ на докоммерческой стадии и т.д.

Такое инновационное движение обеспечит появление инструментария для развития у будущих специалистов новых исследовательских компетенций, создаст возможность кардинально изменить характер и качество

подготовки, прежде всего в технических направлениях, позволит компаниям проводить многие работы более качественно с использованием новых идей и технологий.

Среди позитивных тенденций развития российского инновационного сектора можно отметить его значительное «омоложение», наблюдаемое за последние годы. Средний возраст российского разработчика сегодня — 27–29 лет. Для сравнения: 30–33 года, по данным на 2009 г., и 35–38 лет — на 2008 г. Количество молодежных проектов за первое полугодие 2010-го выросло на 37%. Таким образом, молодежь становится интеллектуальным ресурсом компаний [23].

Но чтобы они стали инноваторами, необходимо решить проблему их подготовки. Часто молодые люди, приходя на практику в институты Российской академии наук (РАН), не видят, где бы они могли реализовать себя как инноваторы. Такое положение обусловлено тем, что мест в аспирантуре академических институтов невелико, а аспирантская стипендия — 1,5 тыс. руб. в месяц! — мягко говоря, мала. Только с 1.09.2011 г. стипендия для аспиранта по ряду специальностей выросла до 2,5 тыс., для докторантов — до 4 тыс., а с января 2012 года она еще увеличена.

Выступая в июне 2010 г. на заседании Комиссии по модернизации и технологическому развитию экономики России, президент Д. Медведев подчеркнул, что «интеллект и способность к новаторству — это сейчас, конечно, наше главное конкурентное преимущество».

Некоторые направления модернизации успешно функционируют, однако есть и неэффективные, что указывает их недостаточную проработанность, разрозненность мероприятий. В результате в обществе складывается кризис доверия к модернизации, необходимость ее перезагрузки.

Характерный пример — данные по утечке мозгов. В 2006 г. из страны

за рубеж (в основном в США) уехало 6200 молодых ученых, представляющих интерес для инновационной отрасли. После того как в 2007–2008 гг. объявили инновационную программу, было зафиксировано падение оттока кадров за границу (до 4700 чел. — в 2007 г., до 3400 чел. — в 2008-м). В 2009 г. — резкий рост отъезжающих за границу молодых ученых (6100 чел.); Россия опять вернулась к прежним цифрам оттока [24].

Сейчас следует акцентировать внимание на важнейших направлениях — интеллектуальных, стратегических и организационных [25].

Следует провести систематизирующую работу и составить нечто вроде «карты» России в «модернизационной» системе координат. Это позволит определить приоритеты развития страны. Следует оценить масштабы отставания от конкурентов, выявить те направления, в которых сокращение этого отставания может быть достигнуто самыми умеренными усилиями. Желание догнать должно стать идеологией нынешнего президентства, а развитие тех сфер, в которых мы находимся на мировом уровне или имеем преимущества, — поводом для законной гордости.

Необходимо реорганизовать организационную структуру управления процессом модернизации. Новая техническая политика должна предусматривать институциональные механизмы «принуждения к инновациям» [26]. Необходима комплексная экспертиза всех инфраструктурных проектов, финансируемых за счет средств государственного бюджета и реализуемых на территории РФ. Такая экспертиза должна удостоверить их технологическую и экономическую эффективность, предусмотрев возможность заблокировать любой такой проект при выявлении технологической и/или экономической неэффективности.

Здесь речь идет уже о формировании нового «инновационного» мыш-

ления, а этот процесс можно организовать только в контакте с профессиональными образовательными организациями.

Итак, ясно, что ждать нельзя. Нужна методологически выверенная, экономически осмысленная, практикоориентированная современная концепция модернизации российского непрерывного профессионального образования.

Научный руководитель Высшей школы экономики Е. Ясин считает, что темпы роста экономики начиная с 2010 г. не будут превышать 4% в год. Для этого необходимо увеличивать производительность труда на 5% в год. Это очень сложная задача, так как численность населения не увеличивается, и улучшать производительность придется исключительно за счет инноваций.

Здесь также важно понимание не только экономической целесообразности инноваций, но и их социальной значимости: «Надо действительно начать модернизацию, а не только говорить о ней. ...Пока идет только спор: какая нам нужна модернизация — техническая или политическая? По-моему, и то и другое неверно. ... Прежде всего мы должны модернизировать самих себя. И начать с культуры. Сейчас из нас формируют первобытного человека, и со всем не русского» [27].

Основные направления модернизации профессионального образования в России определены рядом правительственных документов, направленных на формирование готовности ответить на эти вызовы [28]. Рассмотрим некоторые из них.

ФЗ «Об образовании в Российской Федерации» [29] на развитие инновационных процессов работает не в полной мере.

В этом законе нет четкой концепции. А вот попытка попытка базировать законопроект на объединении двух концептуальных подходов — «В равной мере прослеживается кон-

цепция преобладания государственных принципов регулирования, которая исходит из понимания образования как управляемой государством системы, обеспечивающей реализацию права граждан на образование в соответствии со ст. 43 Конституции России, а также концепция рыночных принципов регулирования, которая постулирует образовательную услугу, предоставляемую на основаниях спроса и предложения» — есть (президент Союза ректоров В. Садовничий). Необходим выбор одного из вариантов на основе сформулированной национальной образовательной стратегии.

Рассмотрим следующий документ — «Стратегия–2020» [30], для доработки которой по основным направлениям были созданы экспертные группы. Одна из них — это экспертная группа № 7 «Рынок труда, профессиональное образование, миграционная политика». Изучение этого документа показало следующее.

1. Каждый из разделов Стратегии (а их 21) проработан глубоко, но из них не складываются единая система, видение единого стратегического методологически выверенного пути развития России. Они аддитивны.

Такому документу должна предшествовать преамбула о миссии государства, национальной идее, модели государственного устройства и т.д. Отсюда и разворачиваются стратегические направления, сценарии развития при различных граничных условиях и т.д.

2. Вопросы, касающиеся рынка труда и профессионального образования, фрагментарно присутствуют и в других разделах документа. Это заслуживает безусловного уважения, так как, обсуждая проблемы стратегии по любым разделам, авторы объективно связывают их с человеческими ресурсами. Однако авторы раздела № 7 их, по всей видимости, не использовали.

Рассмотрим собственно раздел № 7 Стратегии.

1. Непосредственно в разделе № 7 объективно отражены болевые точки российского рынка труда. При этом делается вывод об отсутствии сигналов об уровне и качестве профессиональных компетенций работников. Здесь можно отметить, что такая работа уже началась, в том числе и по профессиональным стандартам — требуется ее активизация работодателями в увязке с ФГОСами третьего поколения. Это один из необходимых путей установления эффективного взаимодействия работодателей с профессиональными образовательными учреждениями для качественной подготовки специалистов.

2. Обсуждая варианты развития рынка труда России до 2020 г. в зависимости от выбранного пути экономического развития страны, авторы рассматривают инерционный и модернизационный сценарии, выбирая в качестве приоритетного модернизационный.

Модернизационный сценарий исходит из необходимости ускорить структурные сдвиги в экономике и, соответственно, интенсифицировать создание новых рабочих мест с постепенной реаллокацией (реаллокация — смена юрисдикции без смены самой компании — *Прим. ред.*) рабочей силы. Переход в такой режим, по мнению авторов, является ключом к решению главных проблем и рынка труда, и политики в области профессионального образования, и социальной политики в целом. Создание современных рабочих мест определит системе профессионального образования структурный заказ на специалистов и квалифицированных работников и задаст границы спроса со стороны рынка труда на работников-мигрантов.

Все это верно, но, думается, что здесь следовало бы конкретизировать необходимость воссоздания механизма прогнозирования кадровых потребностей под «старые» и «новые»

рабочие места и формирования заказа системе профессионального образования на подготовку кадров. В связи с отказом от «советской» системы образования (подготовки специалистов) и переходом на двухуровневую подготовку (бакалавр-магистр) эта проблема для страны является наиболее острой по многим позициям.

3. Говоря об изменениях в институтах рынка труда, авторы указывают на необходимость совершенствования трудового законодательства. Здесь следовало бы добавить необходимость учета новой формы занятости — роста числа фрилансеров.

4. Очень актуальны предложения по формированию национальной системы квалификаций и профессиональных стандартов, требующие своего незамедлительного внедрения, а также внедрение электронного паспорта работника. Некоторые регионы и отрасли уже занялись этими вопросами. Здесь Свердловская область, к сожалению, не передовая.

5. Совершенно справедливо указаны недостатки системы профессионального образования, сложившиеся за время различных модернизаций и реформ, наличие в связи с этим диспропорций на рынке труда. Решить эту проблему можно только осмысленным прогнозом кадрового обеспечения экономики России и механизмом его реализации (кадровый заказ, воссоздание системы распределения молодых специалистов в различных вариантах и т.д.) в аспекте современных реалий. В Стратегии эти вопросы должны быть поставлены.

6. Говоря о возможных сценариях развития, авторы утверждают, что «Россия (как и другие развитые страны) к 2020 г. придет к всеобщему высшему образованию. Вопрос (и вызов) — в правильном структурировании высшего образования и в обеспечении его качества».

Это красивый и устраивающий всех лозунг. Допустим, что Россия обязана следовать путем всех раз-

витых стран. Но мы уже почти добились «всеобщности» высшего образования, дело за немногим. А кто будет стоять за станком? Поможет не «правильное структурирование высшего образования» вне экономики, как пишут авторы, а понимание национальной идеи, прогноза развития под нее экономики и социума в целом, модели личности гражданина развивающейся России. И только после этого — кадровое прогнозирование, прогноз на специалистов с высшим образованием. Это и будет «правильное структурирование».

Если в Стратегии останутся такие неконкретные фразы, то и сама Стратегия окажется лишь очередным «правильным» документом. Стратегия — это еще не программа, но она обязана показывать путь развития, иметь глобальные стратегические индикаторы.

7. Авторы пишут, что «сценарий активного реформирования системы профессионального образования предполагает опору на потребителей: семьи и работодателей». Верно, что необходимо это делать. Тем более в том случае, если образование — это услуга.

Мы очень надеемся, что споры на эту тему еще не утихли. А как же быть с общественным благом? Где роль государства, обязанного за наши деньги (налоги) обеспечить охрану здоровья, необходимый уровень образования (какой — все еще споры), оборону? Государство традиционно уходит в сторону? Это опять вопросы модели государственного устройства, модели здоровой образованной личности. Только зная все это, мы можем прописывать сценарии реформирования (или модернизации) образования.

8. Авторы пишут, что «повышение эффективности профессионального образования повысит инновационный и культурно-технический потенциал экономики России, эффект может быть оценен в 1–1,2 про-

центных пункта годового роста ВВП к 2020 г.». Хотя в Стратегии должно быть понятно, за счет чего повышается эффективность образования и как она замеряется. Это индикаторы Стратегии. По ним следует проверять, достигнуты ли цели Стратегии.

Авторы пишут, что «оптимизация структуры профессионального образования снизит потребность экономики в импорте рабочей силы в полтора-два раза и благоприятно скажется на структуре рынка труда и социальном климате». Идея совершенно справедливая, но оптимизацию можно провести и так, чтобы вовсе снизить потребности в импорте рабочей силы. Где критерии оптимизации?

9. Авторы предлагают ввести эффективный контракт с преподавателями (конкурентоспособная заработная плата в среднем на уровне удвоенной зарплаты по региону). Звучит красиво, перекликается с первым указом первого президента России Б. Н. Ельцина. Здесь нужна воля правительства, а преподаватели явно будут мотивированы на высокоэффективный труд при наличии индивидуального подхода к ним при заключении контракта.

Все другие меры по развитию институтов профессионального образования следует поддержать. Но и здесь замечание, касающееся их системности. Прокомментируем некоторые из них.

10. Прикладной бакалавриат, программы прикладных квалификаций продолжительностью от нескольких месяцев до одного года — эти и другие предлагаемые мероприятия должны быть проведены в рамках понятной модели управления образованием, к которой государство решило идти. Пока же каждое из предложений вызывает вопросы.

Например, обучение на рабочем месте. Это так называемая внутрифирменная подготовка. Ее надо возрождать, но как и за чей счет?

Совершенно разумно предложение о независимой государственной аттестации (НГА) выпускников по уровню освоения профессиональных компетенций.

11. О стипендии. Нужно определиться, что такое стипендия, должна ли она обеспечивать студента в размерах прожиточного минимума? Суд России почему-то так не считает.

12. Очень острый вопрос об оптимизации сети образовательных учреждений профессионального образования. Оптимизировать предлагают авторы, оптимизация у всех на слуху. А каковы критерии оптимизации? Их еще никто не назвал и каждый понимает их по-своему. Нужна оптимизационная модель.

Главные ресурсы в России — это человеческие ресурсы. Только их профессиональная квалификация поможет России стать передовым государством для людей. В «Стратегии–2020» это понимание должно пройти красной строкой.

При корректировке документа раздел «Профессиональное образование инновационной России» *следует выделить отдельно.*

Следующий документ — проект Государственной программы Российской Федерации «Развитие образования» на 2013–2020 гг.

Документ вполне приемлем для осмысления и реализации. Основные положения сформулированы достаточно четко, с необходимыми индикаторами, оценками возможных рисков. Достоинства документа можно перечислять, но главное — его хочется реализовывать, он мобилизует и мотивирует. Вместе с тем внесем несколько предложений для его совершенствования.

Прежде всего необходима преамбула о концепции и стратегии развития образования инновационной России. Из нее будет следовать необходимость формирования и развития инновационного человека, цель

и задачи образования, которые и закладываются в основу Программы.

Необходимо установить корреляцию между этой Программой и другими не менее важными документами — Законом «Об образовании в Российской Федерации», «Стратегией–2020», рядом ФЦП и др. Читателю и будущему исполнителю Программы надо видеть место этого документа среди других, ранее принятых.

1. Целью Государственной программы заявлено: «Создание условий для развития эффективной образовательной системы на протяжении всей жизни, обеспечивающей текущие и перспективные потребности развития человеческого капитала, общества и экономики Российской Федерации».

Создавать же следует не условия, а саму эффективную образовательную систему. При этом четко понимать, что значит — эффективную? Далее, система должна не только обеспечивать потребности (вроде бы от общества потребления мы отказываемся?), а формировать их и развивать.

2. Задачи следует пересмотреть в аспекте их конкретизации. Например, некоторые из них:

- «Введение новых финансово-экономических механизмов системы образования на принципах конкуренции, обеспечивающих развитие системы российского образования». Что значит «новых»? Из какой новой методологии следует «новизна»? Об этом необходимо сказать в преамбуле.
- «Обновление инфраструктуры системы образования». Какой? Почему? На каких новых принципах? Обновление или модернизация?
- «Обеспечение информационной прозрачности системы образования и развитие системы оценки качества образования». Эту задачу следует поделить на две самостоятельные: обеспечение прозрачности и развитие системы

оценки качества. И то и другое очень важно.

3. «Достижение нового качества и международной конкурентоспособности российского образования». Необходима более конкретная, понимаемая однозначно формулировка понятия «качество» для подсистемы профессионального образования. Тогда предпоследняя задача будет ясна, можно поменять их местами, так будет логично.

4. В Программе следует записать, какие ранее принятые и реализованные документы по вопросам образования лежат в ее основе, какие ранее сформулированные положения Программа развивает, какие оказались ошибочными для новых экономических условий России.

5. В Программе написано, что «одним из главных условий развития системы высшего профессионального образования является вовлеченность студентов и преподавателей в фундаментальные и прикладные исследования, в разработки для конкретных потребителей». Однако это положение не раскрыто в индикаторах. Следует усилить положения о роли академической и вузовской науки в формировании инновационного специалиста, направлениях взаимодействия.

6. Документ следует пересмотреть в аспекте развития подсистемы профессионального образования, имея ввиду его конкретную обслуживающую функцию — обеспечение квалифицированными инновационными кадрами развитие экономики России. Записать (поставить) в этом контексте вопросы прогнозирования и планирования, организации и управления, усиления значимости работодателей в формировании учебных планов и программ, оценки качества подготовки выпускников профессиональных образовательных учреждений более четко.

7. Программа хороша, но кто будет ее реализовывать? Необходимо про-

писать, в том числе и в индикаторах, переподготовку руководителей образовательных учреждений, прежде всего директоров школ, по вопросам экономики и управления. Также предусмотреть обучение преподавателей экономики, разработку методического обеспечения для них. Этот вопрос может быть решен целевым заказом для институтов экономики РАН.

8. Программа требует разработки конкретного механизма реализации и незамедлительного начала действий на уровне Российской Федерации, конкретизации механизмов на уровне субъектов, реализации в конкретном образовательном учреждении.

Рассмотрим документы правительства РФ, направленные на совершенствование работы с аспирантами. Документом «О формировании основных образовательных программ послевузовского профессионального образования» Минобрнауки РФ доводит до сведения руководителей образовательных учреждений высшего профессионального и дополнительного профессионального образования и научных организаций, реализующих образовательные программы послевузовского профессионального образования, что приказом Минобрнауки утверждены федеральные государственные требования к структуре основной профессиональной образовательной программы послевузовского профессионального образования (аспирантура) [31].

В соответствии с ним, рекомендуется привести основные профессиональные образовательные программы послевузовского профессионального образования, по которым осуществляется подготовка аспирантов в образовательном учреждении или научной организации, в соответствие утвержденным федеральным государственными требованиями для проведения государственной аккредитации образовательного учреждения или

научной организации по этим образовательным программам.

Нами предлагается альтернативная концепция модернизации профессионального образования.

Еще раз отметим, что на основе предлагаемой нами методики и алгоритма возможно воссоздание экономически целесообразного функционирования системы профессионального образования нашего государства, способной обеспечить необходимое количество кадров для трансформируемой экономики России, ее отраслей.

Предлагаемый нами подход позволяет проследить весь путь становления личности профессионала от общегосударственной идеи до цели конкретного занятия и соответствующей оценки степени ее реализации с выходом на оценку подготовки непосредственно на рабочем месте, сформулировать методологические, научно-методические и организационные основы модернизации профессионального образования территории. Имеющиеся в нашем распоряжении результаты исследований позволяют сделать такой вывод. ■



## Литература

1. Федеральный закон «Об образовании в Российской Федерации». URL: <http://мин-обнауки.рф/документы/2974/файл/1543/law/edu> (дата обращения: 16.05.2013).
2. Медведев Ю. Нобели не в счет // Российская газета: Федеральный выпуск. — 2012. — № 5817 (144). — 27 июня.
3. Коррупцированность России. Статистика за 2010 год по материалам Российских СМИ. URL: <http://uber44.ru/i> (дата обращения: 18.09.2012).
4. Антропов В.А., Морозова Е.Н. Кадровая политика саморазвития предприятий // Вестник УрГУПС, 2010. №3. С. 95–104. ISSN 2079-0392.
5. Нестеров В.Л., Радченко В.И., Лузина Е.С. Показатели качества организации образовательного процесса в учебном заведении // Вестник УрГУПС, 2010. №2. С. 66–73. ISSN 2079-0392.
6. Нестеров В.Л. Инновационное развитие кадрового обеспечения предприятий транспортного комплекса // Вестник УрГУПС, 2011. №3. С.75–82. ISSN 2079-0392.
7. Сорокина Н.И. Межкультурная коммуникация: от обучения к учению // Вестник УрГУПС, 2011. №3. С. 83–92. ISSN 2079-0392.
8. Оськина М. Н. Подготовка преподавателей отраслевого вуза к инновационной методической работе // Вестник УрГУПС, 2013. №1 (17). С.133–141. ISSN 2079-0392.
9. Куликова О.В., Чуев Н.П. Развитие творческих способностей и культуры мышления студентов вуза при изучении математики // Вестник УрГУПС, 2012. №3. С. 120–128. ISSN 2079-0392.
10. Федеральный Закон «Об образовании в Российской Федерации». URL: <http://мин-обнауки.рф/документы/2974/файл/1543/law/edu> (дата обращения: 16.05.2013).
11. Федеральный государственный образовательный стандарт среднего (полного) общего образования // Российская газета. URL: <http://www.rg.ru> (дата обращения: 25.09.2012).
12. Высшая школа экономики и депутаты ХМАО разнесли самую дорогую Стратегию развития региона // РИА. URL: <http://ura.ru> (дата обращения: 25.09.2012).
13. Образовательный стандарт высшей школы: сегодня и завтра. Монография / Под общ. ред. В. И. Байденко, Н. А. Селезневой. — М. : Исследовательский центр проблем качества подготовки специалистов, 2001. — 206 с.
14. Борисова В. Заказ на инженера. Кто и как будет готовить будущих технарей // Российская газета: Федеральный выпуск. — 2011. — № 5413 (37). — 22 февраля.
15. Федеральный Закон «Об образовании в Российской Федерации». URL: <http://мин-обнауки.рф/документы/2974/файл/1543/law/edu> (дата обращения: 16.05.2013).
16. Борисова В. Заказ на инженера. Кто и как будет готовить будущих технарей // Российская газета: Федеральный выпуск. — 2011. — № 5413 (37). — 22 февраля.
17. Результаты мониторинга деятельности государственных вузов и их филиалов. URL: <http://минобнауки.рф> (дата обращения: 25.09.2012).
18. О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации по вопросам создания бюджетными научными и образовательными учреждениями хозяйственных обществ в целях практического применения (внедрения) результатов интеллектуальной деятельности: Федеральный закон Российской Федерации от 2 августа 2009 г. № 217-ФЗ. Доступ из справ. — правовой системы «Консультант Плюс».
19. Зыкова Т. Резюме для Сколкова // Российская газета: Федеральный выпуск. — 2010. — № 5361 (282). — 14 декабря.
20. О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации по вопросам создания бюджетными научными и образовательными учреждениями хозяйственных обществ в целях практического применения (внедрения) результатов интеллектуальной деятельности: Федеральный закон Российской Федерации от 2 августа 2009 г. № 217-ФЗ. Доступ из справ. — правовой системы «Консультант Плюс».
21. Бизнес принял вызов (Более 700 компаний готовы профинансировать разработки вузовской науки). URL: [http://www.chuvsu.ru/index.php?option=com\\_content&view=article&id=889:-700-&catid=190&Itemid=139](http://www.chuvsu.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=889:-700-&catid=190&Itemid=139) (дата обращения: 25.09.2012).

22. Калышева Е. НАНО пострадало // Российская бизнес-газета. — 2010. — № 764 (31). — 29 августа.
23. Заславская О. Инноваторы отдыхают // Российская бизнес-газета. — 2010. — № 742 (9). — 23 марта.
24. Иноземцев В. Инновации с принуждением // Российская газета: Федеральный выпуск. — 2009. — № 4958 (134). — 27 июля.
25. Иноземцев В. Инновации с принуждением // Российская газета: Федеральный выпуск. — 2009. — № 4958 (134). — 27 июля.
26. Угланов А. И. Наше будущее — в объединении с Европой // Аргументы недели. — 2010. — № 45 (235). — 17 ноября.
27. Федеральный Закон «Об образовании в Российской Федерации». URL: <http://минобрнауки.рф/документы/2974/файл/1543/law/edu> (дата обращения: 16.05.2013).
28. Федеральный Закон «Об образовании в Российской Федерации». URL: <http://минобрнауки.рф/документы/2974/файл/1543/law/edu> (дата обращения: 16.05.2013).
29. Итоговый доклад о результатах экспертной работы по актуальным проблемам социально-экономической стратегии России на период до 2020 года «Стратегия-2020: Новая модель роста — новая социальная политика». URL: <http://2020strategy.ru/documents/32710234.html> (дата обращения: 18.09.2012).
30. О формировании основных образовательных программ послевузовского профессионального образования: письмо Минобрнауки РФ от 22.06.2011 № ИБ-733/12. Доступ из справ. — правовой системы «Консультант Плюс».
31. Приказ Министерства образования и науки Российской Федерации (Минобрнауки России) от 16 марта 2011 г. № 1365 г. «Об утверждении федеральных государственных требований к структуре основной профессиональной образовательной программы послевузовского профессионального образования (аспирантура)» // Российская газета: федеральный выпуск. — 2011. — № 5479. — 17 мая.

#### References

1. Federal Law «On Education in the Russian Federation.» URL: <http://минобрнауки.рф/документы/2974/файл/1543/law/edu> (date accessed: 16.05.2013).
2. Medvedev Yu. Nobeli ne v schet [Nobels do not count] // Russ. gaz.: Federal issue — 2012. — № 5817 (144). — 27 June.
3. Korrumpirovannost Rossii. Statistika za 2010 god po materialam Rossijskikh SMI. [The corruption of Russia. Statistics for 2010 based on Russian media] URL: <http://ubep44.ru/i> (date accessed: 18.09.2012).
4. Antropov V.A., Morozova E.N. Kadrovaja politika samorazvitija predpriyatij [Personnel policy of enterprises' self-development] // Vestnik UrGUPS, 2010. №3. S. 95–104. ISSN 2079-0392.
5. Nesterov V.L., Radchenko V.I., Luzina E.S. Pokazateli kachestva organizatsii obrazovatel'nogo protsessa v uchebnom zavedenii [Quality factors of educational processes organization in an educational institution] // Vestnik UrGUPS, 2010. №2. S. 66–73. ISSN 2079-0392.
6. Nesterov V.L. Innovatsionnoe razvitie kadrovogo obespecheija predpriyatij transportnogo kompleksa [Innovation development of staffing at transport complex enterprises] // Vestnik UrGUPS, 2011. №3. S. 75–82. ISSN 2079-0392.
7. Sorokina N.I. Mezhkulturnaja kommunikatsija: ot obuchenija k ucheniju [Intercultural communication: from teaching to learning] // Vestnik UrGUPS, 2011. №3. S. 83–92. ISSN 2079-0392.
8. Oskina M. N. Podgotovka prepodavatelej otraslevogo vuza k innovatsionnoj metodicheskoi rabote [Interindustry university lecturers' training for innovative method-based researches in the advanced training system] // Vestnik UrGUPS, 2013. №1 (17). S. 133–141. ISSN 2079-0392.
9. Kulikova O.V., Chuev N.P. Razvitie tvorcheskikh sposobnostej i kultury myshlenija studentov vuza pri izuchenii matematiki [Developing students' creativity and culture of thought during the study of mathematics] // Vestnik UrGUPS, 2012. №3. S. 120–128. ISSN 2079-0392.
10. Federal Law «On Education in the Russian Federation.» URL: <http://минобрнауки.рф/документы/2974/файл/1543/law/edu> (date accessed: 16.05.2013).

11. Federal State Educational Standard of (complete) general education. URL: <http://www.rg.ru> (date accessed: 25.09.2012).
12. Vysshaya shkola ekonomiki i deputaty KhMAO raznesli samuyu doroguyu Strategiyu razvitiya regiona [Higher School of Economics and deputies of Khanty-Mansiisk autonomous district smashed the most expensive strategy of development of the region] // RIA. URL: <http://ura.ru> (date accessed: 25.09.2012).
13. Obrazovatelny standart vysshey shkoly: segodnya i zavtra. [Educational standard of higher education today and tomorrow]. Monograph / General editor: V. I. Baydenko, N. A. Selezneva. — М. : Issledovatel'skiy tsentr problem kachestva podgotovki spetsialistov, 2001. — 206 p.
14. Borisova B. Zakaz na inzhenera. Kto i kak budet gotovit buduschikh tekhnarey [The order for the engineer. Who and how will train future technicians] // Russ. gaz.: Federal issue. — 2011. — № 5413 (37). — 22 February.
15. Federal Law «On Education in the Russian Federation.» URL: <http://минобрнауки.рф/документы/2974/файл/1543 / law / edu> (date accessed: 16.05.2013).
16. Borisova B. Zakaz na inzhenera. Kto i kak budet gotovit buduschikh tekhnarey [The order for the engineer. Who and how will train future technicians] // Russ. gaz.: Federal issue. — 2011. — № 5413 (37). — 22 February.
17. Rezultaty monitoringa deyatelnosti gosudarstvennykh vuzov i ikh filialov. [The results of monitoring of activities of government universities and their branches]. URL: <http://минобрнауки.рф> (date accessed: 25.09.2012).
18. Federal Law № 217-FZ of August 2, 2009. Accessed from ref. legal system «Consultant Plus».
19. Zyкова Т. Rezyume dlya Skolkova [CV for Skolkovo] // Russ. gaz.: Federal issue. — 2010. — № 5361 (282). — 14 December.
20. Federal Law № 217-FZ. of August 2, 2009 Accessed from ref. legal system «Consultant Plus».
21. Biznes prinyal vyzov (Bolee 700 kompaniy gotovy profinansirovat razrabotki vuzovskoy nauki) [Business accepted the challenge (More than 700 companies are willing to finance the development of university research)]. URL: <http://www.chuvsu.ru/> (date accessed: 25.09.2012).
22. Kalysheva E. NANO postradalo [NANO affected] // Ross. biznes-gazeta. — 2010. — № 764 (31). — 29 August.
23. Zaslavskaya O. Innovatory otdykhayut [Innovators are resting] // Ross. biznes-gazeta. — 2010. — № 742 (9). — 23 March.
24. Inozemtsev V. Innovatsii s prinuzhdeniem [Innovations with coercion] // Russ. gaz.: Federalny vypusk. — 2009. — № 4958 (134). — 27 July.
25. Inozemtsev V. Innovatsii s prinuzhdeniem [Innovations with coercion] // Russ. gaz.: Federalny vypusk. — 2009. — № 4958 (134). — 27 July.
26. Uglanov A. I. Nashe budushee. — v obedinenii s Evropoy [Our future — in union with Europe] // Argumenty nedeli. — 2010. — № 45 (235). — 17 November.
27. Federal Law «On Education in the Russian Federation.» URL: <http://минобрнауки.рф/документы/2974/файл/1543> (date accessed: 16.05.2013).
28. Federal Law «On Education in the Russian Federation.» URL: <http://минобрнауки.рф/документы/2974/файл/1543> (date accessed: 16.05.2013).
29. Final report on the results of expert work on the topical issues of socio-economic strategy of Russia to 2020 «Strategy 2020: New Growth Model — a New Social Policy». URL: <http://2020strategy.ru/documents/32710234.html> (date accessed: 18.09.2012).
30. On the formation of basic educational programs of postgraduate professional education: a letter № IB-733/12. from RF Ministry of Education of 22.06.2011 Accessed from ref. legal system «Consultant Plus».
31. Order № 1365 of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation of March 16, 2011 «On approval of the federal government requirements for the structure of the basic professional educational programs of postgraduate professional education» // Russ. gaz.: federal issue. — 2011. — № 5479. — May 17.

*Статья сдана в редакцию 15 апреля 2013 года*

*В. А. Антропов*

## **Инновации в профессиональном образовании: вопросы для дискуссии**

*V. A. Antropov*

## **Innovations in vocational education: issues for discussion**

### **Аннотация**

Активно обсуждаемые в настоящее время проблемы инноваций в профессиональном образовании затрагивают практически всех граждан России, находят свое место в известных журналах, в т. ч. и технического профиля. Это обеспечивает синергетический эффект за счет сближения позиций, взаимного признания взглядов на одну и ту же проблему, но с разных сторон, т. е. на основе междисциплинарного подхода. При этом возникает и столкновение позиций, требующих согласования, т. к. все авторы заинтересованы в одном — создании системы качественной подготовки кадров, адекватной современным вызовам системе образования.

В статье анализируется такое рассогласование позиций по проблемам инноваций в образовании, предлагаются пути достижения компромисса между педагогическим, технологическим и экономическим подходами.

Отмечается необходимость на этом пути формирования единого понятийно-категориального аппарата проблемы модернизации и инноваций на основе принятых законов России и идеологии ОСЛО, используемой странами ОЭСР.

Формулируется система действий университета, вставшего на путь инноваций и механизмы реализации.

Предлагается открыть дискуссию по проблемам инноваций на страницах журнала.

**Ключевые слова:** проблемы в образовании, инноваций в образовании, подготовка кадров, понятийно-категорийный аппарат.

### **Abstract**

Issue of innovations in vocational education being actively discussed today affect almost all population of Russia, find their place in well-known magazines, including technical ones. This provides a synergistic effect due to convergence, mutual recognition of views on the same issue, but from different standpoints, i. e. through an interdisciplinary approach. With that, a clash of positions occurs as well, which requires agreement, as all the authors are interested in one thing — creation of a high-quality training system that corresponds to the challenges of the modern education system.

The article analyzes the mismatch of positions regarding issues of innovation in education, and suggests ways to reach a compromise between the pedagogical, technological and economic approaches.

The need is shown to form on this way a unified conceptual and categorical framework for modernization and innovation issues, on the basis of the accepted laws of Russia and OSLO ideology used by OECD countries.

A system of actions of a university settling down to the course of innovation is formulated, together with the relevant implementation mechanisms.

It is proposed to open a discussion on innovation issues on the pages of the magazine.

**Keywords:** problems in education, innovation in education, training, conceptual and categorical framework.

---

Владимир Алексеевич Антропов, д-р экон. наук, профессор; кафедра «Управление в социально-экономических системах» Уральского государственного университета путей сообщения; Екатеринбург, Россия. E-mail: antrvl@list.ru.

Vladimir Alekseevich Antropov, DSc in Economics, Professor; «Frames of Society & Business Systems Management» Chair, Ural State University of Railway Transport; Ekaterinburg, Russia. E-mail: antrvl@list.ru.

Проблемы инноваций в профессиональном образовании обсуждаются сегодня на всех уровнях — теоретическом, методологическом, практическом, применительно ко всем уровням подготовки (Антропов. В. А. Проблемы модернизации и инноваций в российском профессиональном образовании, 2013). При этом активно используются такие процессные понятия, как «модернизация», «реформирование», «трансформация», зачастую считая их синонимами. Эти процессы затрагивают практически всех граждан России, так как трудно представить сегодня человека, так или иначе не вовлеченного в эту сферу. И у каждого, конечно, есть своя позиция, как нам обустроить российское профессиональное образование.

Свои взгляды на инновационные проблемы в образовании высказываются авторами не только в журналах чисто образовательного профиля, но и в экономических теоретической направленности («Журнал экономической теории», региональных («Экономика региона»), ведомственных и др.). К транспортным журналам, публикующим образовательные статьи, можно отнести, например, «Инновационный транспорт», «Вестник УрГУПС» и ряд других. В них появились даже и отдельные разделы на эту тему: «Транспортное образование», «Организация образовательного процесса».

Процесс сближения обсуждаемых сегодня, но ранее не пересекавшихся в одном номере журнала, проблем экономики, техники, технологии и образования обеспечивает синергетический эффект, взаимное признание взглядов на одну и ту же проблему, но с разных сторон, то есть на основе междисциплинарного подхода.

Поскольку высшее образование сейчас стало массовым производственным процессом и все большее количество населения России вовлекается в эту сферу, то к нему вполне применимы представления об обра-

зовательных технологиях, логистических подходах, контроле качества и других аспектах технологии подготовки кадров. Пользуясь этим инструментарием, оказывается легко выстроить педагогические технологии и управлять ими. Такой подход уже укоренился, вполне приемлем в условиях массового образования и будет активно развиваться и далее в условиях реализации нового Закона «Об образовании в Российской Федерации» и развития дистанционного образования.

Конечно, без технологий не обойтись. К сожалению, безвозвратно ушли времена сократовского подхода к обучению (Педагогика высшей школы, 2002), но у каждого преподавателя есть своя выстраданная им педагогическая технология. Чтобы быть эффективной, она должна следовать современным представлениям о законах социально-экономического развития, личностно-ориентированной, нацеленной на конечный диагностируемый результат качественной подготовки кадров. Кроме того, она должна быть инновационной в экономическом, педагогическом и психологическом смыслах. Главное условие для этого — глубокое проникновение в проблему инноваций с ее корнями, от Шумпетера, и проекция инноваций на процесс подготовки будущих конкурентоориентированных специалистов.

Вопросам инноваций в образовании посвящено довольно большое количество работ. К ним относится и работа М. Н. Оськиной «Подготовка преподавателей отраслевого вуза к инновационной методической работе в системе повышения квалификации» (Вестник УрГУПС, № 1 (17), 2013).

Ее актуальность очевидна, так как весьма мало количество случаев, когда работник технического вуза берется решать проблемы подготовки преподавателей на базе развития инновационных подходов к методической работе. Очень хотелось бы, чтобы

такая работа не оказалась единичным эпизодом для редакции журнала «Вестник УрГУПС». Чтобы поддержать этот настрой, а я еще раз подчеркну, очень важный для развития университета, я хотел бы высказать свою точку зрения не только по поводу позиций автора, но и на проблему инноваций в образовании в целом. Очень хотел бы услышать критику и в свой адрес, понимая субъективность своей позиции и право на существование других подходов.

М. Н. Оськина пишет, что «даже самые бесспорные с точки зрения необходимости и хорошо регламентированные преобразования не всегда реализуются в том объеме и качестве, который необходим, чтобы реформирование состоялось. Основная причина — человеческий фактор, люди, которые по роду своей деятельности и должны быть непосредственными участниками инновационных процессов, но сопротивляются им. В нашем случае — это профессорско-преподавательский состав (ППС) вуза».

Обидно звучит? Зачастую это верно, но кто виноват? Может, реформаторы от образования недостаточно продумали мотивационные аспекты внедрения преобразований? К тому же не следует забывать и теорию сопротивления изменениям (Колеман Д., Фармер А. Управление изменениями, 1992). Ее пока никто не отменял.

Из текста следует, что автор считает синонимами понятия «реформирование» и «инновационные процессы». Смее не согласиться с этой точкой зрения (см.: Антропов В. А. Динамика модернизационных процессов в России. Вестник УрГУПС, 2013. № 1), равно как и с другими позициями автора, касающимися понятийного аппарата, хотя свою точку зрения автор подкрепляет такими авторитетами, как И. Милославский, профессор МГУ, В. А. Слостенин, известный педагог.

Какой выход из этой ситуации? Если возможность примирения сторон? Не только примирения моих позиций и коллеги Оськиной? Есть, и сама Марина Николаевна его находит. Она пишет, что необходимы основания для отнесения тех или иных мероприятий к инновационным. Совершенно справедливо. Необходимо лишь четко сформулировать, что такое «инновация в образовании», каковы существенные признаки этого понятия. А дальше уже дело классификации инноваций по разным основаниям.

Выскажу свою — далеко не бесспорную! — точку зрения на этот счет.

Для меня «инновация» — это результат инвестирования в разработку и получение нового знания, в последующий процесс внедрения полученного нового продукта, его коммерциализация с фиксированным получением прибыли. Только рынок дает экономическую оценку идее практического использования нового знания и определяет ее последующую судьбу, быстрое внедрение в производство или забвение на долгие годы. Таким образом, под инновациями понимаются, в широком смысле, нововведения, ранее неизвестные на рынке и имеющие коммерческий эффект.

Понятие экономической инновации было разработано Й. Шумпетером в работе «The Theory of Economic Development» (1934). Шумпетер обращает внимание на следующий принципиальный момент. Новая комбинация может возникнуть только дискретным путем. Если же такая комбинация получается постепенно из старой, за счет постоянных небольших приспособлений, то она тоже может привести к экономическому росту, но это уже будет развитием в его понимании. С нашей точки зрения, в этом случае можно использовать и термины «трансформация» или «модернизация».

Говоря о понятийном аппарате в целом, можно сказать, что единой позиции в определениях поня-

тий «модернизация», «инновация», «трансформация», забытое уже «реформирование» и соотношения между ними до сих пор нет.

В этой ситуации можно взять за основу решения проблем понятийного аппарата принятый ряд поправок в Закон «О науке и государственной научно-технической политике». Закон ввел перечень ряда терминов (Медведев Ю. Сбросить маски // Российская газета: Федеральный выпуск, 2011. — № 5543 (167). В этом перечне четко определено, что такое «инновации», «инновационный проект», «инновационная инфраструктура», «инновационная деятельность».

Инновации — это введенный в употребление новый или значительно улучшенный продукт (товар, услуга) или процесс, новый метод продаж или новый организационный метод в деловой практике, организации рабочих мест или во внешних связях.

Инновационный проект — комплекс направленных на достижение экономического эффекта мероприятий по осуществлению инноваций, в том числе по коммерциализации научных и (или) научно-технических результатов.

Инновационная деятельность — деятельность (включая научную, технологическую, организационную, финансовую и коммерческую деятельность), направленная на реализацию инновационных проектов, а также на создание инновационной инфраструктуры и обеспечение ее деятельности.

Таким образом, инновация должна быть реализована на рынке или внедрена в производственный процесс, то есть должна иметь коммерческое воплощение.

Что же такое «инновация» для системы профессионального образования?

Если рассматривать инновации как собственно образовательный процесс и результат этого процесса, то следует учитывать этапы соз-

дания, освоения и распространения нововведений. С этой точки зрения можно рассматривать два вида инноваций: продуктовые и процессные.

Продуктовая инновация — выпуск новой, модифицированной или модернизированной продукции.

Процессные (технологические) инновации — освоение новой или усовершенствованной технологии по выпуску продукта.

Если говорить в целом, то можно сказать, что инновационный процесс — это процесс преобразования знаний в конечный продукт. Знания преподавателей передаются обучаемым, преобразовываются в их знания и умения, создавая и формируя конечный продукт — креативные человеческие ресурсы.

Применительно к системе профессионального образования продуктовая инновация — это подготовка и выпуск современного специалиста, то есть высококвалифицированного конкурентоспособного, умеющего ориентироваться на рынке труда, способного к переобучению, с необходимым набором профессиональных компетенций.

Новый специалист — это уникальный специалист по уникальной специальности, для прорывных направлений развития науки и техники. Его подготовка обеспечивается в ведущих вузах России (МГУ, СПбГУ, федеральных и исследовательских университетах).

Такой специалист готовится в условиях государственного заказа для его последующего использования в интересах государства. Это штучное уникальное производство. Таких специалистов готовят ведомственные транспортные университеты по целевой форме обучения.

Модернизированный специалист в таком подходе — это выпускник вуза, подготовленный в условиях его массового производства на современном оборудовании силами профессорско-преподавательского состава,

прошедшего соответствующую переподготовку.

Технологические (процессные) инновации в системе профессионального образования — это разработка, усовершенствование и использование современной технологии обучения во всех ее компонентах (целеполагание, формулировка новых законов и принципов обучения, определение содержания обучения, создание новых методов и средств образования, экспертизы качества).

Все сказанное выше основано на идеологии ОСЛЮ, используемой странами ОЭСР. Она и упомянутые поправки к закону должны быть положены в основу развития методологии, теории и практики инноваций в образовании.

Но это лишь базис. Необходимо решение многих вопросов этой сферы, часть из которых поднята в статье М. Оськиной; они сформулированы и в других публикациях. Перечислим некоторые из них, с нашей точки зрения, требующих обсуждения.

Профессиональное образование нельзя рассматривать само по себе. Сейчас это в терминах рынка прежде всего, к сожалению, образовательная услуга, и лишь потом — общественное благо. Кто покупает эту услугу? Работодатель, выдвигающий свои требования к услуге, то есть к ее качеству и своевременности доставки. Следовательно, при формулировке всех элементов системы профессионального образования нужно исходить из его заказа (функциональный подход), не сбрасывая со счетов необходимость опережающей подготовки. В какой пропорции необходимо обеспечить услугу и благо? Это вопрос государственной образовательной политики, требующий обсуждения и обоснованного ответа.

Что такое «производительность труда преподавателей» применительно к образованию, коль автор желает его повысить за счет инноваций? Я не знаю ответа на этот вопрос.

Каким образом можно сформировать «ядро» инновационных преподавателей? Что для этого нужно? С моей точки зрения, необходима разработка прежде всего модели инновационного преподавателя. Над этой проблемой мы сейчас работаем (Антропов В. А., Морозова Е. Н. Кадровая политика безопасного саморазвития социально-экономических систем // Вестник УрФУ, № 4, 2011).

Как формировать инновационных студентов? Активное внедрение в высшей школе тестирования этому не поможет. Здесь нужны современные образовательные технологии, одной из подсистем которых должна стать технология формирования умений самостоятельной работы (Антропов В. А., Туманова Т. В., Семенко И. Е. Самооценка студентами уровня сформированности навыков и умений в самостоятельной работе, 2007).

Еще один вопрос из понятийного аппарата для обсуждения. Имеет ли право на существование понятие «инновационная методическая работа»? Если да, то как определить ее инновационность?

Можно ли отнести к инновациям внедряемые ФГОСы, профстандарты, профкомпетенции, зачетные единицы? Уверен, что это всего лишь элементы модернизации, но не инновации, так как перенесены к нам из других образовательных систем. Но если это так (мнение может быть оспорено), то что тогда остается на долю российских инноваций в образовании?

Что понимает автор (М. Н. Оськина — *Авт.*) статьи под механизмами, обеспечивающими эффективность продуктивной работы, и что такое его «эффективность», какой смысл она имеет и как измеряется?

Автор предлагает мотивировать ППС к инновациям установлением зависимости его заработной платы: 1) от степени активности в области использования инноваций в учебном процессе; 2) уровня освоения им

программы повышения квалификации; 3) его фактической методической компетентности.

Эта авторская позиция — тоже предмет для обсуждения. Во-первых, нельзя сводить мотивацию только к зарплате, есть и другие варианты. Во-вторых, возникает вопрос: как измерять инновационную активность? В-третьих, как предполагается измерять уровень освоения преподавателем программы повышения квалификации и его фактическую методическую компетентность? Опять тестированием? Или есть другие механизмы?

При обсуждении этих вопросов на верное следовало бы говорить о стимулировании труда, преподавателя, а не его мотивации.

И вопрос методологического плана. Исходя из опережающей функции образования не должна ли вся система профессионального образования быть инновационной? Но не слишком ли тяжкая для нее эта ноша? Недаром столь активно проходят обсуждения всех проблем образования — от школьной формы до принятия новых законов.

Все вопросы требуют обсуждения, в том числе и на страницах научных СМИ. Зачастую авторы публикуют свои статьи «точечно». Если посмотреть перечень статей в ряде журналов, то видно, что они все аддитивны, каждая существует сама по себе, нет взаимных ссылок, оппонирования друг другу, нет живой полемики. Этой публикацией я хотел бы призвать читателей журнала к открытию дискуссионной трибуны, где оперативно печатались бы отзывы на статьи, высказывались бы другие суждения.

С моей точки зрения, вуз, желающий стать инновационным, должен все свои проблемы решать системно, а для этого пройти следующие ступени.

1. Сформулировать миссию и стратегию своего развития в аспекте инновационного аспекта развития экономики страны и своего региона

(в УрГУПС она есть; см., напр.: Сб. матер. по повышению квалификации преподавателей университета, 2005).

2. Сформулировать стратегию кадровой политики вуза (там же).

3. Разработать концепцию современной инновационной технологии образования во всех компонентах (отбор инновационного содержания образования, активное использование современных методов и средств обучения, средств контроля качества, обеспечение современной материально-технической базы вуза, оценка эффективности обучения).

4. Разработать модель инновационного преподавателя, не «светоча знаний», а тьютора, знающего современное производство.

5. Разработать систему подготовки, переподготовки и повышения квалификации преподавателей вуза по этапам: обучение в магистратуре по направлению «профессиональное обучение», обучение в аспирантуре и защита диссертации по проблемам экономики и педагогики профессионального образования, работа в качестве преподавателя, непрерывное повышение квалификации на основе разработанного плана деловой карьеры (ассистент, старший преподаватель, доцент, докторант, профессор, завкафедрой, резерв ректората).

6. Разработать модель востребованного для инновационного образовательного процесса студента как его полноправного участника и члена научного коллектива (Антропов В. А. Основы научных исследований, 2012).

7. Активно использовать систему мониторинга становления личности будущего специалиста на всех этапах обучения в вузе и профессиональной карьеры.

8. Разработать модель пространственно-временной среды обучения.

Некоторые из этих этапов нами разработаны и могут быть при необходимости использованы как в реализации, так и для дискуссии. ■

# Аспирантская тетрадь

УДК 514.75

*Е. А. Рогозинников*

## О группах автоморфизмов отображений абелевых групп в модели

UDC514.75

*E. A. Rogozinnikov*

## On automorphism groups of Abelian group maps in the model

### Аннотация

В настоящей работе исследуются отображения абелевых групп в модели, которые являются обобщением кривых на различных геометрических объектах (гладких многообразиях, метрических пространствах), а также группы автоморфизмов таких отображений. Дано описание строения групп автоморфизмов отображений абелевых групп в модели в зависимости от свойств отображений. Рассматривается важный частный случай отображений абелевых групп в модели — функции действительного аргумента, которые наиболее близки по своим свойствам к кривым. В качестве следствия выявлено строение всех возможных групп ориентированных движений кривых на гладких многообразиях (с точностью до изоморфизма).

**Ключевые слова:** абелева группа; автоморфизм; группа автоморфизмов; функция действительного аргумента.

### Abstract

The present paper addresses Abelian groups maps in the model, being generalization of the curves in various geometric objects (smooth manifolds, metric spaces), as well as automorphism groups of such maps. Description of the structure of automorphism groups of Abelian group maps in the model is provided, depending on map properties. An important special case of Abelian group maps in the model is considered — functions of a real argument that are the closest by their properties to curves. As a consequence, the structure of all possible groups of oriented curve movements on smooth manifolds is revealed (with accuracy up to isomorphism).

**Keywords:** Abelian group; automorphism, automorphism group; real argument function.

Множества возможных состояний различных эволюционирующих систем (механических систем, физических объектов, организационных структур и сетей) можно рассматривать как гладкие многообразия [1], называемые конфигурационными многообразиями изучаемых систем [2]. Непрерывная эволюция рассматриваемой системы, то есть множество ее реальных последовательных состояний, представляет собой траекторию точки на конфигурационном многообразии — то есть кривую вдоль этого многообразия. Понятие «траектория развития системы», возникшее в физике, распространено авторами в [3] на случай эволюционного развития произвольных организационных сетей [4]. Траектории преобразования и развития организационных сетей, функционирующих в стационарных внешних условиях (постоянных внешних воздействующих факторах), представляют особый интерес для изучения, поскольку такие траектории соответствуют процессам

Евгений Алексеевич Рогозинников, аспирант; кафедра алгебры и дискретной математики Уральского федерального университета; Екатеринбург, Россия. E-mail: loctbox@bk.ru.

Evgeniy A. Rogozinnikov, postgraduate student; Chair «Algebra and Discrete Mathematics», Ural Federal University; Ekaterinburg, Russia. E-mail: loctbox@bk.ru.

естественного развития сетей, происходящих самостоятельно, без взрывных внешних воздействий, форс-мажорных обстоятельств и революционных преобразований — в условиях стабильной экономики.

С математической точки зрения, кривые на различных геометрических объектах — это классический объект исследований [5–13]. Рассматривавшиеся ранее в математической литературе группы преобразований геометрических объектов являются важнейшими и классическими производными структурами, в терминах которых классифицируются геометрические объекты и исследуются их различные свойства [14].

В настоящей работе исследуются отображения абелевых групп в модели [15], поскольку модели служат обобщением указанных выше геометрических объектов, а отображения абелевых групп в модели — обобщением кривых на этих геометрических объектах. При этом группы автоморфизмов таких отображений являются обобщением групп движений и подобий кривых. В работе дано описание строения групп автоморфизмов отображений абелевых групп в модели в зависимости от свойств этих отображений. Полученное обобщение чрезвычайно продуктивно, поскольку позволяет описывать не только группы движений и подобий кривых, но и группы преобразований широкого класса других геометрических объектов. Также в работе рассматривается важный частный случай отображений абелевых групп в модели — функции действительного аргумента, которые наиболее близки по своим свойствам к кривым. В качестве следствия выявлено строение всех возможных групп ориентированных движений кривых на гладких многообразиях (с точностью до изоморфизма).

Пусть  $(X, +)$  — абелева группа,  $S$  — модель [15],  $\alpha : X \rightarrow S$  — отображение.

Положительным автоморфизмом отображения  $\alpha$  со сдвигом  $t_0 \in X$  назовем такой автоморфизм  $g \in \text{Aut}(S)$ , что  $g(\alpha(t)) = \alpha(t + t_0)$  для всех  $t \in X$ . Положительный автоморфизм отображения  $\alpha$  со сдвигом 0 назовем тривиальным. Отрицательным автоморфизмом отображения  $\alpha$  назовем автоморфизм  $f \in \text{Aut}(S)$  такой, что  $f$  не является положительным автоморфизмом  $\alpha$  и  $f(\alpha(t)) = \alpha(\phi(t))$ , где  $\phi$  удовлетворяет условиям: 1)  $\phi^2 = id$ ; 2) для любого  $t' \in X$  существует  $t'' \in X$  такой, что  $\phi(\phi(t) + t') = t + t''$  для всех  $t \in X$ . Условие 1 обеспечивает для  $f$  равенство  $f^2 = id$ , условие 2 гарантирует, что для любого положительного автоморфизма  $g$  отображения  $\alpha$  автоморфизм  $fgf$  является положительным. Отрицательный автоморфизм  $f$ , для которого  $\phi(t) = t' - t$  для некоторого  $t' \in X$ , назовем отрицательным автоморфизмом основного типа. В случае, если существует  $t_0 \in X$  такой, что  $t' \in 2t_0$ , то имеет место равенство  $\phi(t + t_0) = -t + t_0$ . В этом случае скажем, что отрицательный автоморфизм основного типа  $f$  обладает центром  $t_0$ . В частности, если  $X$  — аддитивная группа некоторого поля характеристики отличной от 2, то все отрицательные автоморфизмы основного типа отображения  $\alpha$  обладают центром. Ориентированным автоморфизмом отображения  $\alpha$  назовем его положительный или отрицательный автоморфизм.

Обозначим через  $\text{Aut}(\alpha)$  группу всех ориентированных автоморфизмов отображения  $\alpha$  и назовем ее полной группой ориентированных автоморфизмов этого отображения, а любую ее подгруппу — группой ориентированных автоморфизмов. Нормальную подгруппу всех положительных автоморфизмов отображения  $\alpha$  в группе  $\text{Aut}(\alpha)$  обозначим  $\text{Aut}^+(\alpha)$  и назовем ее полной группой положительных автоморфизмов этого отображения, а любую ее подгруппу — группой положительных автоморфизмов. Нормальную подгруппу

всех тривиальных автоморфизмов отображения  $\alpha$  в группе  $\text{Aut}(\alpha)$  обозначим  $\text{Aut}_0(\alpha)$ .

Внутренним ориентированным автоморфизмом отображения  $\alpha$  назовем элемент фактор-группы  $\text{Aut}(\alpha)/\text{Aut}_0(\alpha)$ . Группы  $\text{Aut}(\alpha)/\text{Aut}_0(\alpha)$  и  $\text{Aut}^+(\alpha)/\text{Aut}_0(\alpha)$  назовем полными группами внутренних ориентированных и соответственно положительных автоморфизмов отображения  $\alpha$ . Любую подгруппу указанных групп назовем группой внутренних ориентированных (соответственно, положительных) автоморфизмов отображения  $\alpha$ . В [11] показано, что эти группы действуют на образе отображения  $\alpha$ , поэтому их можно рассматривать как группы преобразований множества  $\alpha(X)$ . Если  $G$  — группа ориентированных автоморфизмов отображения  $\alpha$  и  $G_0$  — ее максимальная подгруппа тривиальных автоморфизмов, то фактор-группа  $G/G_0$  изоморфно вкладывается в  $\text{Aut}(\alpha)/\text{Aut}_0(\alpha)$  и, следовательно, действует на  $\alpha(X)$  изоморфно некоторой подгруппе из  $\text{Aut}(\alpha)/\text{Aut}_0(\alpha)$ .

Группу (внутренних) положительных автоморфизмов  $G$  отображения  $\alpha$  назовем транзитивной, если для любого  $t_0 \in X$  существует  $g \in G$  такой, что  $g(\alpha(t)) = \alpha(t + t_0)$  для всех  $t \in X$ . Группу (внутренних) положительных автоморфизмов  $G$  отображения  $\alpha$  назовем блочно-транзитивной с параметром  $T \in X$ , если для всех точек вида  $t_0 = kT$  ( $k \in \mathbb{Z}$ ) и только для точек такого вида существует  $g \in G$  такой, что  $g(\alpha(t)) = \alpha(t + t_0)$  для всех  $t \in X$ .

Пусть  $G$  — группа положительных автоморфизмов отображения  $\alpha$ . Для каждого  $g \in G$  рассмотрим множество всех его сдвигов

$$T_g = \{t_0 \in X \mid \forall t \in X (g(\alpha(t)) = \alpha(t + t_0))\}.$$

Рассмотрим объединение

$$X_G = \bigcup_{g \in G} T_g.$$

Очевидно, что множество  $X_G$  является подгруппой в  $X$ . Группу  $X_G$  будем называть группой сдвигов, соответствующей группе положительных автоморфизмов  $G$  отображения  $\alpha$ .

Множество

$$L = T_{id} = \{t_0 \in X \mid \forall t \in X (\alpha(t) = \alpha(t + t_0))\}$$

назовем периодом отображения  $\alpha$ , при этом, если  $L \neq \{0\}$ , то скажем, что отображение  $\alpha$  периодично с периодом  $L$ . Очевидно,  $L$  является подгруппой в  $X$ .

Пусть  $G$  — группа ориентированных автоморфизмов некоторого отображения  $\alpha$ ,  $G^+$  — ее максимальная подгруппа положительных автоморфизмов. Из определения отрицательного автоморфизма следует, что  $G^+$  нормальна в  $G$ . Все элементы группы  $G/G_0$  являются инволюциями. В [16] показано, что такая группа абелева и является линейным пространством над полем  $\mathbb{Z}_2$ . Будем обозначать такие группы  $V(\mathbb{Z}_2)$ . Если размерность пространства конечна и равна  $n$ , эта группа изоморфна  $C_2^n$ . Группу  $G/G_0$  назовем пространством отрицательных автоморфизмов отображения  $\alpha$ .

Если  $X = \mathbb{R}$ , отображение  $\alpha : \mathbb{R} \rightarrow S$  назовем функцией действительного аргумента. Этот случай полностью охватывает ситуацию, когда  $\alpha$  — кривая на гладком многообразии, в метрическом пространстве или на обобщенном многообразии, а группы автоморфизмов — группы ее движений или подобий. В этом случае используем обычное определение периодичности, то есть функцию действительного аргумента  $\alpha$  называем периодической, если существует  $L > 0$  такое, что  $\alpha(t) = \alpha(t + L)$  для всех  $t \in \mathbb{R}$ . Точную нижнюю грань множества таких  $L$  назовем периодом функции действительного аргумента  $\alpha$ .

В случае функций действительного аргумента наибольший интерес представляют такие отрицательные автоморфизмы, отображение  $\phi$  у которых является непрерывным,

поскольку в случае, если  $\alpha$  — кривая, то есть непрерывное отображение, отображение  $\alpha \circ \phi$  также должно быть непрерывным. Непрерывность  $\phi$  гарантирует непрерывность  $\alpha \circ \phi$ , а в случае, если  $\alpha$  регулярно (как кривая), является необходимым условием непрерывности  $\alpha \circ \phi$ .

Следующая теорема показывает, что только для отрицательных автоморфизмов основного типа функция  $\phi$  может являться непрерывной.

**Теорема 1.** Пусть  $S$  — модель,  $\alpha : \mathbb{R} \rightarrow S$ ,  $f$  — отрицательный автоморфизм  $\alpha$  такой, что  $f(\alpha(t)) = \alpha(\phi(t))$ , причем  $\phi$  непрерывно хотя бы в одной точке, тогда  $f$  — отрицательный автоморфизм основного типа отображения  $\alpha$ .

Таким образом, для функций действительного аргумента будем рассматривать только отрицательные автоморфизмы основного типа. В частности, поэтому в работах [6–12] для кривых на многообразиях и в аффинных пространствах определение отрицательного подобия рассматривается именно в такой форме.

Следующая теорема описывает строение групп внутренних ориентированных автоморфизмов отображений абелевых групп в модели.

**Теорема 2.** Пусть  $(X, +)$  — абелева группа,  $(S, \Sigma)$  — модель,  $\alpha : X \rightarrow S$  — отображение с периодом  $L$ ,  $G$  — группа ориентированных автоморфизмов  $\alpha$ ,  $G_0$  — максимальная подгруппа тривиальных автоморфизмов в  $G$ .

1. Пусть  $G$  — группа положительных автоморфизмов  $\alpha$ . Тогда группа внутренних положительных автоморфизмов  $G/G_0$  изоморфна  $(X_G + L)/L$  и  $X_G/(L \cap X_G)$ . В частности, если  $\alpha$  — непериодическая, то группа  $G/G_0$  изоморфна группе сдвигов  $X_G$ . Если при этом  $G$  — транзитивная, то  $G/G_0$  изоморфна  $X$ , если  $G$  — блочно-транзитивная с параметром  $T$ , то  $G/G_0$  изоморфна циклической группе  $\langle T \rangle$ ;

если  $\alpha$  — периодическая с периодом  $L \neq \{0\}$  и  $G$  — транзитивная, то  $G/G_0$  изоморфна  $X/L$ , если  $G$  — блочно-транзитивная с параметром  $T$ , то  $G/G_0$  изоморфна циклической группе  $\langle T \rangle / (L \cap \langle T \rangle)$ .

2. Если в  $G$  есть отрицательный автоморфизм, и  $G^+$  — максимальная подгруппа положительных автоморфизмов в  $G$ , то  $G/G_0 \cong (G^+/G_0) \times V(\mathbb{Z}_2)$ , причем размерность пространства  $V(\mathbb{Z}_2)$  равна размерности пространства отрицательных автоморфизмов отображения  $\alpha$ .

3. Если в  $G$  есть отрицательный автоморфизм основного типа  $a$ , то  $a(gG_0)a = g^{-1}G_0$  для всех  $g \in G^+$ .

В случае, когда  $\alpha$  — функция действительного аргумента, теорема 2 допускает уточнение.

**Теорема 3.** Пусть  $\alpha$  — функция действительного аргумента,  $G$  — ее группа ориентированных автоморфизмов,  $G_0$  — максимальная подгруппа тривиальных автоморфизмов в  $G$ .

1. Пусть  $G$  — группа положительных автоморфизмов  $\alpha$ . Тогда группа внутренних положительных автоморфизмов  $G/G_0$  является гомоморфным образом некоторой подгруппы  $(\mathbb{R}, +)$ . В частности:

если  $\alpha$  — непериодическая функция действительного аргумента, то группа  $G/G_0$  изоморфна подгруппе сдвигов  $\mathbb{R}_G$ , в частности, если  $G$  — транзитивная, то  $G/G_0$  изоморфна  $(\mathbb{R}, +)$ , если  $G$  — блочно-транзитивная, то  $G/G_0$  изоморфна  $(\mathbb{Z}, +)$ ;

если  $\alpha$  — периодическая функция действительного аргумента с периодом  $L > 0$ , то группа  $G/G_0$  изоморфна группе  $(\mathbb{R}_G + LZ)/LZ$ , в частности, если  $G$  — транзитивная, то  $G/G_0$  изоморфна  $(\mathbb{R}, +)/(\mathbb{Z}, +)$ , если  $G$  — блочно-транзитивная, и  $T$  и  $L$  соизмеримы, то  $G/G_0$  изоморфна  $\mathbb{C}_k$  для некоторого  $k$ , если  $G$  — блочно-транзитивная и  $T$  и  $L$  несоизмеримы, то  $G/G_0$  изоморфна  $(\mathbb{Z}, +)$ .

2. Если в  $G$  есть отрицательный автоморфизм и  $G^+$  — максимальная подгруппа положительных автоморфизмов в  $G$ , то  $G/G_0 \cong (G^+/G_0) \rtimes \mathbb{C}_2$ , где  $\mathbb{C}_2 = \{1, \alpha\}$ , причем  $\alpha(gG_0)\alpha = g^{-1}G_0$  для всех  $g \in G^+$ .

Теорема 3 в совокупности с результатом из [11], показывающим, что любая полная группа положительных движений кривой на многообразии является либо транзитивной, либо блочно-транзитивной, дает возможность перечислить (с точностью до изоморфизма) все возможные группы внутренних ориентированных движений кривых на многообразиях.

**Следствие 1.** Если  $G$  — полная группа движений кривой на многообразии,  $G_0$  — максимальная подгруппа тривиальных автоморфизмов в  $G$ , то группа  $G/G_0$  изоморфна одной из следующих групп:

1.  $(\mathbb{Z}, +)$  — бесконечная циклическая группа;
2.  $\mathbb{C}_n$  — конечные циклические группы ( $n \in \mathbb{N}$ );
3.  $(\mathbb{R}, +)$  — группа вещественных чисел по сложению;
4.  $(\mathbb{R}, +)/(\mathbb{Z}, +)$  — группа поворотов окружности;
5.  $(\mathbb{Z}, +) \rtimes \mathbb{C}_2$ ;
6.  $\mathbb{C}_n \rtimes \mathbb{C}_2$  — группы диэдра ( $n \in \mathbb{N}$ );
7.  $(\mathbb{R}, +) \rtimes \mathbb{C}_2$  — группа движений прямой;
8.  $(\mathbb{R}, +)/(\mathbb{Z}, +) \rtimes \mathbb{C}_2$  — группа движений окружности.

Отображения абелевых групп в модели являются естественным обобщением кривых на многообразиях, в метрических и топологических пространствах. Однако с их помощью можно описывать также группы преобразований других геометрических объектов.

**Пример 1.** Рассмотрим двумерную решетку, базисные векторы которой  $\vec{a}$  и  $\vec{b}$  не ортогональны и имеют различную длину (рис. 1).

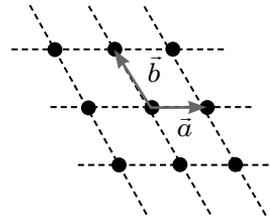


Рис. 1

Такая решетка является образом отображения  $\alpha$  группы  $\mathbb{Z}^2$  в плоскость по правилу  $\alpha(n, m) = n\vec{a} + m\vec{b}$ . В качестве автоморфизмов будем рассматривать движения евклидовой плоскости. Найдем полную группу ориентированных автоморфизмов  $G$  отображения  $\alpha$ .

Отображение  $\alpha$  обладает транзитивной группой положительных автоморфизмов  $G^+$  и отрицательными автоморфизмами только основного типа. Следовательно, пространство отрицательных автоморфизмов  $\alpha$  одномерно, и по теореме 2 ее полная группа ориентированных автоморфизмов изоморфна  $\mathbb{Z}^2 \rtimes \mathbb{C}_2$ . Группа  $\mathbb{Z}^2$  действует на решетке сдвигами вдоль векторов  $\vec{a}$  и  $\vec{b}$ , порождающий элемент группы  $\mathbb{C}_2$  отражает решетку относительно одного из ее узлов. Полученная группа является полной группой движений этой решетки.

В случае, если длины векторов  $\vec{a}$  и  $\vec{b}$  равны, в пространстве отрицательных автоморфизмов решетки появляется второй линейно независимый элемент, являющийся образом при естественном гомоморфизме  $G$  в  $G/G^+$  автоморфизма, который меняет местами векторы  $\vec{a}$  и  $\vec{b}$ , то есть отражает решетку относительно прямой  $\{(\vec{a} + \vec{b})t \mid t \in \mathbb{R}\}$ . Таким образом, пространство отрицательных автоморфизмов является двумерным и, по теореме 2, ее полной группой ориентированных автоморфизмов является группа  $\mathbb{Z}^2 \rtimes \mathbb{C}_2^2$ .

**Пример 2.** Рассмотрим двумерную кристаллическую решетку, состоящую из чередующихся атомов двух сортов, базисные векторы  $\vec{a}$  и  $\vec{b}$  которой не ортогональны и имеют различную длину (рис. 2).

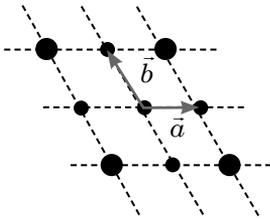


Рис. 2

Такая решетка является образом отображения  $\alpha$  группы  $\mathbb{Z}^2$  в плоскость по правилу  $\alpha(n, m) = n\vec{a} + m\vec{b}$ . В качестве автоморфизмов будем рассматривать движения евклидовой плоскости. Чтобы учесть различность атомов, будем рассматривать не все возможные ориентированные автоморфизмы такого отображения, а только те, которые переводят однотипные атомы друг в друга. Найдем группу всех ориентированных автоморфизмов  $G$  отображения  $\alpha$ , которые обладают указанным свойством.

Подгруппа всех положительных автоморфизмов  $G^+$  группы  $G$  обладает группой сдвигов  $X_G$ , которая порождается элементами  $(1, 1)$  и  $(2, 0)$ . Все отрицательные автоморфизмы группы  $G$  являются отрицательными автоморфизмами основного типа. Следовательно, пространство отрицательных автоморфизмов  $\alpha$  одномерно, и по теореме 2 группа  $G$  изоморфна  $\mathbb{Z}^2 \rtimes \mathbb{C}_2$ . Группа  $\mathbb{Z}^2$  действует на решетке сдвигами вдоль векторов  $\vec{a} + \vec{b}$  и  $2\vec{a}$ , порождающий элемент группы  $\mathbb{C}_2$  отражает решетку относительно одного из ее узлов. Полученная группа является полной группой движений этой решетки.

В случае, если длины векторов  $\vec{a}$  и  $\vec{b}$  равны, рассуждая аналогично примеру 1, получаем, что группа движений решетки изоморфна  $\mathbb{Z}^2 \rtimes \mathbb{C}_2$ .

**Пример 3.** Рассмотрим отображение  $f: \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}^3$ , действующее по правилу  $f(l, t) = (\cos t, \sin t, l)$ . Образом этого отображения является цилиндр. В качестве автоморфизмов рассмотрим движения евклидового пространства  $\mathbb{R}^3$ . Найдем полную группу ориентированных автоморфизмов  $G$  отображения  $f$ .

Отображение  $f$  обладает транзитивной группой положительных автоморфизмов  $G^+$ , кроме того, это отображение является периодическим с периодом  $L = \langle (0, 2\pi) \rangle$ . Пространство отрицательных автоморфизмов этого отображения  $f$  двумерно, его базисом служат образы таких автоморфизмов (при естественном гомоморфизме  $G$  в  $G/G^+$ ):

- отражение относительно плоскости, проходящей через ось цилиндра;
- отражение относительно плоскости, ортогональной оси цилиндра.

По теореме 2 полная группа ориентированных автоморфизмов такого отображения изоморфна  $(\mathbb{R}^2 / (0, 2\pi)) \rtimes \mathbb{C}_2^2$ , которая изоморфна  $(\mathbb{R} \times T) \rtimes \mathbb{C}_2^2$ , где  $T$  — группа поворотов окружности. Группа  $\mathbb{R}$  действует сдвигами вдоль оси цилиндра,  $T$  действует поворотами вокруг оси, два порождающих элемента  $\mathbb{C}_2^2$  действуют как описанные выше прообразы базисных элементов пространства отрицательных автоморфизмов. Полученная группа совпадает с группой всех движений цилиндра.

**Пример 4.** Рассмотрим отображение  $f: \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}^4$ , действующее по правилу  $f(u, v) = (\cos u, \sin u, \cos v, \sin v)$ . Образом этого отображения является тор. В качестве автоморфизмов рассмотрим движения евклидового пространства  $\mathbb{R}^4$ . Найдем полную группу ориентированных автоморфизмов  $G$  отображения  $f$ .

Отображение  $f$  обладает транзитивной группой положительных автоморфизмов  $G^+$ , автоморфизмы которой задаются матрицами

$$\begin{pmatrix} \cos u & \sin u & 0 & 0 \\ -\sin u & \cos u & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \cos v & \sin v \\ 0 & 0 & -\sin v & \cos v \end{pmatrix}$$

для всех  $u, v \in \mathbb{R}$ . Кроме того, это отображение является периодическим с периодом  $L = \langle (2\pi, 0), (0, 2\pi) \rangle$ . Пространство отрицательных автоморфизмов этого отображения  $f$  трехмерно, его базисом являются образы следующих автоморфизмов (при естественном гомоморфизме  $G$  в  $G/G^+$ ):

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

По теореме 2 полная группа ориентированных автоморфизмов такого отображения изоморфна  $\mathbb{R}^2 / \langle (2\pi, 0), (0, 2\pi) \rangle \rtimes \mathbb{C}_2^3$ , которая изоморфна  $T^2 \rtimes \mathbb{C}_2^3$ , где  $T$  — группа поворотов окружности. Полученная группа совпадает с группой всех движений тора.

Далее приведем доказательства всех сформулированных результатов.

Доказательство теоремы 1. Поскольку в определении отрицательного автоморфизма  $t''$  зависит только от  $t'$ , обозначим  $t'' = l(t')$ . Тогда  $l(t') = \phi(\phi(t) + t') - t$ , то есть  $l$  — биективное отображение, определенное на  $\mathbb{R}$  и непрерывное хотя бы в одной точке. Кроме того,  $l(0) = \phi(\phi(t)) - t = 0$ . Отсюда, подставив  $t = 0$ , имеем  $\phi(l(t')) = \phi(0) + t'$ . Пусть  $t' = l^{-1}(t)$ , тогда

$\phi(t) = \phi(0) + l^{-1}(t)$ . Подставляем это выражение в равенство

$$\phi(t) + t' = \phi(t + l(t')),$$

получаем

$$\phi(0) + l^{-1}(t) + t' = \phi(0) + l^{-1}(t + l(t')).$$

Заменяя  $t'$  на  $l^{-1}(u)$  для некоторого  $u$ , имеем

$$l^{-1}(t) + l^{-1}(u) = l^{-1}(t + u).$$

В силу биективности  $l$  числа  $t$  и  $u$  принимают любые вещественные значения. Таким образом,  $l^{-1}$  линейная, следовательно,  $l$  также линейная и непрерывная хотя бы в одной точке, отсюда  $l(t) = kt$  и  $k \neq 0$ , так как  $l$  биективна.

$$\begin{aligned} t &= \phi^2(t) = \phi(\phi(0) + l^{-1}(t)) = \\ &= \phi(0) + l^{-1}(\phi(0) + l^{-1}(t)) = \\ &= \phi(0) + k^{-1}(\phi(0) + k^{-1}t) = \\ &= \phi(0) + k^{-1}\phi(0) + k^{-2}t. \end{aligned}$$

Отсюда  $k^2 = 1$ , то есть  $k = \pm 1$  и  $\phi(t) = \phi(0) + kt$ . Но  $k = 1$  не удовлетворяет условию, так как  $f$  не является положительным автоморфизмом. Следовательно,  $\phi(t) = \phi(0) - t$ , где  $\phi(0)$  некоторое фиксированное вещественное число, то есть  $f$  — отрицательный автоморфизм основного типа. Теорема доказана.

Доказательство теоремы 2. Пусть сначала  $G$  — группа положительных автоморфизмов отображения  $\alpha$ . Рассмотрим отображение  $\phi : X_G \rightarrow G/G_0$ , действующее по правилу  $\phi(t_0) = gG_0$ , где  $g$  — любой элемент из  $G$ , сдвигом которого является  $t_0$ . Поскольку все элементы с одинаковыми сдвигами попадают в один смежный класс по  $G_0$ , такое отображение корректно. Кроме того, это отображение сюръективно и является гомоморфизмом. Действительно, если  $t_1$  и  $t_2$  — сдвиги элементов  $g_1$  и  $g_2$  соответственно, тогда сдвиг элемента  $g_1g_2$  равен  $t_1 + t_2$ . Отсюда

$$\begin{aligned}\phi(t_1 + t_2) &= g_1 g_2 G_0 = \\ &= g_1 G_0 g_2 G_0 = \phi(t_1) \phi(t_2).\end{aligned}$$

Таким образом, любая группа внутренних положительных автоморфизмов отображения  $\alpha$  является гомоморфным образом некоторой подгруппы  $X$ .

Рассмотрим ядро гомоморфизма  $\phi$ .

$$\begin{aligned}\text{Ker}(\phi) &= \{t_0 \in X_G \mid \phi(t_0) = G_0\} = \\ &= \{t_0 \in X_G \mid \alpha(t + t_0) = \alpha(t)\} = L \cap X_G.\end{aligned}$$

Отсюда по теореме о гомоморфизмах [15]

$$G/G_0 \cong X_G / (L \cap X_G).$$

Но

$$X_G / (L \cap X_G) \cong (X_G + L) / L \leq X / L.$$

В частности, если  $G$  — транзитивная, то  $X_G = X$ , и  $G/G_0 \cong X/L$ . Если  $G$  — блочно-транзитивная, то  $X_G = T = \{kT \mid k \in \mathbb{Z}\}$  — циклическая подгруппа  $X$ . Отсюда  $G/G_0 \cong \langle T \rangle / (L \cap \langle T \rangle)$ . Если  $\alpha$  — непериодическая, то  $L = \{0\}$ , и  $G/G_0$  изоморфна  $X_G$ .

Пусть теперь  $G$  — группа ориентированных автоморфизмов отображения  $\alpha$ ,  $G^+$  — ее максимальная подгруппа положительных автоморфизмов, причем  $G^+ \neq G$ . Покажем, что  $G/G_0 \cong (G^+ / G_0) \rtimes V(\mathbb{Z}_2)$ . Воспользуемся известным критерием разложения группы в полупрямое произведение [16].

Группа  $G$  изоморфна полупрямому произведению группы  $A$  на группу  $B$  тогда и только тогда, когда существуют  $U, V \leq G$  такие, что:

$$1. A \cong U \trianglelefteq G, B \cong V;$$

$$2. G = UV; \quad 3. U \cap V = 1.$$

В качестве группы  $U$  возьмем подгруппу положительных автоморфизмов  $G^+ / G_0$  из  $G/G_0$ . Поскольку группа  $G^+ / G_0$  является линейным пространством над  $\mathbb{Z}_2$ , зафиксируем в ней базис и рассмотрим в  $G/G_0$  некоторый

прообраз этого базиса. Порожденную этим прообразом в  $G/G_0$  подгруппу возьмем в качестве  $V$ .

Условие 1 выполнено. Условие 3 также выполнено, так как любая конечная сумма базисных элементов не обращается в нуль и, следовательно, любой ее прообраз является отрицательным автоморфизмом. Проверим условие 2. Рассмотрим  $g \in G/G_0$ , если  $g$  — положительный, то  $g \in U$ . Если  $g$  — отрицательный, то рассмотрим в  $V$  элемент  $g'$  такой, что  $gG^+ = g'G^+$ . Такой элемент всегда есть, поскольку  $V$  содержит прообраз базиса  $G/G^+$  и, следовательно, некоторые прообразы всех элементов из  $G/G^+$ . Тогда  $g = g'g''$  для некоторого  $g'' \in U$ . Таким образом, по критерию  $G/G_0 \cong (G^+ / G_0) \rtimes V(\mathbb{Z}_2)$ .

Пусть теперь  $\alpha$  — отрицательный автоморфизм основного типа отображения  $\alpha$ . Уточним, каким образом он действует на  $G/G^+$ . Пусть  $g$  — положительный автоморфизм отображения  $\alpha$  со сдвигом  $t_1$ , тогда

$$\begin{aligned}\alpha(gG_0)\alpha(\alpha(t)) &= hG_0 g G_0 hG_0(\alpha(t)) = \\ &= hG_0 g G_0(\alpha(t' - t)) = hG_0(\alpha(t' - t + t_1)) = \\ &= \alpha(t' - (t' - t + t_1)) = \alpha(t - t_1) = g^{-1}G_0(\alpha(t)).\end{aligned}$$

Поскольку элементы, одинаково действующие на образе отображения  $\alpha$ , попадают в один смежный класс по  $G_0$ , имеем  $\alpha(gG_0)\alpha = g^{-1}G_0$ . Теорема доказана.

Для доказательства теоремы 3 нам потребуется лемма.

**Лемма 1.** Если функция действительного аргумента  $\alpha$  имеет период  $L > 0$ , то

$$\{x \in \mathbb{R} \mid \alpha(t) = \alpha(t + x), t \in \mathbb{R}\} = LZ.$$

Доказательство. Покажем, что  $\alpha(t) = \alpha(t + L)$  для всех  $t \in \mathbb{R}$ . Действительно, если это не так, то существует строго монотонно убывающая последовательность  $\{L_i\}$  со свойством  $\alpha(t) = \alpha(t + L_i)$ , сходящаяся к  $L$ . Но тогда последовательность

$x_i = L_i - L_{i+1} > 0$  и сходится к нулю, причем  $\alpha(t + x_i) = \alpha(t)$ . Взяв  $x_i < L$ , получаем противоречие с тем, что  $L$  — период.

Покажем, что

$$\{x \in \mathbb{R} \mid \alpha(t) = \alpha(t + x), t \in \mathbb{R}\} = LZ.$$

Очевидно, что

$$LZ \subseteq \{x \in \mathbb{R} \mid \alpha(t) = \alpha(t + x), t \in \mathbb{R}\}.$$

Обратно, пусть  $x \in \mathbb{R}$  такой, что  $\alpha(t) = \alpha(t + x)$  для всех  $t \in \mathbb{R}$ . Существуют  $k \in \mathbb{Z}$  и  $0 \leq u < L$  такие, что  $x = kL + u$ . Отсюда  $\alpha(t + x) = \alpha(t + u) = \alpha(t)$ . Но  $0 \leq u < L$ , следовательно,  $u = 0$ ,

то есть

$$\{x \in \mathbb{R} \mid \alpha(t) = \alpha(t + x), t \in \mathbb{R}\} \subseteq LZ.$$

Лемма доказана.

Теперь доказательство теоремы 3 полностью следует из теоремы 2 и леммы 1, учитывая, что в случае  $X = \mathbb{R}$  имеет место  $\langle T \rangle = T\mathbb{Z} \cong \mathbb{Z}$ . Уточнения в п.1 теоремы 3 следуют из того, что если  $T$  и  $L$  соизмеримы, то  $LZ \cap T\mathbb{Z} \neq \{0\}$  и, следовательно,  $LZ \cap T\mathbb{Z} = kT\mathbb{Z}$  для некоторого  $k \in \mathbb{Z}$ . Если же  $T$  и  $L$  несоизмеримы, то  $LZ \cap T\mathbb{Z} = \{0\}$  и  $T\mathbb{Z}/(LZ \cap T\mathbb{Z}) = T\mathbb{Z} \cong \mathbb{Z}$ . ■

### Литература

1. Дубровин Б. А., Новиков С. П., Фоменко А. Т. Современная геометрия: методы и приложения. М. : Наука, 1979. 760 с.
2. Борисович Ю. Г., Близняков Н. М., Израилевич Я. И., Фоменко Т. Н. Введение в топологию. М. : Высш. школа, 1980. 295 с.
3. Сизый С. В. Траектории развития организационных сетей. Принцип наименьшего действия. // ВИНТИ РАН : Транспорт, наука, техника, управление, 2010. № 5. С. 19–34. ISSN 0236-1914.
4. Сай В. М., Сизый С. В. Организационные структуры как мультиоператорные сети. Задачи прочности и устойчивости. // Транспорт Урала, 2009. № 2 (21). С. 5–9. ISSN 1815-9400.
5. Аминов Ю. А. Дифференциальная геометрия и топология кривых. М. : Наука, 1987. 160 с.
6. Рогозинников Е. А. Геометрия обобщенных многообразий. Кривые на обобщенных многообразиях, их группы движений и подобий / Уральский гос. ун-т. Деп. в ВИНТИ 05.10.2010, № 570-B2010. 39 с.
7. Рогозинников Е. А. Группы преобразований отображений и определяемость кривых группами преобразований / Уральский гос. ун-т. Деп. в ВИНТИ 18.02.2011, № 74-B2011. 26 с.
8. Рогозинников Е. А. О связи геометрических свойств кривых со свойствами их групп движений // Труды Ин-та математики и механики УрО РАН. 2010. № 3. С. 227–233. ISSN 0134-4889.
9. Рогозинников Е. А. О возможности построения кривой по заданной группе гомеоморфизмов. // Труды Ин-та математики и механики УрО РАН. 2012. № 3. С. 218–229. ISSN 1034-4889.
10. Рогозинников Е. А. Группы движений кривых с постоянными и периодическими кривизнами. // Вестник УрГУПС, 2011. № 2 (10). С. 65–72. ISSN 2079-0392.
11. Рогозинников Е. А. Группы преобразований кривых. Кривые вдоль многообразий и их обобщения. LAP LAMBERT Academic Publishing, 2011. 104 с. ISBN 978-3-8443-5040-1.
12. Сизый С. В., Рогозинников Е. А. О группах движений кривых на многообразиях. // Вестник УрГУПС, 2010. № 2 (6). С. 47–56. ISSN 2079-0392.
13. Сизый С. В. Лекции по дифференциальной геометрии. М. : Наука, 2007, 376 с. ISBN 978-5-9221-0742-6.
14. Розов Н. Х. Феликс Клейн и его эрлангенская программа // Математическое просвещение, МЦНМО. 1999. Т. 3. С. 49–55.
15. Мальцев А. И. Алгебраические системы. М. : Наука, 1970. 392 с.
16. Кондратьев А. С. Группы и алгебры Ли. Екатеринбург : УрО РАН, 2009. 310 с. ISBN 978-5-7691-2111-1.

## References

1. Dubrovin B. A., Novikov S. P., Fomenko A. T. *Sovremennaya geometriya: metody i prilozheniya*. [Modern Geometry: Methods and Applications.] M. : Nauka, 1979. 760 p.
2. Borisovich Yu. G., Bliznyakov N. M., Izrailevich Ya. I., Fomenko T. N. *Vvedenie v topologiyu*. [Introduction to Topology. M. : Vyssh. shkola, 1980. 295 p.
3. Siziy S. V. *Traektorii razvitiya organizatsionnykh setey. Printsip naimenshego deystviya*. [Trajectories of organizational network development. The principle of least action] // VINITI RAS : Transport, nauka, tekhnika, upravlenie, 2010. № 5. p. 19–34. ISSN 0236-1914.
4. Say V. M., Siziy S. V. *Organizatsionnye struktury kak multioperatornye seti. Zadachi prochnosti i ustoychivosti*. [Organizational structure as multi-operator networks. Objectives of strength and stability] // Transport of the Urals, 2009. № 2 (21). p. 5–9. ISSN 1815-9400.
5. Aminov Yu. A. *Differentsialnaya geometriya i topologiya krivyykh*. [Differential geometry and topology of curves]. M. : Nauka, 1987. 160 p.
6. Rogozinnikov E. A. *Geometriya obobshchennykh mnogoobraziy. Krivye na obobshchennykh mnogoobraziyakh, ikh gruppy dvizheniy i podobiya* [Geometry of generalized manifolds, their movements and similarities groups] / Ural State University, Dep. v VINITI 05.10.2010, № 570-V2010. 39 p.
7. Rogozinnikov E. A. *Gruppy preobrazovaniy otobrazheniy i opredelyaemost krivyykh gruppami preobrazovaniy*. [Groups of mapping transformations and determination of curves through transformation groups] / Ural State University, Dep. v VINITI 18.02.2011, № 74-V2011. 26 p.
8. Rogozinnikov E. A. *O svyazi geometricheskikh svoystv krivyykh so svoystvami ikh grupp dvizheniy*. [On the relationship between geometric properties of curves with the properties of their motion groups] // Proceedings of the Institute of Mathematics and Mechanics, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. 2010. № 3. P. 227–233. ISSN 0134-4889.
9. Rogozinnikov E. A. *O vozmozhnosti postroeniya krivoy po zadannoy grupe gomeomorfizmov*. [On the possibility of constructing a curve using a given group of homeomorphisms] // Proceedings of the Institute of Mathematics and Mechanics, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. 2012. № 3. P. 218–229. ISSN 1034-4889.
10. Rogozinnikov E. A. *Gruppy dvizheniy krivyykh s postoyannymi i periodicheskimi kriviznami*. [Curve motion groups with constant and periodic curvatures] // USURT Herald, 2011. № 2 (10). P. 65–72. ISSN 2079-0392.
11. Rogozinnikov E. A. *Gruppy preobrazovaniy krivyykh. Krivye vdol mnogoobraziy i ikh obobshcheniya*. [Curve transformation groups. The curves along manifolds and their generalizations.] LAP LAMBERT Academic Publishing, 2011. 104 p. ISBN 978-3-8443-5040-1.
12. Siziy S. V., Rogozinnikov E. A. *O gruppakh dvizheniy krivyykh na mnogoobraziyakh*. [On curve motion groups on manifolds] // USURT Herald, 2010. № 2 (6). P. 47–56. ISSN 2079-0392.
13. Siziy S. V. *Lektsii po differentsialnoy geometrii*. [Lectures on differential geometry] M. : Nauka, 2007, 376 p. ISBN 978-5-9221-0742-6.
14. Rozov N. Kh. *Feliks Kleyn i ego erlangenskaya programma*. [Klein and his Erlangen program] // Matematicheskoe prosvetshenie, MCNMO. 1999. Vol. 3. P. 49–55.
15. Maltsev A. I. *Algebraicheskie sistemy*. [Algebraic systems] M. : Nauka, 1970. 392 p.
16. Kondratev A. S. *Gruppy i algebrы Li*. [Groups and Lie algebra]. Ekaterinburg : UB RAS, 2009. 310 c. ISBN 978-5-7691-2111-1.

*Статья сдана в редакцию 18 апреля 2013 года*

УДК 338.12

А. А. Гусев

## Проблема формирования адаптивных систем управления в условиях перехода к шестому технологическому укладу

UDC 338.12

A. A. Gusev

## Problems of formation of adaptive management systems in the context of transition to the sixth technological order

### Аннотация

Рассмотрена эволюция исторически сложившихся типов управления в системе долгосрочных экономических циклов и соответствующих процессов в производстве, экономической теории, управленческой науке. Экономическая периодизация детерминирована факторами технологического развития, что определяет взаимосвязь доминирующего технологического уклада и соответствующего экономического цикла, а также коэволюцию социально-экономических и технологических факторов общественного развития.

Переход к шестому технологическому укладу предполагает формирование и внедрение адаптивных систем управления, что сопряжено с проектированием организации как целевого объединения ресурсов и инфраструктуры протекающих управленческих процессов. Самоорганизация и саморазвитие — необратимые процессы, проявляющиеся в кооперативном взаимодействии элементов системы или подсистем и формировании эффективных с позиции системы структур. Представлена классификация адаптивных систем управления, предложена авторская модель их соотношения и взаимодействия. Рассмотрена концепция адаптивного управления в системе кибернетического и синергетического подхода к системам управления.

**Ключевые слова:** технологический уклад; К-цикл; адаптивная система; самонастройка; самоорганизация; саморегулирование; саморазвитие самообучение; программное управление; регулирование; адаптивное управление (авторегулирование).

### Abstract

The evolution of historical types of management is examined in the context of long-term economic cycle system and the relevant processes in industry, economic theory, management science. Economic periodization is determined by technological development factors, thus determining the relationship between the dominant technological system and the related economic cycle, as well as co-evolution of socio-economic and technological factors of social development.

The transition to the sixth technological order involves the formation and implementation of adaptive management systems, which is associated with design of the organization as a target pool of resources and infrastructure of the occurring management processes. Self-organization and self-development are irreversible processes, manifested in the cooperative interaction of components of the system or subsystems and development of structures effective from the perspective of system. The classification of adaptive control systems is presented, the author's model of their relationship and interaction is proposed. The concept of adaptive management in cybernetic and synergistic approach to management systems is reviewed.

**Keywords:** technological order, K-cycle, adaptive system, self-tuning, self-organization, self-regulation, self-development, self-education, program management, control, adaptive management (self-regulation).

Александр Андреевич Гусев, аспирант; кафедра «Управление в социальных и экономических системах» Уральского государственного университета путей сообщения; Екатеринбург, Россия. E-mail: gusev-aleksandr@mail.ru.

Alexander A. Gusev, postgraduate student, Chair «Management in Social and Economic Systems», Ural State University of Railway Transport; Ekaterinburg, Russia. E-mail: gusev-aleksandr@mail.ru.

Среди основных тенденций последней четверти XX века и начала нового столетия следует выделить: рост подвижности и неопределенности внешней среды, усиление зависимости организации от внешних факторов и условий; в сфере структурных преобразований предприятий — распространение структур сетевого типа и постепенный отказ от жестких иерархических систем; повышение роли знаний как работника, так и организации в целом, увеличение роли человеческого фактора. На сегодняшний день преобладают инновационный потенциал, способность порождать более эффективные стратегии и постоянно развивать компанию, обновляя ее структуру и ключевые бизнес-процессы в ответ на вызовы внешней среды.

Нами предпринята попытка определить доминирующий тип хозяйственного управления в циклическом социально-экономическом развитии общества и оценить влияние последнего на потребности модификации систем управления различных уровней и перспективы перехода к новой стадии понимания сущности процессов управления и их специфики. Это выразилось в разработке нами классификации типов хозяйственного управления и корреляции системы типов хозяйственного управления с системой технологических укладов.

Социально-экономические процессы в обществе в высокой степени определяются сменой технологических укладов, обусловленных внедрением базисных инноваций. Технологический уклад рассматривается как совокупность технологий, характерных для определенного уровня развития производства [1, 2]; в связи с научным и технико-технологическим прогрессом происходит переход от более низких укладов к более высоким, прогрессивным.

Эволюция исторически сложившихся типов управления, предопределяет подход к выбору основных требований к руководителю в систе-

ме долгосрочных экономических циклов и соответствующих процессов в производстве, экономической теории, управленческой науке. Экономическая периодизация длинных волн высокодетерминирована факторами технологического развития, производственной организации, экономической конъюнктуры. Отметим, что общепризнанным подходом к периодизации длинных экономических циклов в современной экономической теории является концепция Н. Д. Кондратьева. Модель экономических К-циклов Кондратьева и концепция технологических циклов являются на сегодняшний день фундаментальным теоретическим инструментарием для анализа периодичности в социально-экономических системах, определяя эволюцию фаз развития экономики и протекания экономических процессов.

Анализ трудов по истории экономических учений, смене технологических укладов, теории управления социально-экономическими системами [3–6] позволил представить в обобщенном виде цикличность развития социально-экономических отношений (таблица).

Хозяйственное управление, являющееся специфическим типом социального, функционирует в сфере социально-экономических отношений и сформировано в связи с необходимостью координации производственной деятельности людей. Данный тип управления направлен на решение двух принципиальных задач: а) тактической, предполагающей обеспечение условий текущей деятельности организации, поддержание равновесия системы (между элементами организации, между организацией и внешней средой), обеспечение функционирования организации в целом и ее подсистем и б) стратегической, предполагающей развитие организации, адекватный переход в иное состояние с иными качественными и количественными параметрами.

Эволюция типов хозяйственного управления в циклическом развитии общества

Технологический уклад	1-й	2-й	3-й	4-й	5-й	6-й
Период	1785–1835	1830–1890	1880–1940	1930–1990	1985–2035	
К-цикл	1803–1841/1843	1844/1851–1890/1996	1891/1896–1945/1947	1945/1947–1981/1983	1981/1983–2018	2018–2060
Технологии	1803–1841/1843 Новые технологии в текстильной промышленности, энергии воды	1844/1851–1890/1996 Ускоренное развитие транспорта, паровой двигатель, угледобыча, черная металлургия	1890/1896–1939/1950 Электроэнергетика, тяжелое машиностроение, неорганическая химия, производство стали, радио связь, телеграф, автомобилестроение	1939/1950–1984/1991 Машиностроение, нефтепереработка, двигатель внутреннего сгорания, массовое использование машин, товаров наров народного потребления, появление компьютеров, военный и мирный атом	1984/1991–? Электроника, робототехника, биотехнологии, гения инженерия, спутниковая связь, освоение космического пространства, полимеры, вычислительные, лазерные и телекоммуникационные технологии	1984/1991–? Возможна NBIC-конвергенция (конвергенция нано-, био-, информационных и когнитивных технологий) Возможна технологическая сингулярность (после 2035–2060 гг.)
Производственные процессы	Механизация и централизация производства	Рост масштабов производства	Гибкость и стандартизация. Господство монополий, картели, тресты, синдикаты. Централизация финансового и банковского капитала	Массовое производство серий Олигополистическая конкуренция ТНК, прямые инвестиции	ТНК и малый бизнес. Сетевая организация крупного и мелкого бизнеса. Социальная ответственность бизнеса	Индивидуализация производства и потребления
Экономическая теория и экономические учения	Политэкономия, меркантилизм, школа физиократов, антропоцентризм	Марксизм, идеология контроля труда	Концепции экономической рациональности и полезности, неоклассицизм, маржинализм	Традиционалистический и пражской институционализм. Теория человеческого капитала	Теории собственности и общественного выбора. Новая экономика (глобальная конкуренция, потеря уникальности (комодитация), инновационность, интернет-технологии, знания)	Ключевое значение и относительная доступность информации и знаний
Развитие управленческой науки		Рациональность системы менеджмента (административный подход, теория бюрократической организации). Научное управление (организация и нормирование труда)	Рациональность системы менеджмента (административный подход, эмпирическая школа, теория бюрократической организации). Научное управление (организация и нормирование труда)	Количественный, системный и ситуационный подходы. Социальная и эмпирическая школы. Школа человеческих отношений, теории мотивации, управление конфликтами. Концепция управления по целям.	Синергетический подход, плоские структуры управления. Управление человеческими ресурсами (стратегическая направленность, индивидуализация, адаптированная организационная культура, инвестиции в компетенции)	Децентрализация управления и принятия решений, снижение значимости организационной иерархии и повышение самоуправления. Индивидуализация работы исполнителей. Управление, основанное на лидерстве
Тип хозяйственного управления	Предпринимательское управление	Предпринимательское	Менеджерское управление	Системное управление	Системное управление	Адаптивное управление

Традиционное управление было свойственно докапиталистической эпохе, оно покоилось на обычаях, слабо регламентировалось правилами и процедурами, не имело правовых основ функционирования [7]. Управленческие функции осуществлялись главами патриархальных семейств, мастерами и т.п. на основе личной власти. Проведенное нами исследование коэволюции представленных тенденций позволяет утверждать, что первому и второму технологическим укладам соответствует предпринимательское управление, возникшее в эпоху зарождения капитализма, которое осуществлялось собственником по отношению к наемным работникам. Как и традиционное, оно слабо регламентировалось.

В индустриальную эпоху возникло менеджерское управление (третий и четвертый технологические уклады), предполагающее отделенность от собственности и осуществляющееся специально подготовленными и обученными управленцами, образующими иерархию. На ее высших уровнях принимаются общие решения, проводится стратегическое управление, а на низовых — руководство людьми и функциональными процессами. Предполагается, что в постиндустриальную эпоху менеджерское управление сменится системным, в котором участвуют не только менеджеры, но и специалисты, а также частично другие служащие [7]. На основе такого подхода строится философия всеобщего управления качеством (TQM). Исходя из нашей классификации системное управление в большей степени характерно для пятого технологического уклада.

В информационную эпоху в рамках парадигмы системного управления будут развиваться процессы самоорганизации и адаптивного управления, что характерно для углубления тенденций пятого технологического уклада и, в перспективе, при переходе к шестому укладу [7]. Се-

годня формируется концепция новой экономической истории, которой свойственны глобальная конкуренция, превращение уникальных продуктов в рядовые (свойство коммодитации), инновационность развития, значимость знаний. В основе экономики знаний — принципы перманентности и непрерывности процессов образования, самообучения, рефлексии полученного опыта. Концептуальная схема базируется на идее осевого принципа, претендующего на выявление в ее рамках определенного остова, вокруг которого группируются остальные элементы социально-экономических систем, организуются технологии, происходит стратификация общества.

Гибкая система управления — один из главных признаков зрелости социально-экономической системы. В такой системе, строящейся на концептуальной платформе самоорганизующейся системы, каждый элемент способен самостоятельно определять и решать свои задачи, согласуя их с целями подсистемы. Дальнейший переход к концепциям самоорганизации и адаптивного управления предполагает глубокую проработку достижений синергетического подхода, теории самоорганизации. Учитывая большое количество определенных и противоречащих друг другу классификаций самоорганизующихся и адаптивных систем, необходимо разобраться с объемом представленных дефиниций и характеристик качественно нового типа управления.

Самоорганизующаяся система — открытая система, свободно обменивающаяся с внешней средой веществом, энергией и информацией; ее главной особенностью является способность противостоять энтропийным тенденциям, адаптироваться к изменяющимся условиям, преобразуя при необходимости свою структуру.

На наш взгляд, базовым параметром системы в условиях перехода к парадигме адаптивного управления

служит свойство адаптивности системы — уровень и динамика развития приспособленности к условиям меняющейся внешней среды. Самоорганизующаяся система относится к классу адаптивных (самоприспосабливающихся) систем, под которыми мы понимаем системы, автоматически изменяющие механизмы своего функционирования и (при необходимости) структуру с целью сохранения или достижения оптимального состояния при изменении внешних условий.

По степени повышения адаптивности различают самонастраивающуюся, самоорганизующуюся, саморегулирующуюся, саморазвивающуюся и самообучающуюся системы. Такие типы систем предполагают соответствующие им свойства (самонастройка, самоорганизация, саморегулирование, саморазвитие и самообучение). Основные параметры классификации: качество запоминания информации (накопления опыта), степень влияния на значение параметров и структуру системы, степень упорядоченности, самоуправляемости системы и противостояния ее энтропийным процессам и факторам внешней среды.

Под самонастраивающейся системой понимается адаптивная система, в которой запоминание информации (накопление опыта) выражается в позитивном изменении тех или иных ее параметров, существенных для целей системы [8]. Некоторые авторы относят самонастраивающуюся систему к категории самоорганизующихся [7, 9], другие рассматривают свойство самоорганизации как новое качественное состояние по сравнению со свойством самонастройки [8, 11]. Взгляды второй группы авторов основываются на разделении по характеру изменений в системе управления: в самонастраивающейся

системе возможно изменение только значений параметров регулирующей системы (регулятора\*) в зависимости от изменения параметров объекта управления или внешних возмущений, действующих на объект управления, а в самоорганизующейся возможно также изменение структуры регулирующей системы (регулятора). Считаем, что целесообразно разделять представленные типы систем, в понятие «свойство самоорганизации» включать свойство самонастройки как необходимый, но недостаточный компонент, определяющий качество самоорганизующейся системы.

Свойство самоорганизации предполагает способность системы самостоятельно преобразовывать свою структуру при сохранении присущих ей основных качественных характеристик [8], а также способность к стабилизации необходимых параметров посредством направленного упорядочения ее структурно-функциональных отношений с целью противостоять энтропийным факторам внешней среды. Заостряя процессуальную сторону данного свойства, будем понимать под самоорганизацией процесс изменения системы, заключающийся в отражении внешней среды, сопровождаемый упорядочением связей в системе, накоплением информации, усложнением (и/или возникновением новых) структур и формированием механизма управления.

Естественный итог процесса самоорганизации в адаптивной системе — упорядочивание и усложнение структуры, повышение качественных характеристик системы. Саморегулирование — это новое качественное свойство, определяющее класс саморегулирующихся систем; последние предполагают наличие таких элементов, которые автоматически устанавливают и поддерживают желаемый режим функцио-

---

Регулятор — в теории управления устройство (система), которое следит за работой объекта управления как системы и выработывает для нее управляющие сигналы [9].

нирования. Критерием саморегулирования системы, в частности, социально-экономической системы или системы управления служит достижение высоких показателей продуктивности и эффективности, что свидетельствует об управляемости режима функционирования.

Следующей стадией эволюции адаптивных систем является саморазвивающаяся система — адаптивная система, которая самостоятельно или автономно выбирает цели своего развития и критерии их достижения, изменяет свои параметры, структуру и другие характеристики в заданном направлении. Принципиальная характеристика такой системы — способность устойчиво развиваться без привлечения (или при минимальном привлечении) внешних источников развития, что свидетельствует о высокой степени самостоятельности протекающих в системе процессов и малой степени зависимости от энтропийных процессов внешней среды.

Под свойством самообучаемости системы понимается способность самостоятельно отбирать условия, при которых система удовлетворяет критериям качества функционирования [8]. Основа подобной системы — организованный и сознательно управляемый процесс рефлексии, то есть система непрерывно трансформируется и развивается путем постоянного обучения.

Пока остается спорным вопрос о взаимосвязи свойств саморегулирования, саморазвития и самообучения. Предположение о соответствии саморегулирующихся и саморазвивающихся систем самообучающейся системе вполне логично. Однако, на наш взгляд, такое отождествление спорно, и необходимо рассматривать данные категории комплексно, а не сводя одни к другим.

Другой принципиальный вопрос: что считать высшей формой адаптивной системы? В экономических нау-

ках существует множество концепций, основанных на самоорганизующейся, саморазвивающейся или самообучающейся системах, каждая из которых ключевым свойством определяет самоорганизацию, саморазвитие или самообучение. Солидарны с мнением Е. Д. Сорокина, объединяющего представленные понятия и отмечающего, что система устойчива, если обладает способностью к саморегулированию и саморазвитию.

По сложности, устройству механизмов и происходящим процессам выделяет шесть типов систем развития: динамические; целенаправленные; спонтанно самоорганизующиеся; с детерминированной самоорганизацией; с управляемой самоорганизацией; самоорганизующиеся целостности [10]. Адаптивные системы в большей степени соответствуют системам с управляемой самоорганизацией, где самоорганизация происходит под воздействием управляющего механизма, осуществляющего наблюдение за развитием, осмыслением и выработкой решений по коррекции развития, а также самоорганизующимся целостностям, представляющим собой системы высших уровней без детерминированных программ эволюции.

Считаем, что саморазвитие необходимо рассматривать с трех основных позиций:

- как пространственную категорию (аспект целостности): саморазвивающаяся организация с внутренней рефлексией на основе синергетического эффекта;
- как временную категорию (аспект процессуальности): саморазвитие на основе выделенности источников и мотивов развития с многоуровневой внутренней самодетерминированностью направления;
- как сущность процесса развития (аспект основания развития): источник развития — некое конкретное тождество и самопротиворечие субстанциального начала

(основания), функционирующего на внутренней имманентной самопротиворечивости и внешних противоречиях.

Уточним понятие «адаптивная система» с учетом представленных характеристик и определим ее как систему, автоматически изменяющую механизмы своего функционирования и (при необходимости) структуру с целью сохранения или достижения оптимального состояния при изменении внешних условий, важнейшими свойствами которой являются свойства самонастройки, самоорганизации и самообучения, и обладающей способностью к саморегулированию и саморазвитию. Авторская классификация адаптивных систем, позволяющая рассматривать также эволюцию ключевых форм этих систем как усиление свойств устойчивости и адаптивности, представлена на рис. 1.

Введение в науку концепции адаптивных систем приводит к формированию понятия «адаптивное управление». Многие авторы определяют его как управление, предполагающее направленность организационно-управленческой деятельности на создание управляющих подсистем, способных в результате адаптации и (само)обучения самостоятельно выстраивать

собственные алгоритмы и механизмы функционирования и развития [11].

Данное определение взаимосвязано с концепцией управления экономическими системами (в кибернетическом аспекте), направленного на переработку социально-экономической информации, принятие на этой основе решений о воздействии на экономическую систему и реализацию этих решений. При таком подходе социально-экономическая система рассматривается как кибернетическая система, управление которой включает два элемента: определение траектории состояний системы (формирование цели и указание путей ее достижения) и удержание системы на этой траектории путем регулирования. Соответственно, в управляющей подсистеме (блок управления) выделяются блок определения целей и блок регулирования (регулятор). С точки зрения кибернетического подхода, существуют три основных вида управления [9, 11].

1. «Жесткое» (программное) управление предполагает предписание объекту управления (управляемой подсистеме) строго определенной последовательности действий, выработку оптимального алгоритма поведения. Желательное поведение управляемой подсистемы и ее элементов достига-

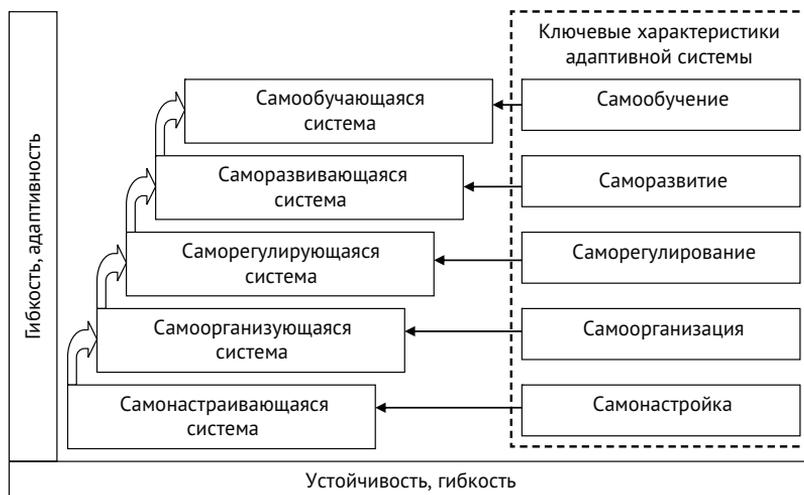


Рис. 1. Соотношение адаптивных систем

ется прямым управляющим воздействием, то есть в целом такое управление характеризуется как административное, потому что основным инструментарием управления выступают административные методы управления. Схематическое представление механизма функционирования данной системы управления показано на рис. 2.



2. «Мягкое» управление (регулирование поведения управляемого объекта) предполагает достижение желательного поведения управляемой подсистемы с помощью регулирования ее деятельности — процесса, благодаря которому характеристики управляемой системы удерживаются на траектории, заданной блоком управления.

Формы регулирования: регулирование по отклонениям (система вынуждена изменить свое поведение, когда с помощью обратной связи обнаруживается ее отклонение от заданных параметров) и регулирование по критическим параметрам (система меняет поведение, когда достигается уровень какого-либо параметра, признанный критическим, недопустимым). Такой вид управления целесообразно называть обратной связью (обратное воздействие результатов управления системой на процесс этого управления или, иными словами, использование в управлении информации, поступающей от объекта управления). Схема функционирования данной системы представлена на рис. 3.

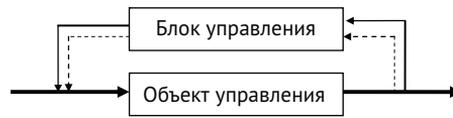


Рис. 3. «Мягкое» управление (регулирование поведения управляемого объекта)

3. Адаптивное управление на основе саморегулирования (автоматическое регулирование) предполагает самостоятельное реагирование объекта управления на внешние воздействия (возмущения), нарушающие его нормальное функционирование. Саморегулирование достигается с помощью обратной связи и осуществляется в форме самонастройки и самоорганизации. Здесь блок управления и объект управления рассматриваются как целостное образование и учитывается появление нового элемента — памяти системы, который предполагает формирование свойства самообучаемости и внедрения механизма рефлексии, накопления знаний (рис. 4). Реализация данного принципа предполагает формирование специфической инфраструктуры управления, построенной на теоретических положениях саморазвивающейся организации. Такая организация ориентирована на развитие посредством постоянного обучения и самообучения персонала, формирование и актуализацию ключевых компетенций человеческих ресурсов [12].

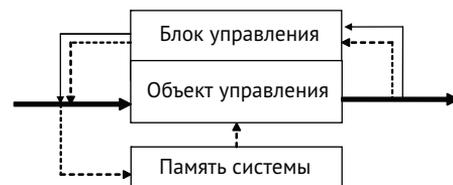


Рис. 4. Саморегулирование (автоматическое регулирование)

Управление носит характер экономического (возникают экономические условия, заинтересовывающие хозяйственные звенья в желательном поведении системы). Управление

осуществляется экономическими методами, когда активная роль отводится саморазвитию, действию рыночных механизмов.

Отметим, что в общем случае, чем меньше регламентирована программа и структура объекта управления, тем выше способность его приспособления к реальным условиям, то есть тем сильнее проявлены свойства устойчивости и адаптивности. Этот принцип формирует теоретическую и методологическую базу современных концепций адаптивного управления.

Данные типы управления имеют широкую методологическую базу; используются достижения процессного, системного и ситуационного подходов. Дальнейший переход к концепциям самоорганизации и адаптивного управления предполагает глубокую проработку достижений синергетического подхода, теорий самоорганизации и саморазвития. Представленные типы управления предполагают дальнейшую институционализацию — должны быть официально определены права и обязанности участников, их ответственность и т.д. Данные аспекты должны быть учтены при проектировании соответствующей адаптивной организации.

Таким образом, исследование коэволюции социально-экономических и технологических факторов

позволяет обозначить взаимообусловленность системы типов хозяйственного управления с системой технологических укладов. Переход к пятому и — в перспективе — к шестому технологическим укладам предполагает переход к концепции адаптивного управления, в основе которого лежит понимание направленности организационно-управленческой деятельности на создание управляющих подсистем, способных в результате адаптации и (само) обучения самостоятельно выстраивать собственные алгоритмы и механизмы функционирования и развития.

Процессы формирования эффективных систем преобразования организацией на основе кооперативного взаимодействия элементов обеспечивают интегральный результат. Саморазвитие предполагает повышение роли знаний как работника, так и коллектива организации в целом, что предопределяет переход к самообучающейся организации, основанной на рефлексии опыта функционирования и развития. Авторская модель соотношения адаптивных систем управления позволяет рассматривать их как особый динамический класс систем, оптимизирующих свое состояние при изменении состояния внешней среды и способных самостоятельно выстраивать собственные алгоритмы и механизмы функционирования и развития. ■

### Литература

1. Глазьев С. Ю., Микерин Г. И., Тесля П. Н. Длинные волны: научно-технический прогресс и социально-экономическое развитие. Новосибирск : Наука, 1991. 224 с.
2. Львов Д. С. Институциональная экономика. М. : ИНФРА-М, 2001. 318 с.
3. Абалкин Л. И. Россия: поиск самоопределения. М. : Наука, 2005. 463 с. ISBN 5-02-033811-7.
4. Антропов В. А., Кортенко Л. В. Управление профессиональным развитием человеческих ресурсов. Екатеринбург : Изд-во УрГУПС, 2010. 264 с. ISBN 978-5-94614-156-7.
5. Шумпетер Й. А. История экономического анализа. СПб : Экономическая школа, 2004. 1670 с. ISBN 5-900428-60-5.
6. Яковец Ю. В. Эпохальные инновации XXI века. М. : Экономика, 2004. 444 с. ISBN 5-282023-8-22.
7. Веснин В. Р. Менеджмент : учеб. для вузов. — 4-е изд. — М. : Проспект, 2012. 624 с. ISBN 978-5-392-03277-8.

8. Саридис Д. Самоорганизующиеся стохастические системы управления. М. : Наука, 1980. 400 с.
9. Юревич Е. И. Теория автоматического управления : учеб. для вузов. — 3-е изд. — СПб : БХВ-Петербург, 2007. 560 с. ISBN 978-5-94157-809-2.
10. Теслинов А. Г. Концептуальное проектирование сложных решений. СПб : Питер, 2009. 288 с. ISBN 978-5-388-00488-8.
11. Ефимов Д. В. Робастное и адаптивное управление нелинейными колебаниями. СПб : Наука, 2005. 314 с. ISBN 5-02-025093-7.
12. Гусев А. А., Паршина В. С. Формирование комплексной модели руководителя организации // Вестник Государственного университета управления. Изд. дом ГУУ. 2011. № 2. С. 190–195. ISSN 1816–4277.

## References

1. Glazev S. Yu., Mikerin G. I., Teslya P. N. Dlinnye volny: nauchno-tekhnicheskii progress i sotsialno-ekonomicheskoe razvitiye. [Long waves: scientific and technological progress and social and economic development] Novosibirsk : Nauka, 1991. 224 p.
2. Ivov D. S. Institutsionalnaya ekonomika. [Institutional Economics] M. : INFRA-M, 2001. 318 p.
3. Abalkin L. I. Rossiya: poisk samoopredeleniya. [Russia: the search for self-determination] M. : Nauka, 2005. 463 p. ISBN 5-02-033811-7.
4. Antropov V. A., Kortenko L. V. Upravlenie professionalnym razvitiem chelovecheskikh resursov. [Managing professional development of human resources] Ekaterinburg : Publishing house USURT, 2010. 264 p. ISBN 978-5-94614-156-7.
5. Shumpeter Y. A. Istoriya ekonomicheskogo analiza. [History of Economic Analysis.] Saint-Petersburg: Ekonomicheskaya shkola, 2004. 1670 p. ISBN 5-900428-60-5.
6. Yakovets Yu. V. Epokhalnye innovatsii XXI veka. [Epochal innovation of the XXI century] M. : Ekonomika, 2004. 444 p. ISBN 5-282023-8-22.
7. Vesnin V. R. Management: Textbook for universities. — 4th ed. — M. : Prospekt, 2012. 624 p. ISBN 978-5-392-03277-8.
8. Saridis D. Samoorganizuyushchiesya stokhasticheskie sistemy upravleniya. [Self-organizing stochastic control systems] M. : Nauka, 1980. 400 p.
9. Yurevich E. I. Teoriya avtomaticheskogo upravleniya: [Automatic control theory] textbook for universities 3rd ed. — Saint-Petersburg : BXB-Peterburg, 2007. 560 p. ISBN 978-5-94157-809-2.
10. Teslinov A. G. Kontseptualnoe proektirovanie slozhnykh resheniy. [Conceptual design of complex solutions]. Saint-Petersburg : Piter, 2009. 288 p. ISBN 978-5-388-00488-8.
11. Efimov D. V. Robastnoe i adaptivnoe upravlenie nelineynymi kolebaniyami. [Robust and adaptive control of nonlinear oscillations]. Saint-Petersburg : Nauka, 2005. 314 p. ISBN 5-02-025093-7.
12. Gusev A. A., Parshina V. S. Formirovanie kompleksnoy modeli rukovoditelya organizatsii [Formation of integrated model of the head of organization] // Herald of State Management Institute — Publishing House GUU. 2011. № 2. P. 190–195. ISSN 1816-4277.

*Статья сдана в редакцию 20 марта 2013 года*

## Уважаемые коллеги!

### Информирую вас о требованиях, предъявляемых к оформлению статей.

При наборе используйте Word-2003 или Word-2007; шрифт (по всему тексту, в том числе в рисунках и таблицах) — тип Times, размер шрифта — 14, межстрочное расстояние — 1,5, абзацный отступ — 1,25 (1,27) см, поля — 2 см; расстановка переносов по всему тексту — автоматическая.

Набор формул: простые формулы и сочетания символов ( $x^2 < y^2$ ;  $E = mc^2$ ;  $a^2 + b^2 = c^2$ ;  $Q_{i-1}$ ;  $\psi_j$ ) — только в текстовом режиме, сложные

$$\left( s^2 = \frac{1}{n-1} \left[ \sum_{j=1}^e x_j^2 n_j - \frac{1}{n} \left( \sum_{j=1}^e x_j n_j \right)^2 \right] \right); \left( \frac{\sigma_a}{[n]} \right)$$

или  $S_i^m$ ) — только в редакторе формул

Equation или в MathType.

Написание букв: русские (а, б, в, А, Б, В), греческие (Θ, Σ, Ω, Ψ, α, β, δ, ε, λ, π), а также цифры и функции (1, 2, 3; I, II, III; max, lg, sin и т.п.) пишутся только прямо; латинские (a, b, n, A, B, N и т.д.) — только курсивом. Исключение — курсив во вспомогательном тексте (слова «Таблица» и «Рис.», примечания в рисунках и ссылки в тексте на эти примечания).

Оформление текста: левый верхний край — инициалы, фамилия; заголовков — все буквы ПРОПИСНЫЕ, жирные, расположение — по центру набора; таблиц и рисунков: в таблицах размер шрифта — на полтора-два размера меньше, чем в основном тексте (11,5–12), расположение текста в «шапке» таблицы — по центру, в столбцах — по ширине; межстрочное расстояние — 1; слово «Таблица» — курсивное начертание, в правый край таблицы; название таблицы — начертание нормальное (прямое), расположение — по центру таблицы. В рисунках (графиках, диаграммах): размер подрисуноч-

ной подписи — 14, расположение — по центру набора, слово «Рис.» — курсив, название рисунка — нормальное начертание, описание рисунка (экспликация) — нормальное начертание, условные обозначения — курсивное начертание, их расшифровка — нормальное. Расположение таблиц и рисунков — строго после ссылки на них.

Кроме того, рисунки обязательно прилагаются к материалу (один рисунок — один файл; формат — \*.jpg).

Ссылки на литературу в тексте пишутся в квадратных скобках ([1], [1, 2] или [3–5]); нумерация сквозная. Список литературы/источников оформляется по ГОСТ 7.0.5–2008.

В конце статьи обязательно ставится дата отсылки материала в редакцию.

Объем статьи — не более 14-ти страниц.

Название файла: Фамилия. Первое слово заголовка. Многоточие. Последнее слово заголовка (Сидоров. Синтез... электроприводом).

К материалу (статье) обязательно прилагаются (отдельным файлом): УДК, сведения об авторе, аннотация, ключевые слова (название файла: УДК 000. Сидоров. Синтез... электроприводом).

Материалы для очередного номера журнала «Вестник УрГУПС» принимаются до 30 числа первого месяца квартала (до 30-го января, 30-го апреля, до 30-го июля, до 30-го октября). Материалы, поступившие в редакцию после 30-го числа, будут опубликованы только в следующем номере.

Успешной работы!

*Л. Барышникова,  
литературный и выпускающий  
редактор журнала «Вестник УрГУПС»*