



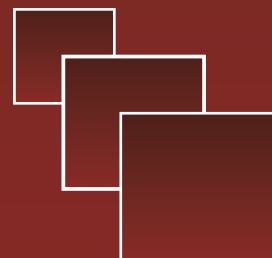
Вестник

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 (10), 2011 год

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

Литературный и выпускающий редактор
Светлана Ивановна Семухина

Техническое редактирование и верстка
Андрей Викторович Трубин

Дизайн обложки
Ольга Петровна Игнатьева

Переводчики
Елена Владимировна Ершова
Анна Викторовна Бочкарева

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) 367-41-11.
Веб-сайт: www.vestnik.usurt.ru;
e-mail: 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 20.06.2011.

Тираж 300. 1-й з-д.: 1–100.
Формат 70×100/16.
Заказ № 155.

Scientific journal «Herald of the
Ural State University
of Railway Transport»
№ 2 (10), 2011

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

Script and copy editor
Svetlana I. Semuhina

Technical editing and make-up
Andrey V. Trubin

Cover design
Olga P. Ignatjeva

Translators:
Elena V. Ershova
Anna V. Bochkareva

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) 367-41-11.
Web-site: www.vestnik.usurt.ru;
e-mail: 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 20.06.2011.

Circulation 300. 1-й з-д.: 1–100.
Format 70×100/16.
Order № 155.

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 Science, Institute of Automotive Engineering, NVH Laboratory, Germany

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

Editorial board

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

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

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

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

Vorobiev Alexander Alexeevich, DSc, professor, Moscow State University of Railway Transport, Moscow

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

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

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

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

Содержание

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

- 4 Н. В. Медведева. Оценивание параметров статистически неопределенной линейной модели

МЕХАНИКА МАШИН И РОБОТОВ

- 13 С. А. Румянцев, А. М. Шихов. Математическая модель одномассной вибротранспортирующей машины с тремя дебалансными вибровозбудителями как единой электромеханической системы «вибромашина — асинхронные электродвигатели»

УПРАВЛЕНИЕ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

- 18 А. Я. Калиниченко, А. И. Фесечко, И. Н. Шубин. Повышение эффективности работы электроподвижного состава с тиристорными импульсными регуляторами

УПРАВЛЕНИЕ. ЭКОНОМИКА

- 23 М. Б. Петров. Обновление экономической парадигмы как предпосылка успешной модернизации российской экономики
- 31 А. М. Иванов, А. А. Косяков. Социальное инвестирование в проектном бизнесе в условиях дефицита заказов

ИНЖЕНЕРНАЯ ЗАЩИТА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

- 44 А. М. Асонов, К. Р. Волкова, Е. А. Терещенко. Регенерация замазученного грунта в биореакторе

ОРГАНИЗАЦИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

- 54 О. В. Куликова, Э. Е. Поповский, Е. Г. Филиппова. Сравнение качества математических знаний абитуриентов при поступлении на технические и экономические специальности

АСПИРАНТСКАЯ ТЕТРАДЬ

- 65 Е. А. Рогозинников. О группах движений кривых с постоянными и периодическими кривизнами
- 73 М. К. Дуплякин. Об отказах путевых машин при ремонтах железнодорожного пути

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СОБСТВЕННОСТЬ

- 80 Устройство разгонное для создания нормированных ускорений при поверке и тарировке акселерометров
- 81 Стенд для определения геометрических параметров винтовых пружин сжатия
- 83 Стык сборных железобетонных колонн

Contents

MATHEMATIC MODELS OF TECHNOLOGICAL PROCESSES

- 4 N. V. Medvedeva. Parametric estimation of a statistically uncertain linear model

MECHANICS OF MACHINES AND ROBOTS

- 13 S. A. Rumyantsev, A. M. Shikhov. Mathematical model of one-mass vibro-transporting machine with three unbalanced vibroexciters as one electromechanical system «vibromachine – asynchronous electric motors»

CONTROL IN ENGINEERING SYSTEMS

- 18 A. Ya. Kalinichenko, A. I. Fesechko, I. N. Shubin. Operation efficiency increase of electric motive power with thyristor pulse controllers

MANAGEMENT. ECONOMICS

- 23 M. B. Petrov. Renewal of economic paradigm as a precondition for successful modernization of Russian economics
- 31 A. M. Ivanov, A. A. Kosyakov. Social investment in designing business in conditions of orders deficit

ENGINEERING PROTECTION OF THE ENVIRONMENT

- 44 A. M. Asonov, K. R. Volkova, E. A. Tereshchenko. Regeneration of oil-firing subsoil in a bioreactor

STUDY PROCESS ORGANIZATION

- 54 O. V. Kulikova, E. E. Popovsky, E. G. Filippova. Comparison of university entrants' mathematics knowledge quality when entering technical and economic specialties

RESEARCH OF YOUNG SCIENTISTS

- 65 E. A. Rogozinnikov. Motion groups of curves with constant and periodic curvatures
- 73 M. K. Duplyakin. About track machines failures when repairing the railway track

INTELLECTUAL PROPERTY

- 80 Accelerating device for normalized speeding-up when testing and gauging accelerometers
- 81 Diagnostic tester to estimate geometric parameters of compression helical springs
- 83 The butt of precast reinforced concrete columns

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Н. В. Медведева

УДК 519.856.2

Оценивание параметров статистически неопределенной линейной модели

N. V. Medvedeva

UDC 519.856.2

Parametric estimation of a statistically uncertain linear model

Аннотация

В работе рассматривается задача оценивания параметров статистически неопределенной модели, то есть модели, в измерениях которой присутствуют как случайные возмущения с известными распределениями, так и неслучайные возмущения, информация о которых исчерпывается заданием областей их возможных значений.

Для решения данной задачи использован метод, связанный с применением метода максимального правдоподобия для статистически неопределенных систем. В работе метод максимального правдоподобия рассмотрен в рамках минимаксного подхода. На модельном примере проиллюстрировано построение оценок неизвестного параметра статистически неопределенной линейной модели с помощью максиминного и минимаксного подходов.

Ключевые слова:

оценивание; линейная модель; неполная статистическая информация; метод максимального правдоподобия.

Abstract

The article considers the problem of parametric estimation of a statistically uncertain model — the model, in measurement of which there is both random perturbation with known allocation and assignable perturbation, information of which is reduced to the specification of possible values domains.

To solve this problem the method, connected with application of maximum likelihood method for statistically uncertain models is used. In the article the maximum likelihood method is considered within the limits of minimax approach. On a model example it is shown the estimation construction of an unknown parameter of statistically uncertain model by the instrumentality of maximin and minimax approaches.

Key words:

estimation, linear model, incomplete statistic information, maximum likelihood method.

Наталья Валерьевна Медведева, канд. физ.-мат. наук, доцент; кафедра «Высшая математика» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург, Россия. E-mail: Medvedeva_N_V@mail.ru.

Natalya V. Medvedeva, PhD, associate professor; 'Higher mathematics' department of the Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg, Russia. E-mail: Medvedeva_N_V@mail.ru.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 10-01-00672 а).

The work was done by the financial support of the Russian Fund of Fundamental Research (project № 10-01-00672 a).

В теории стохастического управления и оценивания широко используется понятие статистически неопределенной системы, то есть системы, структура которой содержит как случайные возмущения с заданными параметрами распределений, так и неслучайные возмущения, информация о распределениях которых является неполной.

Исследование задач оценивания для статистически неопределенных систем начинается с работы И. Я. Каца и А. Б. Куржанского [1], в которой были предложены линейные рекуррентные процедуры оценивания состояния многошаговой системы на основе описания динамики множеств апостериорных средних.

Минимаксным методам решения задач управления и оценивания посвящены работы Б. Ц. Бахшияна, Р. Р. Назирова, И. Я. Каца, А. Б. Куржанского, Н. Н. Красовского, Б. Н. Пшеничного, В. Г. Покотило, П. Э. Эльясберга и других [2–6]. Данный подход заключается в определении такой стратегии оценивания, качество которой на множестве неопределенности при наихудшем сочетании неизвестных параметров будет наилучшим по сравнению с другими стратегиями. Поэтому имеет место игровая постановка, в которой критерий качества оценивания или управления минимизируется по одному параметру и максимизируется по другому (неопределенным параметрам модели).

В работе А. Р. Панкова, К. В. Семенихина [7] рассмотрена задача минимаксной параметрической идентификации многомерной неопределенно-стохастической линейной модели в условиях априорной неопределенности. Показано, что проблема идентификации неопределенно-стохастической модели может быть решена в общей постановке на основе минимаксного подхода [8, 9].

В работе И. Я. Каца и Г. А. Тимофеевой [10] для оценивания векто-

ра состояний статистически неопределенной системы был использован аналог метода максимального правдоподобия, согласно которому в качестве оценок вектора состояний системы выбираются его наиболее вероятные значения. В работе [11] построены оценки неизвестного вектора параметров статистически неопределенной линейной модели по методу максимального правдоподобия и рассмотрены их свойства.

В данной работе метод максимального правдоподобия оценивания вектора параметров статистически неопределенной линейной модели рассматривается в рамках минимаксного подхода.

Рассмотрим линейную модель наблюдения

$$Y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n, \quad (1)$$

где $a = \{a_0, a_1, a_2, \dots, a_n\} \in R^{n+1}$ — неизвестный детерминированный вектор параметров модели;

$x = \{x_1, x_2, \dots, x_n\} \in R^n$ — известный детерминированный вектор значений аргумента.

Пусть произведено k наблюдений, в каждом из которых значения функции Y измеряются неточно

$$y_i = a^T x^{(i)} + u_i + \xi_i, \quad i = 1, \dots, k, \quad k \geq n + 1, \quad (2)$$

где y_i — измерение; величины u_i и ξ_i — ошибки измерений.

Помехи ξ_i — это независимые случайные несмещенные гауссовские величины с известными дисперсиями:

$$E\xi_i = 0, \quad E\xi_i^2 = \sigma_i^2, \quad E\xi_i\xi_j = 0, \quad i \neq j, \quad (3)$$

а величины u_i — это неопределенные неслучайные помехи, относительно которых известно, что они могут принимать произвольные значения из отрезков U_i :

$$u_i \in U_i = \{u \in R^1 : |u| \leq \Delta_i\}. \quad (4)$$

Систему (2) можно записать в векторном виде

$$y = Ga + u + \xi, \quad (5)$$

где $y = \{y_1, y_2, \dots, y_k\}$ — случайный вектор наблюдений, $y \in R^k$;

$u = \{u_1, u_2, \dots, u_k\}$ — вектор неопределенных параметров, $u \in U \subset R^k$, где $U = [-\Delta_1, \Delta_1] \times [-\Delta_2, \Delta_2] \times \dots \times [-\Delta_k, \Delta_k]$;

$\xi = \{\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_k\}$ — вектор случайных возмущений;

$$G = \begin{pmatrix} x^{(1)T} \\ x^{(2)T} \\ \dots \\ x^{(k)T} \end{pmatrix} \text{ — матрица } k \times (n+1)$$

и $\text{rang} G = n + 1$.

В работе [11] решение задачи оценивания вектора a параметров статистически неопределенной модели (2)–(4) проводилось с помощью метода максимального правдоподобия. Здесь не использовался минимаксный подход, так как при построении оценок выбирались наиболее вероятные значения всех априорно неизвестных параметров.

Для статистически неопределенной модели (2)–(4) введем функцию невязки, которая зависит от реализовавшегося наблюдения y :

$$\begin{aligned} \Psi(y; a_0, a_1, a_2, \dots, a_n, u) &= \\ &= \sum_{i=1}^k (y_i - a^T x^{(i)} - u_i)^2 \cdot \sigma_i^{-2}, \end{aligned}$$

где $u = \{u_1, u_2, \dots, u_k\} \in U$.

Так как параметры u_i априорно неизвестны, а известны лишь ограничения на области их возможных значений, то функция

$$p(y; a_0, a_1, a_2, \dots, a_n, u)$$

с учетом ограничений (4) может рассматриваться как функция правдопо-

добия для вектора $b = \{a, u\}$ на множестве $R^{n+1} \times U \subset R^l$, где $l = n + k + 1$, то есть

$$\begin{aligned} \Psi(y; a_0, a_1, a_2, \dots, a_n, u) &= \\ &= C - 2 \ln p(y; a_0, a_1, a_2, \dots, a_n, u), \quad (6) \end{aligned}$$

где $p(y; a_0, a_1, a_2, \dots, a_n, u)$ — плотность распределения вектора y .

В качестве оценки вектора a системы (2)–(4) на k -м шаге в [11] принимаются такие значения $a_0, a_1, a_2, \dots, a_n$, при которых плотность $p(y; a_0, a_1, a_2, \dots, a_n, u)$ достигает максимума.

Определение [11]. Множеством наиболее вероятных значений \tilde{A} вектора a параметров модели (2)–(4) называется множество параметров $a_0^*, a_1^*, a_2^*, \dots, a_n^*$, которые доставляют максимум плотности распределения вектора y

$$\begin{aligned} \tilde{A} &= \{ \{a_0^*, a_1^*, a_2^*, \dots, a_n^*\} : \\ &: \{a_0^*, a_1^*, a_2^*, \dots, a_n^*\} = \\ &= \arg \max_{a_0, \dots, a_n} \tilde{p}(y; a_0, a_1, a_2, \dots, a_n) \}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{где } \tilde{p}(y; a_0, a_1, a_2, \dots, a_n) &= \\ &= \max_{u \in U} p(y; a_0, a_1, a_2, \dots, a_n, u). \end{aligned}$$

Соответственно, учитывая равенство (6), в качестве оценки вектора a системы (2)–(4) на k -м шаге принимаются такие значения $a_0, a_1, a_2, \dots, a_n$, которые доставляют минимум функции

$$\begin{aligned} N(a_0, a_1, a_2, \dots, a_n) &= \\ &= \min_{u \in U} \Psi(y; a_0, a_1, a_2, \dots, a_n, u) \quad (7) \end{aligned}$$

по всем возможным значениям $a \in R^{n+1}$.

Справедлива:

Теорема 1 [11]. Множество \tilde{A} наиболее вероятных значений параметров совпадает с множеством минимумов функции невязки $N(a_0, a_1, a_2, \dots, a_n)$, определяемой равенствами:

$$N(a_0, a_1, a_2, \dots, a_n) = \sum_{i=1}^k f_i (y_i - a^T x^{(i)})^2, \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \text{где } f_i(z) &= \min_{|u_i| \leq \Delta_i} (z - u_i)^2 \cdot \sigma_i^{-2} = \\ &= (\max\{0, |z| - \Delta_i\})^2 \cdot \sigma_i^{-2}, \\ & i = 1, \dots, k. \end{aligned} \quad (9)$$

На рис. 1. представлен график функции $f_i(z)$, определяемой равенством (9).

Заметим, что из формул (8), (9) следует, что функция невязки может иметь не единственный минимум. Следовательно, множество \hat{A} наиболее вероятных значений параметров статистически неопределенной линейной модели (2)–(4) может содержать более чем одну точку.

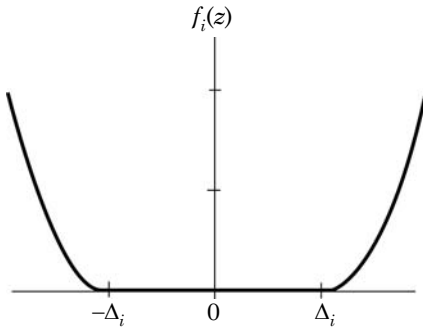


Рис. 1. График функции $f_i(z)$

Из формул (8), (9) также следует, что в случае, когда случайные возмущения ξ_i распределены одинаково, то есть $\sigma_i = \sigma$, $i = 1, \dots, k$, множество \hat{A} наиболее вероятных значений параметров при заданном наблюдении y не зависит от дисперсии случайных помех.

Таким образом, множество \hat{A} минимумов функции невязки, определяемой соотношениями (8), (9), можно рассматривать в качестве оценки по методу максимального правдоподобия для статистически неопределенной задачи (2)–(4), то есть

$$\begin{aligned} \tilde{A} &= \text{Arg min}_{a_0, \dots, a_n} N(a_0, a_1, \dots, a_n) = \\ &= \{\tilde{a}_0, \tilde{a}_1, \dots, \tilde{a}_n\} \in R^{n+1} : N(\tilde{a}_0, \tilde{a}_1, \dots, \tilde{a}_n) = \\ &= \min_{a_0, \dots, a_n} N(a_0, a_1, \dots, a_n). \end{aligned} \quad (10)$$

В работе [11] рассмотрены свойства оценок, построенных по методу максимального правдоподобия.

Справедлива:

Лемма 1 [11]. Стандартная линейная оценка \hat{A} значений вектора a параметров модели (2)–(4), определяемая равенством

$$\hat{A} = (G^T G)^{-1} G^T (y - U) = \Lambda (y - U) \quad (11)$$

при $\sigma_i = \sigma$, $i = 1, \dots, k$, является объединением точек минимума функции невязки, определяемой соотношением (6), то есть

$$\hat{A} = \bigcup_{u \in U} \arg \min_{a_0, \dots, a_n} \Psi(y; a_0, \dots, a_n, u).$$

Для статистически неопределенной модели (2)–(4), аналогично [11], рассмотрим множество $\tilde{A}^{\text{det}}(y)$, определяемое условием

$$\begin{aligned} \tilde{A}^{\text{det}}(y) &\triangleq \bigcap_{i=1, \dots, k} \{a \in R^{n+1} : \\ &: y_i - a^T x^{(i)} \in U\}. \end{aligned} \quad (12)$$

Отметим, что для реализовавшегося вектора наблюдений y модели (2)–(4) соответствующее ему множество $\tilde{A}^{\text{det}}(y)$ может быть пустым. Это связано с тем, что каждое измерение y_i статистически неопределенной модели (2)–(4) содержит как неопределенную составляющую u_i , так и случайную ошибку ξ_i .

Справедлива:

Теорема 2 [11]. Если множество $\tilde{A}^{\text{det}}(y)$, определяемое равенством (12), не пусто, то оно совпадает с множеством минимумов функции невязки, и минимум невязки равен нулю, то есть

$$\begin{aligned} \tilde{A}^{\text{det}}(y) &= \text{Arg min}_{a_0, \dots, a_n} N(y; a_0, \dots, a_n) = \\ &= \{\{\tilde{a}_0, \tilde{a}_1, \dots, \tilde{a}_n\} \in R^{n+1} : \\ &: N(y; \tilde{a}_0, \tilde{a}_1, \dots, \tilde{a}_n) = 0\}. \end{aligned}$$

Следовательно, если множество $\tilde{A}^{\text{det}}(y)$ статистически неопределенной модели (2)–(4), соответствующее

данному наблюдению y , не пусто, то оно является оценкой неизвестного вектора a параметров статистически неопределенной модели (2)–(4) по методу максимального правдоподобия.

В [11] рассмотрены условия, при которых множество $\hat{A}(y)$ наиболее вероятных значений — одноточечное.

Теорема 3 [11]. Пусть $a = a_0 \in R^1$. Тогда, если множество $\hat{A}^{\text{det}}(y)$, определяемое равенством (12), соответствующее фиксированному вектору y , пусто, то множество $\hat{A}(y)$ наиболее вероятных значений параметра $a = a_0 \in R^1$ состоит из единственной точки $\tilde{a} = \tilde{a}_0$.

Далее, в соответствии с [12], для статистически неопределенной линейной модели (2)–(4) рассмотрим минимаксный вариант метода максимального правдоподобия.

Обозначим через $\hat{N}(a_0, a_1, \dots, a_n)$ максимум функции $\Psi(y; a_0, a_1, a_2, \dots, a_n, u)$ по всем неопределенным параметрам $u \in U$, то есть

$$\begin{aligned} \hat{N}(a_0, a_1, a_2, \dots, a_n) &= \\ &= \max_{u \in U} \Psi(y; a_0, a_1, a_2, \dots, a_n, u). \end{aligned} \quad (13)$$

Согласно [12], решение задачи оценивания неизвестного вектора a параметров статистически неопределенной линейной модели (2)–(4) сводится к нахождению множества минимумов функции $\hat{N}(a_0, a_1, \dots, a_n)$, определяемой равенством (13).

В соответствии с [12], в качестве оценки вектора a системы (2)–(4) на k -м шаге примем такие значения $a_0, a_1, a_2, \dots, a_n$, при которых функция $\hat{N}(a_0, a_1, \dots, a_n)$ достигает минимума по всем возможным значениям $a \in R^{n+1}$.

Для модели (2)–(4) имеем

$$\begin{aligned} \min_{a_0, \dots, a_n} \hat{N}(a_0, a_1, \dots, a_n) &= \\ &= \min_{a_0, \dots, a_n} \max_{u \in U} \Psi(y; a_0, a_1, a_2, \dots, a_n, u) = \\ &= \min_{a_0, \dots, a_n} \sum_{i=1}^k \max_{|u_i| \leq \Delta_i} (y_i - a^T x^{(i)} - u_i)^2 \cdot \sigma_i^{-2}. \end{aligned}$$

Обозначим через

$$\hat{f}_i(z) = \max_{|u_i| \leq \Delta_i} (z - u_i)^2 \cdot \sigma_i^{-2} = \max_{|u_i| \leq \Delta_i} g_i(z, u_i).$$

Графиком функции $g_i(z, u_i)$ является парабола с вершиной в точке $M_i(u_i; 0)$, где $u_i \in [-\Delta_i; \Delta_i]$, $i = 1, \dots, k$. На рис. 2 изображены параболы $g_i(z, u_i) = (z - u_i)^2 \cdot \sigma_i^{-2}$ (пунктирные линии).

Из рис. 2 видно, что

$$\begin{aligned} \hat{f}_i(y_i - a^T x^{(i)}) &= \max_{|u_i| \leq \Delta_i} (y_i - a^T x^{(i)} - u_i)^2 \cdot \sigma_i^{-2} = \\ &= \begin{cases} \Delta_i^2 \cdot \sigma_i^{-2}, & \text{если } y_i - a^T x^{(i)} = 0, \\ (y_i - a^T x^{(i)} - \Delta_i)^2 \cdot \sigma_i^{-2}, & \text{если } y_i - a^T x^{(i)} < 0, \\ (y_i - a^T x^{(i)} + \Delta_i)^2 \cdot \sigma_i^{-2}, & \text{если } y_i - a^T x^{(i)} > 0 \end{cases} \end{aligned} \quad (14)$$

или

$$\begin{aligned} \hat{f}_i(z) &= (\max\{z - \Delta_i; z + \Delta_i\})^2 \cdot \sigma_i^{-2}; \\ i &= 1, \dots, k, \end{aligned} \quad (15)$$

где $z = y_i - a^T x^{(i)}$.

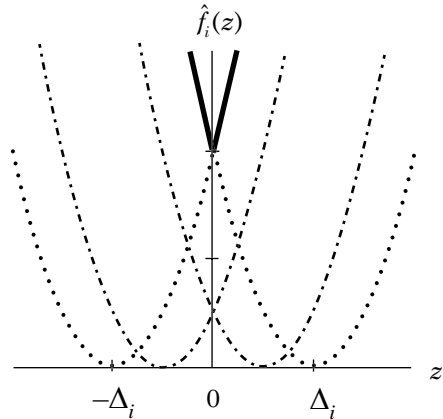


Рис. 2. График функции $\hat{f}_i(z)$

На рис. 2 график функции $\hat{f}_i(z)$ изображен сплошной линией.

Учитывая равенство (15), выражение для функции $\hat{N}(a_0, a_1, \dots, a_n)$ можно записать следующим образом:

$$\hat{N}(a_0, a_1, \dots, a_n) = \sum_{i=1}^k \hat{f}_i(y_i - a^T x^{(i)}), \quad (16)$$

$$\begin{aligned} \text{где } \hat{f}_i(z) &= \max_{|u_i| \leq \Delta_i} (z - u_i)^2 \cdot \sigma_i^{-2} = \\ &= (\max\{z - \Delta_i; z + \Delta_i\})^2 \cdot \sigma_i^{-2}, \\ &i = 1, \dots, k. \end{aligned} \quad (17)$$

Обозначим через A_{\max}^{\min} множество параметров $\{a_0^*, a_1^*, \dots, a_n^*\}$, при которых достигается минимум функции $\hat{N}(a_0, a_1, \dots, a_n)$, определяемой равенствами (16), (17), то есть

$$\begin{aligned} A_{\max}^{\min} &= \{\{a_0^*, a_1^*, a_2^*, \dots, a_n^*\} : \\ &: \{a_0^*, a_1^*, a_2^*, \dots, a_n^*\} = \\ &= \arg \min_{a_0, \dots, a_n} \hat{N}(a_0, a_1, \dots, a_n)\}. \end{aligned} \quad (18)$$

Сравним нелинейную оценку A_{\max}^{\min} со стандартной линейной оценкой \hat{A} (11) в случае, когда $\sigma_i = \sigma$, $i = 1, \dots, k$.

Согласно лемме 1, стандартная линейная оценка \hat{A} значений вектора a параметров модели (2)–(4) является объединением точек минимума функции невязки, определяемой соотношением (6), то есть

$$\hat{A} = \bigcup_{u \in U} \arg \min_{a_0, \dots, a_n} \Psi(y; a_0, \dots, a_n, u).$$

Справедлива:

Лемма 2. Для множества A_{\max}^{\min} , определяемого равенством (18), и стандартной линейной оценки \hat{A} справедливо включение

$$A_{\max}^{\min} \subset \hat{A}.$$

Лемма следует из определений множества A_{\max}^{\min} , стандартной линейной оценки \hat{A} (11) и леммы 1, так как

$$\begin{aligned} A_{\max}^{\min} &= \text{Arg} \min_{a_0, \dots, a_n} \hat{N}(a_0, a_1, \dots, a_n) \subset \\ &\subset \bigcup_{u \in U} \arg \min_{a_0, \dots, a_n} \Psi(y; a_0, \dots, a_n, u) = \hat{A}, \end{aligned}$$

где функция $\hat{N}(a_0, a_1, \dots, a_n)$ определяется равенствами (16), (17).

Проведем сравнение данных подходов к решению задачи оценивания вектора параметров статистиче-

ски неопределенной линейной модели (2)–(4) на численных примерах.

Рассмотрим задачу оценивания в R^1 .

Пример. Рассмотрим модель

$$y_i = a_0 + u_i + \xi_i, \quad i = 1, \dots, k,$$

где $a_0 \in R^1$ — неизвестный параметр модели; y_i — значение функции; помехи ξ_i — независимые гауссовские случайные величины $E\xi_i = 0$, $E\xi_i^2 = 0,1^2$. Информация относительно неопределенных возмущений u_i исчерпывается заданием включения $u_i \in U_i = [-1; 1]$.

Для моделирования наблюдений возмущения u_i выбирались следующим образом:

$$u_i = \begin{cases} 1, & \text{если } i = 4m + 1; 4m + 2; 4m + 3, \\ -1, & \text{если } i = 4m \end{cases}$$

при $m = 1, 2, \dots$

Нормально распределенные величины ξ_i моделировались с помощью датчика случайных чисел. По полученному таким образом наблюдению y построим: стандартное линейное множество \hat{A} , множество \tilde{A} наиболее вероятных значений и множество A_{\max}^{\min} .

Линейная оценка \hat{A} , согласно (11), в данном случае имеет вид

$$\hat{A} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k y_i + [-1; 1]. \quad (19)$$

Из условия (11) видно, что диаметр множества \hat{A} постоянен и не зависит ни от количества измерений, ни от случайных помех.

Оценка \tilde{A} , полученная по методу максимального правдоподобия, удовлетворяет равенству

$$\tilde{A} = \text{Arg} \min_{a_0} N(a_0). \quad (20)$$

Здесь $N(a_0)$ — функция невязки, определяемая равенствами (8), (9), имеет вид

$$N(a_0) = \sum_{i=1}^k f_i(y_i - a_0),$$

$$\begin{aligned} \text{где } \hat{f}_i(z) &= \min_{|u_i| \leq 1} (z - u_i)^2 \cdot 0,1^{-2} = \\ &= (\max\{0; |z| - 1\})^2 \cdot 0,1^{-2}, \quad i = 1, \dots, k. \end{aligned}$$

Оценка A_{\max}^{\min} удовлетворяет равенству

$$A_{\max}^{\min} = \text{Arg min}_{a_0} \hat{N}(a_0). \quad (21)$$

Функция $\hat{N}(a_0)$, согласно (16), (17), имеет вид

$$\hat{N}(a_0) = \sum_{i=1}^k \hat{f}_i(y_i - a_0),$$

$$\begin{aligned} \text{где } \hat{f}_i(z) &= \max_{|u_i| \leq 1} (z - u_i)^2 \cdot 0,1^{-2} = \\ &= (\max\{z - 1; z + 1\})^2 \cdot 0,1^{-2}, \quad i = 1, \dots, k. \end{aligned}$$

На рис. 3 показана динамика оценок: стандартных линейных \hat{A} (тонкая линия с круглым маркером), оценок \tilde{A} , найденных по методу максимального правдоподобия (жирная линия с квадратными маркерами) и оценок A_{\max}^{\min} (тонкая линия с треугольными маркерами). Оценки для неизвестного параметра a_0 находились при $k = 3, 4, \dots, 20$.

На рис. 3 также изображено истинное значение параметра

$$a_0^* = 3$$

(жирная прямая) и среднее значение \bar{a}_0 (тонкая линия), где

$$\bar{a}_0 = \lim_{k \rightarrow \infty} \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k y_i = \lim_{k \rightarrow \infty} \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k (a_0^* + u_i + \xi_i).$$

В данном примере с увеличением k среднее значение \bar{a}_0 стремится к $a_0^* + 0,5$:

$$\bar{a}_0 = a_0^* + 0,5.$$

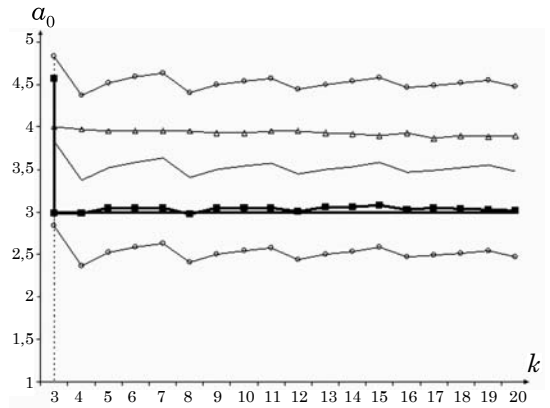


Рис. 3. Динамика оценок при $k = 3, \dots, 20$

Из рис. 3 видно, что стандартные линейные оценки \hat{A} и оценки A_{\max}^{\min} не приближаются к истинному значению $a_0^* = 3$ в отличие от оценки \tilde{A} , полученной по методу максимального правдоподобия.

Отметим, что при $k = 3$ множество $\tilde{A}^{\det}(y)$ модели $y_i = a_0 + u_i$ имеет вид

$$\begin{aligned} \tilde{A}^{\det}(y) &= [y_1 - 1; y_1 + 1] \cap [y_2 - 1; y_2 + 1] \cap \\ &\cap [y_3 - 1; y_3 + 1] = [2,987; 4,568]. \end{aligned}$$

При $k \geq 4$ соответствующие множества $\tilde{A}^{\det}(y) = \emptyset$. Следовательно, согласно теореме 3, множество наиболее вероятных значений \tilde{A} параметра a_0 состоит из единственной точки \tilde{a}_0 , что отражено на рис. 3.

Таким образом, в данной работе при оценивании неизвестного вектора параметров статистически неопределенной линейной модели метод максимального правдоподобия рассмотрен в рамках минимаксного подхода. На простейшем модельном примере проиллюстрировано построение оценок неизвестного параметра статистически неопределенной линейной модели с помощью максиминного и минимаксного подходов. ■

Литература

1. Кац И.Я., Куржанский А.Б. Минимаксное оценивание в многошаговых системах // Доклады АН СССР. — 1975. — Т. 221. — № 3. — С. 535–538.
2. Бахшиян Б.Ц., Назиров Р.Р., Эльясберг П.Е. Определение и коррекция движения. — М.: Наука. — 1980.
3. Кац И.Я., Куржанский А.Б. Минимаксная многошаговая фильтрация в статистически неопределенных ситуациях // Автоматика и телемеханика. — 1978. — № 11. — С. 79–87.
4. Красовский Н.Н. Теория управления движением. — М.: Наука. — 1968.
5. Пшеничный Б.Н., Покотило В.Г. Минимаксный подход к оценке параметров линейной регрессии // Известия АН СССР. Техническая кибернетика. — 1983. — № 2. — С. 94–102.
6. Эльясберг П.Е. Определение движения по результатам измерений. — М.: Наука, 1976.
7. Панков А.Р., Семенихин К.В. Методы параметрической идентификации многомерных линейных моделей в условиях неопределенности // Автоматика и телемеханика. — 2000. — № 5. — С. 76–92.
8. Verdu S., Poor H. V. Minimax linear observers and regulators for stochastic systems with uncertain second order statistics // IEEE Trans. Automatic Control. — 1984. — Vol. AC-29. — № 6. — P. 499–511.
9. Соловьев В.Н. Двойственные экстремальные задачи и их применение к задачам минимаксного оценивания // Успехи математических наук. — 1997. — Т. 52. — № 4. — С. 49–86.
10. Кац И.Я., Тимофеева Г.А. Динамические оценки доверительных и информационных множеств в статистически неопределенных системах // Известия РАН. Техническая кибернетика. — 1994. — № 6. — С. 42–46.
11. Медведева Н.В., Тимофеева Г.А. Метод максимального правдоподобия при оценивании параметров статистически неопределенной линейной модели // Труды IX научно-технической конференции «Молодые ученые — транспорту». — Екатеринбург: УрГУПС. — 2009. — С. 480–499. ISBN 978-5-94614-138-3.
12. Calafiore G. C., El Ghaoui L. Robust Maximum Likelihood Estimation in the Linear Model // Automatica. — 2001. — Vol. 37. — P. 573–580. ISBN 0005-1098.

References (transliteration)

1. Kats I.Ya., Kurzhanskij A.B. Minimaksnoe otsenivanie v mnogoshagovykh sistemakh [Minimax estimation in multistage systems] // Doklady AN SSSR. — 1975. — Т. 221. — № 3. — С. 535–538.
2. Bahshiyani B. C., Nazirov R. R., Elyasberg P. E. Opredelenie i korrektsiya dvizheniya. [Detection and correction of traffic]. — М.: Nauka. — 1980.
3. Kats I.Ya. Kurzhanskij A. B. Minimaksnaya mnogoshagovaya filtratsiya v statisticheski neopredelennykh situatsiyakh [Minimax multistage filtering in statistically uncertain situations] // Avtomatika i telemekhanika. — 1978. — № 11. — S. 79–87.
4. Krasovskij N. N. Teoriya upravleniya dvizheniem. [Theory of traffic control]. — М.: Nauka. — 1968.
5. Pshenichnyj B. N., Pokotilo V. G. Minimaksnyj podkhod k otsenke parametrov linejnoj regressii [Minimax approach to the parametric estimation of linear regression] // Izvestiya AN SSSR. Tekhnicheskaya kibernetika. — 1983. — № 2. — S. 94–102.
6. Elyasberg P. E. Opredelenie dvizheniya po rezultatam izmerenij. [Traffic detection by measurement results]. — М.: Nauka, 1976.
7. Pankov A. R., Semenikhin K. V. Metody parametriceskoj identifikatsii mnogomernykh linejnykh modelej v usloviyakh neopredelennosti [Methods of parametric identification of multidimensional linear models under conditions of uncertainty] // Telemekhanika i avtomatika, 2000. — № 5. — S. 76–92.
8. Verdu S., Poor H. V. Minimax linear observers and regulators for stochastic systems with uncertain second order statistics // IEEE Trans. Automatical control. — 1984. — Vol. AC-29. — № 6. — P. 499–511.
9. Solovjev V. N. Dvojtvennyye ekstremalnye zadachi i ikh primenenie k zadacham minimaksnogo otsenivaniya [Dual extremal problems and their application to problems of minimax estimation] // Uspekhi mat. nauk. — 1997. — Т. 52. — № 4. — S. 49–86.

10. Kats I.Ya., Timofeeva G. A. Dinamicheskie otsenki doveritelnykh i informacionnykh mnozhestv v statisticheski neopredelennykh sistemakh [Dynamic estimation of confidence and information sets in statistically uncertain systems] // Izvestiya RAN. Tekhnicheskaya kibernetika. — 1994. — № 6. — S.42–46.
11. Medvedeva N. V., Timofeeva G. A. Metod maksimalnogo pravdopodobiya pri otsenivanii parametrov statisticheski neopredelennoj linejnoy modeli [Maximum likelihood method by parametric estimation of a statistically uncertain linear model] // Trudy IX nauchno-tekhnicheskoy konferencii «Molodye uchenye — transportu». — Ekaterinburg: UrGUPS. — 2009. — S. 480–499.
12. Calafiore G. C., El Ghaoui L. Robust Maximum Likelihood Estimation in the Linear Model // Automatica. — 2001. — Vol. 37. — P. 573–580.

Статья сдана в редакцию 23 мая 2011 года.

С. А. Румянцев, А. М. Шихов

Математическая модель одномассной вибротранспортирующей машины с тремя дебалансными вибровозбудителями как единой электромеханической системы «вибромашина – асинхронные электродвигатели»

S. A. Rumyantsev, A. M. Shikhov

Mathematical model of one-mass vibro-transporting machine with three unbalanced vibroexciters as one electromechanical system «vibromachine – asynchronous electric motors»

Аннотация

Статья посвящена развитию ранее разработанной математической модели динамики нового перспективного типа вибротранспортирующих машин — машин с тремя дебалансными вибровозбудителями. Дифференциальные уравнения движения машины дополнены дифференциальными уравнениями, описывающими электромагнитные процессы в каждом из трех приводных двигателей в предположении, что все они — асинхронные электродвигатели переменного тока. Полученная система дифференциальных уравнений описывает электромеханическую систему «вибромашина – приводные электродвигатели» как единое целое.

Ключевые слова:

дифференциальные уравнения, вибротранспортирующие машины, дебалансные вибровозбудители, математическое моделирование.

Abstract

The article is devoted to the development of dynamics' previous made mathematical model of a new perspective type of vibro-transporting machines-machines with three unbalanced vibroexciters. Differential equations of machines' movement are supplemented with differential equations that describe electromagnetic processes in all three drive motors assuming they are asynchronous electric motors of alternate current. The obtained system of differential equations describes the electromechanical system «vibromachine – driving electric motors» as a whole.

Key words:

differential equations, vibro-transporting machines, unbalanced vibroexciters, mathematical simulation.

Сергей Алексеевич Румянцев, д-р техн. наук; заведующий кафедрой «Механика деформируемого твердого тела, основания и фундаменты» Уральского государственного университета путей сообщения, Екатеринбург, Россия. E-mail: SRumyantsev@math.usurt.ru.

Шихов Андрей Михайлович, аспирант; кафедра «Механика деформируемого твердого тела, основания и фундаменты» Уральского государственного университета путей сообщения, Екатеринбург, Россия.

Sergey A. Rumyantsev, DSc, Head of 'Mechanics of deformable rigid body and foundations' department of the Ural State University of Railway Transport, Ekaterinburg, Russia. E-mail: SRumyantsev@math.usurt.ru.

Andrey M. Shikhov, post-graduate student; 'Mechanics of deformable rigid body and foundations' department of the Ural State University of Railway Transport, Ekaterinburg, Russia.

Исследования поддержаны грантом РФФИ № 11-08-00053 а.

Research was financed by the grant of the Russian Fund of Fundamental Research № 11-08-00053 a.

В работах [1–3] начато исследование динамики нового перспективного типа вибротранспортирующих машин (ВТМ) — ВТМ с тремя дебалансными вибровозбудителями (ВВ). Система дифференциальных уравнений, описывающих движение ВТМ с самосинхронизирующимися ВВ, была получена и исследована И. И. Блехманом [4].

Для численных экспериментов, проведенных в работах [1–3], была использована полученная в работах [5, 6] система дифференциальных уравнений, содержащая дополнительные слагаемые, позволяющие более точно описывать неустановившиеся движения ВТМ с n -дебалансными вибровозбудителями. Для случая трех ВВ и безударных нагрузок эта система имеет вид:

$$\left\{ \begin{aligned} \ddot{x} &= \frac{1}{M} \left[-k_x \dot{x} - k_{x\varphi} \dot{\varphi} - c_x x - c_{x\varphi} \varphi + \sum_{i=1}^3 m_i \varepsilon_i (\ddot{\varphi}_i \sin \varphi_i + \dot{\varphi}_i^2 \cos \varphi_i) \right], \\ \ddot{y} &= \frac{1}{M} \left[-k_y \dot{y} - k_{y\varphi} \dot{\varphi} - c_y y - c_{y\varphi} \varphi + \sum_{i=1}^3 m_i \varepsilon_i (\dot{\varphi}_i^2 \sin \varphi_i + \ddot{\varphi}_i \cos \varphi_i) \right], \\ \ddot{\varphi} &= \frac{1}{J} \left[-k_{x\varphi} \dot{x} - k_{y\varphi} \dot{y} - k_\varphi \dot{\varphi} - c_{x\varphi} x - c_{y\varphi} y - c_\varphi \varphi + \sum_{i=1}^3 m_i \varepsilon_i r_i \times \right. \\ &\quad \left. \times (\dot{\varphi}_i^2 \sin(\varphi_i - \delta_i - \varphi) - \ddot{\varphi}_i \cos(\varphi_i - \delta_i - \varphi)) \right], \\ \ddot{\varphi}_i &= \frac{1}{J_i} I_i [L_i(\dot{\varphi}_i) - R_i(\dot{\varphi}_i)] + \\ &\quad + \frac{m_i \varepsilon_i}{J_i} [\dot{x} \sin \varphi_i - \dot{y} \cos \varphi_i - \\ &\quad - g \cos \varphi_i - r_i \ddot{\varphi} \cos(\varphi_i - \delta_i - \varphi) - \\ &\quad - r_i \dot{\varphi}^2 \sin(\varphi_i - \delta_i - \varphi)], \end{aligned} \right. \quad (1)$$

где: $M = M_{\text{PO}} + \sum_{i=1}^3 m_i$, $J = J_C + M_{\text{PO}}(x_C^2 + y_C^2) + \sum_{i=1}^3 m_i r_i^2$, $J_i = J_C + m_i \varepsilon_i^2$, $(i = 1, \dots, 3)$.

Здесь x, y, φ, φ_i — обобщенные координаты системы, где x, y — координаты центра масс рабочего органа (РО) ВТМ в некоторой декартовой системе координат, жестко связанной с фундаментом (рис. 1); φ — угол поворота РО относительно оси, восстановленной в центре масс, т. е. угол поворота подвижной системы координат (u, v), жестко связанной с РО, относительно неподвижной системы координат (отсчитывается против часовой стрелки); φ_i — угол поворота i -го дебаланса вокруг оси электродвигателя (отсчитывается против часовой стрелки); $L_i(\varphi_i)$ — вращающий момент электродвигателя i -го дебаланса; $R_i(\varphi_i)$ — момент сил сопротивления вращению для i -го дебаланса; I_i — индексы направления движения i -го дебаланса, где значение принимается равным «+1» для дебалансов, вращающихся против часовой стрелки (положительное направление), и значение «-1» для дебалансов, вращающихся по часовой стрелке; M_{PO} — масса РО ВТМ; m_i — масса i -го дебаланса; x_C, y_C — координаты центра масс; J_C — момент инерции РО ВТМ относительно центра масс; J_{C_i} — момент инерции ротора i -го дебаланса относительно оси вращения; ε_i — радиус инерции i -го дебаланса относительно оси вращения; δ_i — угол, задающий положение i -го дебаланса; r_i — расстояние от центра масс до оси i -го дебаланса; $c_x, c_y, c_\varphi, c_{x\varphi}, c_{y\varphi}$ — обобщенные коэффициенты жесткости упругих опорных элементов; $k_x, k_y, k_\varphi, k_{x\varphi}, k_{y\varphi}$ — коэффициенты вязкого сопротивления; g — ускорения свободного падения.

В упомянутой модели вращающие моменты приводных электродвигателей задаются функциями вида $L_i(\dot{\varphi}_i)$. В этом случае система дифференциальных уравнений автономна, т. к. время не входит в нее явно. Функции вида $L_i(\dot{\varphi}_i)$ представляют собой статические характеристики асинхронных электродвигателей, то есть модель описывает нестационарную

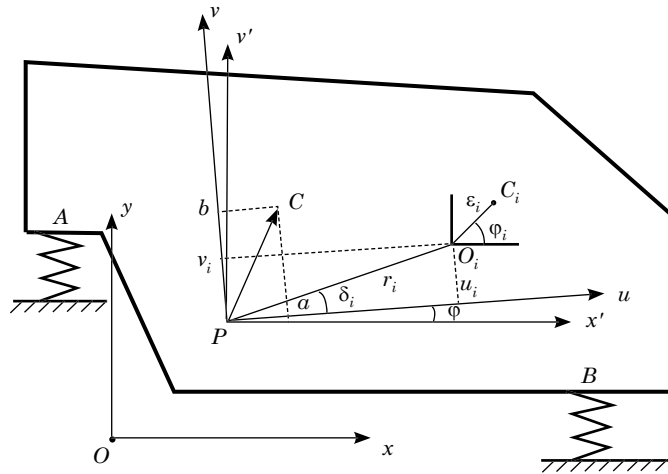


Рис. 1. Расчетная схема ВТМ с тремя ВВ
(показан только один, обозначенный индексом i)

динамику только самой ВТМ, без учета переходных динамических процессов в двигателях. Учет переходных динамических процессов, происходящих в двигателях, позволяет более точно описывать не только влияние двигателей на нестационарную динамику ВТМ, но и влияние динамики ВТМ на электромагнитные процессы в двигателе.

В статьях [7, 8] описаны дифференциальные уравнения движения электромеханической системы «вибромашина – электропривод» в случае независимо вращающихся ВВ, а также определены числовые значения параметров, входящих в систему дифференциальных уравнений (2). В качестве приводных двигателей для ВТМ могут быть использованы асинхронные двигатели как основного исполнения, так и их модификации.

В работе [7] получена система дифференциальных уравнений ВТМ с асинхронными двигателями. Для случая трех ВВ и предположении, что на машину могут действовать ударные нагрузки, вызванные падением на рабочий орган машины значительной массы [5, 6], эта система примет следующий вид:

$$\begin{aligned}
 \ddot{x} &= \frac{1}{M} \left[-k_x \dot{x} - k_{x\varphi} \dot{\varphi} - c_x x - c_{x\varphi} \varphi + \right. \\
 &\quad \left. + \sum_{i=1}^3 m_i \varepsilon_i (\ddot{\varphi}_i \sin \varphi_i + \dot{\varphi}_i^2 \cos \varphi_i) \right], \\
 \ddot{y} &= \frac{1}{M} \left[-k_y \dot{y} - k_{y\varphi} \dot{\varphi} - c_y y - c_{y\varphi} \varphi + \right. \\
 &\quad \left. + \sum_{i=1}^3 m_i \varepsilon_i (\dot{\varphi}_i^2 \sin \varphi_i + \ddot{\varphi}_i \cos \varphi_i) - F_{уд} \right], \\
 \ddot{\varphi} &= \frac{1}{J} \left[-k_{x\varphi} \dot{x} - k_{y\varphi} \dot{y} - k_\varphi \dot{\varphi} - c_{x\varphi} x - \right. \\
 &\quad \left. - c_{y\varphi} y - c_\varphi \varphi + \sum_{i=1}^3 m_i \varepsilon_i r_i (\dot{\varphi}_i^2 \sin(\varphi_i - \delta_i - \varphi) - \right. \\
 &\quad \left. \ddot{\varphi}_i \cos(\varphi_i - \delta_i - \varphi)) + M_{уд} \right], \\
 \ddot{\varphi}_i &= \frac{1}{J_i} \left[A_i (\psi_{i2} \psi_{i3} - \psi_{i1} \psi_{i4}) - R_i(\dot{\varphi}_i) \right] + \\
 &\quad + \frac{m_i \varepsilon_i}{J_i} \left[\ddot{x} \sin \varphi_i - \ddot{y} \cos \varphi_i - g \cos \varphi_i - \right. \\
 &\quad \left. - r_i \ddot{\varphi} \cos(\varphi_i - \delta_i - \varphi) - r_i \dot{\varphi}^2 \sin(\varphi_i - \delta_i - \varphi) \right], \\
 \dot{\psi}_{i1} &= U_m \cos(\omega_c t + \alpha) - K_{i1} \psi_{i1} + K_{i2} \psi_{i3}, \\
 \dot{\psi}_{i2} &= U_m \sin(\omega_c t + \alpha) - K_{i1} \psi_{i2} + K_{i2} \psi_{i4}, \\
 \dot{\psi}_{i3} &= -K_{i3} \psi_{i3} + K_{i4} \psi_{i1} - p_i \dot{\varphi}_i \psi_{i4}, \\
 \dot{\psi}_{i4} &= -K_{i3} \psi_{i4} + K_{i4} \psi_{i2} + p_i \dot{\varphi}_i \psi_{i3}, \\
 (i &= 1, \dots, 3).
 \end{aligned} \tag{2}$$

Здесь $F_{уд}$ — сила ударного воздействия; $M_{уд}$ — момент ударного воздействия относительно центра масс [5, 6]. Для исследования асинхронных двигателей с симметричными

обмотками была использована система ортогональных координат α, β , неподвижных относительно статора [9, 10], и для того чтобы не вводить тройную индексацию потоко-сцеплений, введены следующие обо-значения:

$$s\alpha = 1; s\beta = 2; r\alpha = 3; r\beta = 4.$$

Ψ_{i1}, Ψ_{i2} — полные потоко-сцепления обмоток статора по осям α, β ; Ψ_{i3}, Ψ_{i4} — полные потоко-сцепления обмо-ток ротора по осям α, β ; U_m — ам-плитудное значение напряжения сети; $\omega_c = 2\pi f$ — угловая частота на-пряжения сети; f — частота питаю-щей сети; α — начальная фаза сети; p_i — число пар полюсов i -го двига-теля; $A_i, K_{i1}, K_{i2}, K_{i3}, K_{i4}$ — коэффи-циенты, учитывающие индуктивности статора и ротора (3), (4).

$$A_i = \frac{3p_i M_i}{2(L_{is}L_{ir} - M_i^2)}, \quad (3)$$

$$K_{i1} = \frac{r_{is}L_{ir}}{L_{is}L_{ir} - M_i^2}; K_{i2} = \frac{r_{is}M_i}{L_{is}L_{ir} - M_i^2};$$

$$K_{i3} = \frac{r_{ir}L_{is}}{L_{is}L_{ir} - M_i^2}; K_{i4} = \frac{r_{ir}M_i}{L_{is}L_{ir} - M_i^2}, \quad (4)$$

где r_{is}, r_{ir} — активные сопротивления фаз статора и ротора i -го двигателя; M_i, L_{is}, L_{ir} — взаимная и полные ин-дуктивности обмоток статора и рото-ра i -го двигателя (5), (6).

Взаимная индуктивность i -го двигателя M_i связана с индуктив-ным сопротивлением взаимоиндук-ции X_{12} в схеме замещения:

$$M_i = \frac{X_{12}}{\omega_c}. \quad (5)$$

Полные индуктивности фаз обмо-ток статора и ротора определяют-ся суммой потоко-сцеплений с рабо-чим потоком и потоком рассеяния:

$$L_{is} = \frac{X_{12} + X_1}{\omega_c}; L_{ir} = \frac{X_{12} + X_2}{\omega_c}, \quad (6)$$

где X_1, X_2 — индуктивные сопротив-ления рассеяния из схемы замеще-ния асинхронного двигателя; ω_c — угловая частота напряжения сети.

Полученная система для ВТМ с тремя ВВ содержит 18 дифференци-альных уравнений, описывающих дви-жение электромеханической системы «вибромашина — приводные электро-двигатели» для случая асинхронных двигателей переменного тока.

Преимущество системы (2) состо-ит в том, что она позволяет описывать не только влияние двигателей на ма-шину, но и влияние машины на двига-тели. Кроме того, зная величины $\Psi_{i1}, \Psi_{i2}, \Psi_{i3}, \Psi_{i4}$, легко найти величину тока, текущего через обмотки статора, в любой момент времени по формулам:

$$i_{i1} = \frac{L_{ir}\Psi_{i1} - M_i\Psi_{i3}}{L_{is}L_{ir} - M_i^2}; i_{i2} = \frac{L_{ir}\Psi_{i2} - M_i\Psi_{i4}}{L_{is}L_{ir} - M_i^2},$$

$$i_{i3} = \frac{L_{is}\Psi_{i3} - M_i\Psi_{i1}}{L_{is}L_{ir} - M_i^2}; i_{i4} = \frac{L_{is}\Psi_{i4} - M_i\Psi_{i2}}{L_{is}L_{ir} - M_i^2},$$

Полученная система дифферен-циальных уравнений описывает элек-тротромеханическую систему «виброма-шина — приводные электродвигате-ли» как единое целое. ■

Литература

1. Румянцев С. А., Тарасов Д. Ю., Шихов А. М. Особенности динамики однофазной вибротранспортирующей машины с тремя вибровозбудителями // Проблемы прикладной математики и механики: сб. науч. тр. / под общ. ред. С. Л. Дерябина. — Екатеринбург: УрГУПС. 2008. — Вып. 65. — С. 137–152.
2. Алексеева О. Н., Лобанова Г. С., Румянцев С. А., Шихов А. М. Особенности динамики вибротранспортирующих машин с тремя дебалансными вибровозбудителями / под общ. ред. С. Л. Дерябина // Проблемы прикладной математики, механики и информатики: сб. науч. тр. — Екатеринбург: УрГУПС. 2009. — Вып. 77. — 276 с.
3. Румянцев С. А., Тарасов Д. Ю., Шихов А. М. Особенности динамики вибротранспортирующих машин с тремя независимо вращающимися дебалансными вибровозбудителями // Транспорт Урала. — 2010. — № 3. — С. 47–50.

4. Блехман И.И. Синхронизация динамических систем. — М.: Наука, 1971. — 654 с.
5. Румянцев С.А. Моделирование динамики переходных процессов самосинхронизирующихся вибрационных машин // Известия вузов. Горный журнал. — 2003. — № 6. — С. 111–118.
6. Румянцев С.А. Динамика переходных процессов и самосинхронизация движений вибрационных машин. — Екатеринбург: УрО РАН. — 2003. — 135 с.
7. Румянцев С.А., Азаров Е.Б. Математическая модель нестационарной динамики системы «вибромашина — электропривод» в случае привода от асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором // Транспорт Урала. — 2005. — № 1. С. 2–7.
8. Румянцев С.А., Азаров Е.Б. Исследование нестационарной динамики вибротранспортирующих машин с помощью математической модели // Транспорт Урала. — 2005. — № 4. — С. 45–50.
9. Иванов-Смоленский А.В. Электрические машины. — М.: Энергия, 1980. — 928 с.
10. Копылов И.П., Мамедов Ф.А., Беспалов В.Я. Математическое моделирование асинхронных машин. — М.: Энергия, 1969. — 96 с.

References (transliteration)

1. Rumyantsev S.A., Tarasov D.Yu., Shikhov A.M. Osobennosti dinamiki odnomassnoj vibrotransportiruyushchej mashiny s tremya vibrovozbuditelyami [The peculiarities of one-mass vibro-transporting machine dynamics with three vibroexciters] / pod obshch. red. S.L. Deryabina // Problemy prikladnoj matematiki i mekhaniki: sb. nauch. tr. — Ekaterinburg: UrGUPS. 2008. — Vyp. 65. — S. 137–152.
2. Alekseeva O.N., Lobanova G.S., Rumyantsev S.A., Shikhov A.M. Osobennosti dinamiki vibrotransportiruyushchikh mashin s tremya debalansnymi vibrovobuditelyami [The peculiarities of vibro-transporting machines dynamics with three unbalanced vibroexciters] // Problemy prikladnoj matematiki, mekhaniki i informatiki: sb. nauch. tr./pod obshch. red. S.L. Deryabina. — Ekaterinburg: UrGUPS. 2009. — Vyp. 77. — 276 s.
3. Rumyantsev S.A., Tarasov D.Yu., Shikhov A.M. Osobennosti dinamiki vibrotransportiruyushchikh mashin s tremya nezavisimo vrashchayushchimisya debalansnymi vibrovobuditelyami [The peculiarities of vibro-transporting machines dynamics with three independent revolving unbalanced vibro exciters] // Transport Urala. — 2010. — № 3. — S. 47–50.
4. Blekhman I.I. Sinkhronizatsiya dinamiceskikh sistem [Dynamic systems' synchronization]. — М.: Nauka, 1971. — 654 s.
5. Rumyantsev S.A. Modelirovanie dinamiki perehodnykh protsessov samosinkhroniziruyushchikhsya vibratsionnykh mashin [Simulation of dynamics' transition processes of selfsynchronizing vibro-transporting machines] // Izvestiya vuzov. Gornyj zhurnal. — 2003. — № 6. — S. 111–118.
6. Rumyantsev S.A. Dinamika perekhodnykh protsessov i samosinkhronizatsiya dvizhenij vibratsionnykh mashin [Dynamics of transition processes and self-synchronization of vibro-transporting machines movement]. — Ekaterinburg: UrO RAN. — 2003. — 135 s.
7. Rumyantsev S.A., Azarov E.B. Matematicheskaya model nestatsionarnoj dinamiki sistemy «vibromashina – elektroprivod» v sluchae privoda ot asinkhronnykh dvigatelej s korotkozamknutym rotorom [Mathematical model of sytem's nonstationary dynamics «vibromachine – electric motor» in case of asynchronous motor drive with short-circuit rotor] // Transport Urala. — 2005. — № 1. С. 2–7.
8. Rumyantsev S.A., Azarov E.B. Issledovanie nestatsionarnoj dinamiki vibrotransportiruyushchikh mashin s pomoshchyu matematicheskoy modeli [Research of nonstationary dynamics of vibro-transporting machines with the help of mathematical model] // Transport Urala. — 2005. — № 4. — С. 45–50.
9. Ivanov-Smolensky A.V. Elektricheskie mashiny [Electric machines]. — М.: Energiya, 1980. — 928 s.
10. Kopylov I.P., Mamedov F.A., Bepalov V.Ya. Matematicheskoe modelirovanie asinhronnykh mashin [Mathematical simulation of asynchronous machines]. — М.: Energiya, 1969. — 96 s.

Статья сдана в редакцию 29 апреля 2011 года.

УПРАВЛЕНИЕ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

УДК 621.337.22

А. Я. Калиниченко, А. И. Фесечко, И. Н. Шубин

Повышение эффективности работы электроподвижного состава с тиристорными импульсными регуляторами

UDC 621.337.22

A.Ya. Kalinichenko, A.I. Fesechko, I.N. Shubin

Operation efficiency increase of electric motive power with thyristor pulse controllers

Аннотация

Основная тенденция в развитии тягового электрооборудования электроподвижного состава (ЭПС) заключается в широком применении полупроводниковых силовых преобразователей, частота работы которых попадает в полосу частот работы систем, обеспечивающих безопасность движения поездов. Это является одним из факторов сдерживания широкого применения такого типа ЭПС при несистематизированной работе фаз преобразователей в поезде, или фаз многофазного преобразователя электровоза, появляются дополнительные частоты, воздействующие на систему безопасности.

В статье рассмотрен метод улучшения работы таких систем путем применения системы синхронизации работы преобразователей независимо от его типа, показаны основные параметры цифровой системы синхронизации, ее количественные показатели, рекомендованы параметры для практического использования.

Ключевые слова:

безопасность движения, полупроводниковые преобразователи, многофазные преобразователи, цифровая система синхронизации.

Abstract

The main tendency in development of haulage equipment of an electric motive power is wide use of semiconductor power converters, which operation frequency occurs in a frequency band of systems, providing trains movement safety. This is one of the factors, which restrain the wide use of such kinds of electric motive power by unsystematic operation of converters' stage in a train or polyphase converter's stage of an electric locomotive — additional frequencies, which influence the safety system, occur.

The article considers the method of such systems' operation improvement by means of using the system of synchronization of converters' operation, regardless of a converter type. The main parameters of digital synchronization system and its quantitative parameters are shown, the parameters for practical use are recommended.

Key words:

movement safety, semiconductor converters, polyphase converters, digital synchronization system.

Анатолий Яковлевич Калиниченко, д-р техн. наук, профессор; заместитель директора Научно-инновационного центра Академии электротехнических наук РФ, Москва, Россия. E-mail: akalinich@mail.ru.

Анатолий Иванович Фесечко, канд. техн. наук; старший научный сотрудник учреждения РАН-ВЦ им. А. А. Дороницына РАН, Москва, Россия. E-mail: fesechko_Anatoli@mail.ru.

Игорь Николаевич Шубин, член Совета Федерации Федерального собрания РФ, Москва, Россия. E-mail: INShybin@coyncil.gov.ru

Anatoly.Ya. Kalinichenko, DSc, professor; Deputy-head of Scientific — Innovative Center of Electrotechnical Sciences Academy of RF, Moscow, Russia. E-mail: akalinich@mail.ru.

Anatoly I. Fesechko, PhD; senior scientific officer of Dorodnicyn Computing Center of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia. E-mail: fesechko_Anatoli@mail.ru.

Igor N. Shubin, member of the Council of Federation of the Federal Assembly of the Russian Federation, Moscow, Russia. E-mail: INShybin@coyncil.gov.ru.

Эксплуатация электроподвижного состава (ЭПС) с системой безопасности движения, работающей на определенных частотах, предъявляет жесткие требования к работе тяговых тиристорных импульсных регуляторов (преобразователей) ЭПС.

Произвольное включение тяговых тиристорных преобразователей различных вагонов в поезде и фаз многофазного преобразователя электровоза приводит к возникновению биений силового тока и к появлению помех, оказывающих мешающее влияние на системы безопасности движения, рабочая частота которых может находиться в диапазоне 25–5555 Гц в зависимости от типа автоблокировки. Смещение во времени начала работы фаз тиристорного преобразователя каждого вагона в поезде относительно друг друга на $1/m_B$ (m_B — число вагонов в поезде) позволяет улучшить частотный спектр в контактной сети. Четкое смещение во времени на указанную величину, как правило, обеспечивается системой синхронизации.

Возможно смещение начала работы фаз тиристорных регуляторов вагонов заданием различного исходного состояния тактового счетчика системы управления каждого вагона. При этом работа цифровой системы управления (ЦСУ) каждого вагона обеспечивается одним генератором тактовых импульсов. Такое жесткое задание исходного состояния тактовых счетчиков существенно усложняет эксплуатацию, так как требует строгой постановки вагона своим номером при формировании состава, и, кроме того, при выходе из строя единственного генератора тактовых импульсов приводит к выходу из строя системы управления преобразователями всех вагонов, фаз электровоза.

Рассматривается система синхронизации работы тиристорных импульсных преобразователей ЭПС (рис. 1), позволяющая в наибольшей степени удовлетворить требованиям эксплуатации и технологичности в формировании структуры.

Данная система синхронизации обеспечивает смещение начала работы тиристорных преобразователей

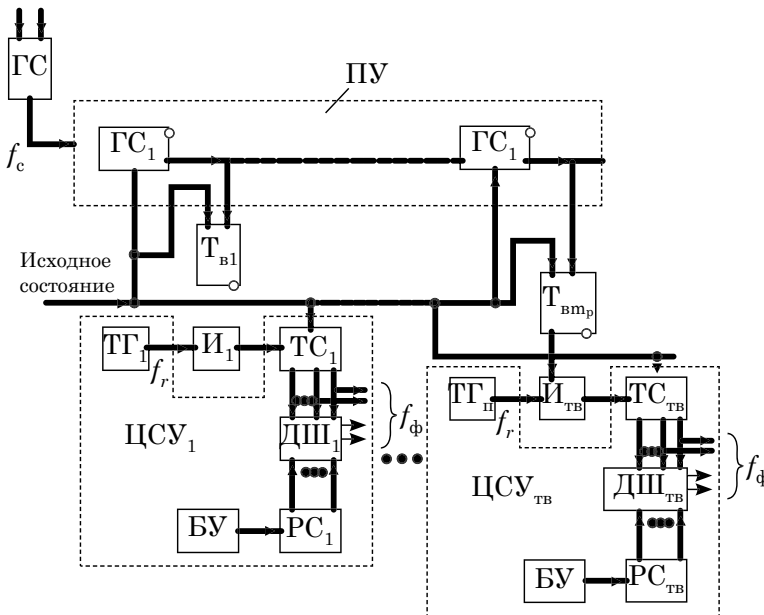


Рис. 1. Принципиальная схема системы синхронизации тиристорных импульсных преобразователей

лишь в начальной стадии при подаче m_b импульсов, так как остальные импульсы после ввода в синхронизм на работу системы влияния не оказывают, в том числе не влияет и выход из строя генератора синхронизации (ГС). Однако в случае выхода из синхронизма одной или нескольких фаз в процессе работы система синхронизации вновь вводит ее в синхронизм. Кроме того, при таком принципе построения системы синхронизации возможна любая произвольная перестановка вагонов, так как в этом случае смещение во времени начала работы фаз преобразователей ЭПС на $1/m_b$ обеспечивается автоматически.

Данное устройство синхронизации содержит в себе кольцевое пересчетное устройство КПУ. Однако триггеры КПУ $ТС_1$ – $ТС_{m_b}$, число которых равно числу вагонов, разнесены каждый по системам управления вагонов. Частота работы КПУ задается с помощью генератора синхронизации ГС, имеющего набор дискретных значений частот от трех до десяти значений. При этом конкретное значение частоты устанавливается при формировании состава. Эти генераторы находятся на головных вагонах поезда [1].

Для связи цифровых систем управления преобразователями ЦСУ₁–ЦСУ _{m_b} с устройством синхронизации предназначены триггеры включения $T_{в1}$ – $T_{вm_b}$, подключенные к прямому выходу триггеров $ТС_1$ – $ТС_{m_b}$, а прямым выходом — к одному входу элементов I_1 – I_{m_b} , стоящих в цепи тактовых счетчиков $ТС_1$ – $ТС_{m_b}$ ЦСУ. Первоначально все элементы памяти устанавливаются в исходное состояние, после чего происходит запуск ГС, который работает с частотой

$$f_{ci} = m_{вi} f_{\Phi}, \quad (1)$$

где f_{Φ} — частота переключения тиристорной фазы преобразователя; $i = 3, 4, 5 \dots 10$ — число устанавливаемых дискретных значений частот.

Триггеры $ТС_1$ – $ТС_{m_b}$ пересчетного устройства ПУ подключены друг к другу таким образом, что при каждом очередном поступлении импульса синхронизации на вход ПУ происходит их последовательное переключение [2].

При поступлении первого импульса синхронизации на ПУ (рис. 2) триггер $ТС_1$ изменяет свое состояние и переходит в другое устойчивое состояние, при котором с его выхода поступает потенциальный сигнал на один вход I_1 . Так как тактовые генераторы $TГ_1$ – $TС_1$ работают непрерывно с частотой

$$f_r = f_{\Phi} \cdot 2^{n_1}, \quad (2)$$

где n_1 — разрядность тактового счетчика ЦСУ, при совпадении этих сигналов в элементе И начнется заполнение счетчика $ТС_1$. По истечении времени $\frac{1}{m_b} T$, например при $m_b = 4$ – $0,25 T$ (рис. 2), на ПУ поступает второй синхронизирующий импульс, который уже переводит второй триггер $ТС_2$ в другое устойчивое состояние, тем самым обеспечивая заполнение второго счетчика. По мере поступления последующих импульсов синхронизации через каждые $\frac{1}{m_b} T$ будут вступать в работу остальные ЦСУ.

При совпадении соответствующих кодов в дешифраторах $DШ_1$ – $DШ_{m_b}$, задаваемых $ТС_1$ – $ТС_{m_b}$ и реверсивными счетчиками $РС_1$ – $РС_{m_b}$, будут формироваться импульсы управления с частотой f_{Φ} [3].

В связи с тем что на состояние триггеров $T_{в1}$ – $T_{вm_b}$ поступление последующих импульсов синхронизации не оказывает влияния при выходе из строя ГС после запуска, работа ЦСУ не нарушается. Однако, если по каким-либо причинам этот триггер займет вновь нулевое положение, система синхронизации обеспечит его переключение после вступления в работу предшествующей фазы по истечении времени — $\frac{1}{m_b} T$.

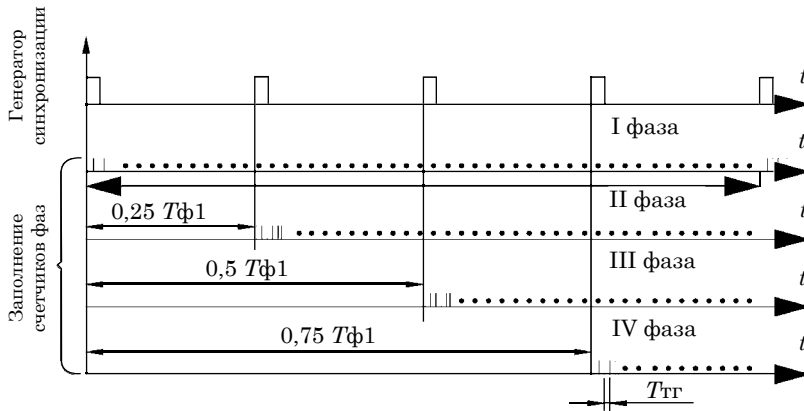


Рис. 2. Временные диаграммы работы устройства синхронизации для четырехвагонного состава

Как видно из описания работы системы синхронизации и из диаграмм ее работы (см. рис. 2), четкость смещения во времени начала работы фаз относительно друг друга зависит от момента поступления импульса с ТГ после прихода сигнала с триггера включения. То есть погрешность смещения τ^1 может находиться в пределах $0 \leq \tau^1 \leq T_{\text{ТГ}}$ ($T_{\text{ТГ}}$ — период следования импульсов тактового генератора).

Необходимо оценить возможные пределы этой погрешности для практических целей. Если обозначить смещение фаз (вагонов) во времени относительно друг друга как $\tau = \frac{T_{\phi}}{m_{\text{в}}}$, то текущее значение смещения, носящее вероятностный характер, можно представить как

$$\tau_{\text{Т}} = \frac{T_{\phi}}{m_{\text{в}}} + \tau^1. \quad (3)$$

Таким образом, наиболее неблагоприятный режим, когда $\tau^1 = T_{\text{ТГ}}$. В этом случае возможно максимальное отклонение смещения τ от заданной величины; наиболее благоприятный режим — при совпадении фаз импульсов синхронизации и импульсов генераторов ТГ, то есть при $\tau^1 = 0$.

Учитывая, что $T_{\phi} = T_{\text{ТГ}} 2^{n_1}$, выражение (3) можно представить как

$$\tau_{\text{Т}} = T_{\text{ТГ}} \frac{2^{n_1}}{m_{\text{в}}} + \tau^1. \quad (4)$$

Принимая $\tau^1 = T_{\text{ТГ}}$ для самого неблагоприятного режима, выражение (4) записывается как

$$\tau_{\text{Т}} = T_{\text{ТГ}} \frac{2^{n_1}}{m_{\text{в}}} + T_{\text{ТГ}} \left(\frac{2^{n_1}}{m_{\text{в}}} + 1 \right). \quad (5)$$

Исследования показывают, что частота переключения тиристоров f_{ϕ} не влияет на величину погрешности τ .

Погрешность отклонения ϕ смещения во времени начала работы фаз τ можно представить как

$$\phi = \frac{\tau_{\text{Т}} - \tau}{\tau} \times 100$$

и после преобразования ϕ записывается как

$$\phi = \frac{m_{\text{в}}}{2^{n_1}} \times 100. \quad (6)$$

Как видно из выражения (6), погрешность отклонения смещения фаз относительно друг друга при рассмотренном принципе синхронизации работы тиристорных преобразователей

ЭПС при предельном значении запаздывания включения фазы зависит лишь от числа вагонов в поезде и разрядности счетчиков. Для возможных случаев на практике (рис. 3) $m_B = 3-10$, $n_1 = 7-10$, погрешность φ может достигать от 6,4 до 0,3%. Причем с увеличением разрядности тактового счетчика ЦСУ погрешность φ существенно снижается и при разрядности $n_1 = 10$ практически не может оказать влияния на четкость смещения фаз во времени. В этой области составность поезда также не оказывает существенного влияния на φ , изменяющуюся в пределах 0,3–0,75% при рассматриваемых условиях.

Для эффективного использования рассматриваемого принципа синхронизации работы тиристорных импульсных регуляторов электроподвижного состава при автоматическом смещении во времени начала работы вагонов относительно друг друга на $\frac{1}{m_B}$ целесообразно построение счетчиков ЦСУ на базе 9–10 разрядов при любой составности поезда. ■

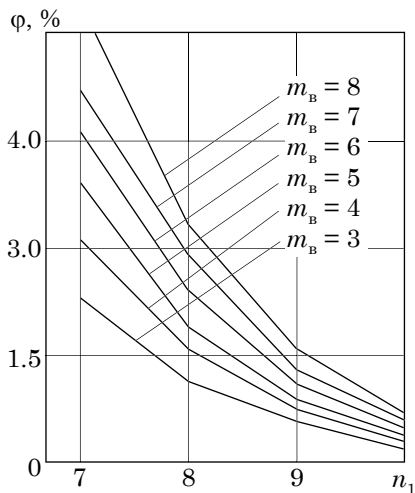


Рис. 3. Диаграммы зависимости погрешности φ отклонения смещения начала работы фаз от числа вагонов в поезде m_B и от разрядности тактового счетчика n_1

Литература

1. Баранов Л.А., Бакеев Е.Е. Аналого-цифровые преобразователи устройства автоматики и телемеханики электрифицированных железных дорог. — М.: Транспорт, 1979. — 207 с.
2. Калининченко А.Я., Грачев А.Н. Коммутационные бортовые перенапряжения и методы их ограничения // Труды Российского научно-исследовательского и проектно-конструкторского института информатизации, автоматизации и связи ВНИИАС. — М., 2007. — Вып. 7. — С. 292–297.
3. Бесекерский В.А. Цифровые автоматические системы. — М.: Наука, 1976. — 576 с. (Теоретические основы технической кибернетики).

References

1. Baranov L.A., Bakeev E.E. Analogo-tsifrovye preobrazovateli ustrojstva avtomatiki i telemexhaniki elektrifitsirovannykh zheleznykh dorog. [Analog-digital converters of automatics and telemechanics devices of electrified railways]. — М.: Transport, 1979. — 207 s.
2. Kalinichenko A.Ya., Grachev A.N. Kommutatsionnye bortovye perenapryazheniya i metody ikh ogranicheniya. [Switch board overvoltage and methods of their restriction]. Trudy Rossijskogo nauchno-issledovatelskogo i proektno-konstruktorskogo instituta informatizatsii, avtomatizatsii i svyazi VNIAS. — М., 2007. — Vyp. 7. — S. 292–297.
3. Besekerskij V.A. Tsifrovye avtomaticheskie sistemy. [Digital automatic systems]. — М.: Nauka, 1976. — 576 s. (Teoreticheskie osnovy tekhnicheskoi kibernetiki).

Статья сдана в редакцию 25 апреля 2011 года.

М. Б. Петров

Обновление экономической парадигмы как предпосылка успешной модернизации российской экономики

M. B. Petrov

Renewal of economic paradigm as a precondition for successful modernization of Russian economics

Аннотация

В статье рассматриваются социально-экономические условия и противоречия перехода России к модернизации. Стратегия модернизации осуществляется как часть целостной национальной стратегии постреформенного возрождения и связанной с ней системной экономической парадигмой, которая должна сменить либеральную парадигму. В фундамент государственной экономической стратегии должны быть положены научно-технические, технологические и гуманитарные цели.

Исходным концептуальным условием действительности и промышленно-инвестиционной, и научно-технической политики должна стать концентрация внутренних инвестиционных ресурсов, главным источником которых должна стать ресурсная рента. В статье рассматриваются пути возможной централизации ренты для получения ресурса широкомасштабной модернизации. Модернизация всего национального производства должна осуществляться на фоне и при условии укрепления ресурсного, технологического и инфраструктурного потенциалов. Все это требует повышения нормы накопления.

В качестве системообразующего критерия развития предлагается критерий наращивания ресурсно-технологического потенциала в общегосударственной, макрорегиональной, межотраслевой, макрокорпоративной и кластерной системах отсчета.

Неразрешимость базисных проблем и противоречий российской экономики — непреодолимое препятствие курса на модернизацию.

Ключевые слова:

стратегия модернизации, экономическая идеология и политика, рыночное и пострыночное регулирование, ресурсная рента, структура национального продукта.

Abstract

In the article there are viewed the socio-economic conditions and contradictions of Russia's transfer to modernization. The modernization strategy is accomplished as the part of the whole national strategy of post-reforming renewal and system economic paradigm connected with it that should change the liberal one. Scientific-technical, technological and humanitarian aims should be the fundamentals of national economic strategy.

The initial conceptual condition of efficiency and industrial-investment, scientific-technical policy should be the concentration of domestic investment resources, main resource of which is a resource rent. In the article there are described the ways of rent possible centralization for getting wide-ranging modernization resource. Modernization of all national production should be accomplished under the condition of resource, technological and infrastructure potentials development. It requires the increase of accumulation rate.

As a development backbone criterion there is offered the criterion of resource-technological potential rise in state, macro-regional, inter-industry, macro-corporate and cluster reference system.

Undecidability of basic problem and contradictions of Russian economics is insuperable obstacle of modernization policy.

Key words:

modernization strategy, economic ideology and politics, market and post market regulation, resource rent, structure of national product.

Михаил Борисович Петров, д-р техн. наук, руководитель Центра развития и размещения производительных сил Института экономики Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия. michpetrov@mail.ru.

Mikhail B. Petrov, DSc, Head of productive forces development and placement Center, Institute of Economics, Ural branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia. michpetrov@mail.ru.

Статья подготовлена при финансовой поддержке УрО РАН, проект № 09-С-6-1003.

The article was prepared by the financial support of Ural branch of the Russian Academy of Sciences, project № 09-С-6-1003.

Сегодня в обществе формируется новая идеология развития, в том числе экономическая. Без нее не представляется возможным реализовать выдвинутые на уровне политического руководства цели, связанные с технологической модернизацией страны. На смену либеральной идеологии экономического развития, встроеной в западную парадигму догоняющего развития и по-прежнему доминирующую в реальной экономической политике России, должна формироваться идеология большого проекта.

В идеологии экономического либерализма экономика сводится к рынку и проблеме его регулирования. Приоритеты такой идеологии — вступление в ВТО при полном открытии внутренних рынков и конкуренции на них с транснациональными компаниями без использования рычагов государственного регулирования, недопущение активной эмиссии национальной валюты. Вообще, либерализм составил основное ценностное и идеологическое содержание государственной политики России с 1991 г. и практически до современного периода. Но рынок сам по себе не есть самоцель, это только один из всеобщих экономических механизмов координации деятельности. Этот механизм вариативен — отсюда выделение моделей рынка. Такое вариативное понимание стало к настоящему времени общепринятым, что и служит важной предпосылкой к возобновлению прогрессивного развития и к утверждению последнего как ценности. Рынок не задает направления в экономическом развитии, так как устойчиво воспроизводит те потребности общества, которые уже приняли форму рыночного спроса, то есть потребности текущие. Поэтому в интересах развития рыночный механизм координации может и должен сочетаться с развивающимся плановым механизмом. В генеральной мировой динамике смена индустриального типа производства

постиндустриальным связана с сокращением сферы действия рыночного механизма и развитием пострыночного (кооперация, интеграция, программирование и планирование и т.д.) регулирования. В условиях же глобализации экономической либерализм неизбежно приводит к редукции структуры национального производства и ее консервации.

Государственная экономическая политика либерализма ограничивается, главным образом, финансовой и денежно-кредитной. Но и они, по сути, не цель, а средство достижения желаемых перемен в обществе. Необходимо рассматривать мероприятия экономической политики как инструмент для решения выдвигаемых стратегических задач. Если исходить из этого, то в фундамент государственной экономической стратегии должны быть положены научно-технические, технологические и гуманитарные цели. В качестве системообразующего критерия развития предлагается критерий наращивания ресурсно-технологического потенциала в общегосударственной, макрорегиональной, межотраслевой, макрокорпоративной и кластерной системах отчета.

В этом случае экономическая стратегия и политика становятся содержательными и направленными на решение стратегических проблем страны. Одна из крупнейших экономических проблем стратегического уровня — воспроизводство потенциала страны и его использования. Приоритетная форма воспроизводства — модернизация, на которую направлена научно-техническая и промышленно-инвестиционная политика.

Однако переход к модернизации в современной России отягощен рядом противоречий, не находящихся пока продуктивного разрешения. Необходима мобилизация ресурсов в направлении технологической модернизации в условиях господства

отношений, препятствующих такой мобилизации.

На наш взгляд, исходным концептуальным условием действительности и промышленно-инвестиционной, и научно-технической политики должна стать концентрация внутренних инвестиционных ресурсов. Важнейшей предпосылкой к модернизации является публичная постановка вопроса о преодолении главных социально-экономических препятствий, блокирующих сегодня эффективное использование экономических ресурсов в интересах развития нации и по-прежнему замалчиваемых [1]. Между тем необходимо обеспечивать своевременное обновление экономических отношений для последовательного проведения провозглашаемых государственных стратегий, как в текущем, так и долгосрочном контекстах. Стратегии развития технологий, отдельных отраслей и систем должны быть интегрированы и подчинены целостной *национальной стратегии постреформенного возрождения*, в рамках которой уже невозможно избежать прямого обоснования путей разрешения базисных социально-экономических противоречий, обостренных политикой 90-х годов и ставших «отложенными проблемами» страны в начале XXI века.

В целом поиск национальной стратегии стал ареной острой борьбы, в которую вовлечены как внутренние, так и внешние силы, а стратегические сценарии долгосрочного развития определяются ходом и исходом этой борьбы. Стратегия опирается на определенную социально-экономическую парадигму. Системная экономическая парадигма связана с пониманием экономики не просто как системы рынков, но системы воспроизводственных отношений. Эти отношения базисные, то есть включают организацию собственности, способ присвоения. В рамках определенного социально-экономического базиса возможна настройка

экономических механизмов, но в целом возможности достижения политически провозглашенных целей вопреки логике базисных отношений остаются ограниченными.

Оценивая данные об объеме, динамике и структуре национального продукта страны и ее регионов и говоря при этом о начавшемся экономическом росте, следует учитывать следующие обстоятельства:

- валовой национальный продукт страны в докризисном 2007 г. и посткризисном 2010 г. не превышает 75% от уровня 1990 г. при сокращающейся доле товаров в нем. Так, даже в сравнительно благополучной в смысле сохранения промышленного потенциала и промышленной специализации Свердловской области доля промышленности в региональном валовом продукте лишь 38%;
- национальный продукт завывает в части экспорта сырья в связи с высокими мировыми ценами, поэтому снижение международной конъюнктуры автоматически привело экономику России к кризисному спаду в 2008–2010 гг.;
- общая ресурсоемкость и энергоемкость национального продукта существенно возросли при ускорении падения фондоотдачи.

Таким образом, негативным фактом является не только и даже не столько общий уровень национального продукта, но и его неблагоприятная структура. В стоимости его растет доля сырья, энергии и нематериальных услуг.

Признавая это в качестве результатов реформ, следует сформулировать основные положения стратегии, направленной на разрешение главных проблем отечественной экономики, которые при ориентации экономического курса развития страны на реальное постреформенное возрождение придется решать прежде всего.

В первую очередь необходимо изменить характер включения страны

в мирохозяйственные связи и использования экспортных доходов.

Наиболее стабильно работает экспортоориентированная часть сырьевого и топливно-энергетического комплекса России [2]. Сохраняется положительное сальдо торгового баланса (по товарам с января по июнь 2010 г. экспорт составил 189,3 трлн долл., импорт — 103,9 трлн долл.). Валютная выручка — основа образования доходов, а опосредованно и импортных закупок, на которых держится потребительский, в том числе и продовольственный рынок. Присвоение выручки от экспорта ресурсов — материальная основа скоробогачества известных групп населения, а также основной экономической стимул в проведении политики ориентации страны на подчинение мировым рынкам в ущерб самостоятельным целям и приоритетам [3].

Парадоксальной выглядит ситуация вокруг доходов от экспорта нефти и газа. Ведь советская экономика, экспортируя 12–17% добываемых нефти и газа, финансировала за счет этих доходов широкомасштабные мероприятия как текущего, так и капитального характера. Сегодня за счет экспорта более трети добываемой нефти и значительных объемов газа при крайне благоприятной даже сейчас, а в 2004–2007 гг. уникальной и исторически беспрецедентной конъюнктуре удается успешно решать только задачу стабильности текущего функционирования социально-экономической системы страны, поддержания некоего статус-кво с неприемлемо медленным подъемом жизненного уровня основной массы населения. При этом нарастает напряженность обеспечения производственных мощностей даже самих рентаобразующих отраслей. В основном отрабатывается их остаточный ресурс, а объемы добычи ограничиваются производственными возможностями. Между тем для развития и тем более модернизации необходимо на-

правлять значительную часть доходов от экспорта на вложения в стратегические проекты России. Это возможно в случае, если удастся сохранить ограничение использования этих доходов для увеличения текущего непроектируемого спроса, но переключить их на долгосрочные вложения. Вообще, усиление регулирования фондов потребления способствовало бы малоинфляционному восстановлению как инвестиционных источников, так и оборотных средств сферы материального производства. Эмиссия национальной валюты — сильный инструмент стимулирования экономического роста — может быть низкоинфляционным при условии направления в увеличение инвестиционного, а не потребительского спроса. Это важное положение макроэкономической теории хорошо подтверждается экономической практикой ряда стран с развитой экономикой за докризисные 2001–2007 гг.

Коренная экономическая проблема — способ присвоения ресурсной ренты, то есть той части стоимости природных ресурсов, которая обусловлена их ограниченным предложением. В условиях либеральности внешнеэкономической деятельности, рента трансформируется в другие виды доходов — отвлечение средств в составе затрат рентаобразующих отраслей, их транзакционные издержки, коммерческие и управленческие расходы, заработную плату ресурсодобывающих предприятий и, особенно, фирм, через которые ведется их сбыт и экспорт, их прибыли и ссудный процент. Для вывода из страны ренты используется ступенчатое ценообразование экспортируемых ресурсов — компании, стоящие в конце цепочек поставок сырьевых и топливных товаров на мировые рынки и реализующих их по биржевым ценам, могут быть оффшорными. Определенная часть рентных доходов изымается через налоги в бюджет (экспортный

тариф, налог на добычу полезных ископаемых), но в силу неудовлетворительной собираемости, а главное неудовлетворительной бюджетной политики, и эта малая часть стоимости вывезенных ресурсов используется неэффективно. Общая оценка уровня изъятия государством ренты показывает, что он составляет не более 30%, что беспрецедентно мало в сравнении с другими ресурсными странами, в частности странами Ближнего Востока. Положение усугубляется тем, что наличие посредников в присвоении стоимости ресурсов не обеспечивает даже простого воспроизводства самих ресурсных отраслей. Добывающие и перерабатывающие компании эксплуатируют в основном те объекты, которые созданы в советский период и при этом ориентируются на иностранный капитал для их дальнейшей эксплуатации. Ресурсная же рента, главным образом, уходит из страны как экспорт частного капитала, превышающий зарубежные инвестиции и займы. Таким образом, ресурсно-экспортный путь развития экономики создает как дополнительный спрос на конечный продукт зарубежных стран, так и узкий слой постсоветских людей, заинтересованных в этом.

Централизация ренты в руках государства возможна по нескольким каналам:

- используемый сейчас налоговый канал;
- введение рентных платежей по дифференциальной ренте первого рода, рассчитываемой на основе кадастровой оценки месторождений;
- концессии, которыми целесообразно заменить лицензии;
- прямые фискальные монополии на экспорт, позволяющие устойчиво разделить цены на энергоресурсы для внешнего и внутреннего потребления.

По большому счету правомерна постановка вопроса о национализа-

ции экспорта стратегических ресурсов. Это вполне возможно и при сохранении децентрализованного хозяйствования в ресурсном секторе экономики. Так, например, исходя из прогнозного баланса формирования экспортной квоты ресурса, можно разместить среди поставщиков (добывающих или перерабатывающих предприятий) госзаказы, оплачиваемые по регулируемым ценам, включающим норматив затрат с некоторой рентабельностью. Используя кредитование под государственные гарантии, можно обеспечить достаточность оборотных средств и капитальных вложений предприятий-поставщиков.

Негосударственный экспорт этих ресурсов целесообразно ограничить квотами, выдаваемыми после отгрузки по госзаказу и реализации внутренним потребителям. Тогда искомым рентный доход можно централизовать и оптимизировать его величину, регулируя обменный курс рубля и финансовые нормативы. Поскольку курс рубля в условиях благоприятной экспортной конъюнктуры имеет потенциал укрепления, возможности такого регулирования значительны.

В составе опосредованного владения крупных пакетов рентиобразующих корпораций все весомее доля иностранного капитала (который при этом можно рассматривать как выведенный из России, «отмытый» капитал). Поэтому приходится признавать это как свершившийся факт, регулируя правила хозяйствования в рентиобразующей сфере. Таким путем идет большинство стран ОПЕК.

Переход к новой экспортной политике помимо прямого эффекта позволит обеспечить и поддержку отечественного товаропроизводителя путем:

- смены принципа построения государственных финансов. Важнейшее место в доходной части российского бюджета должны занять рентные доходы, после чего

необходимо радикальное снижение налогов для производства, возможно с дифференциацией по отраслям и типам их денежных расходов;

- удешевления сырья и энергии;
- возможностей регулирования импорта через валютный курс;
- оживления и оздоровления конкуренции между товаропроизводителями, ориентированной на внутренний рынок, чему будет способствовать доступность первичных ресурсов.

Другой важнейший круг экономических вопросов возрождения связан с проблемами собственности и, особенно, ее организации. Единственное потенциально полезное нововведение в сфере собственности — это ее акционерная форма организации, позволяющая мобилизовать капитал в определенные сферы производства. И именно акционерная организация — удовлетворительная основа для постановки задачи использования промышленной собственности.

В итоге преобразований в сфере собственности создана хозяйственная система, малоприспособленная для осуществления прогрессивной технологической модернизации. Поэтому повышение потенциала самоорганизации акционерных структур и привнесение в них инновационного начала — один из приоритетов экономической стратегии возрождения. Любая долгосрочная программа технологического развития потребует концентрации ресурсов. Деструктивный либерализм будет преодолен, но важно избежать при этом и другой опасности: дальнейшего расточительства ресурсов для реализации ложной цели — стремления к неперменной загрузке сохранившихся производственных мощностей после их длительного бездействия. Ведь пореформенные разрушения произошли на фоне закономерного процесса спада отработавшей технологической волны. Поиск сочетания технологических

укладов в будущем подъеме производства должен стать содержательной основой парадигмы национального прогресса.

Модернизация всего национального производства должна осуществляться на фоне и при условии укрепления ресурсного, технологического и инфраструктурного потенциалов. В ресурсной сфере необходимо обеспечение увеличения достоверных запасов и постановка на государственный баланс новых месторождений, для чего путем возрождения геологической отрасли вернуться к ситуации устойчивого превышения прироста запасов над приростом добычи полезных ископаемых.

Технологический потенциал зависит от положения науки, образования, сферы НИОКР, на которую пока направляется лишь 0,4 % от ВВП. Их длительное недофинансирование повлияло на последующее снижение технологического потенциала. Россия теряет собственную производственную базу техники и технологии промышленности (60 % новых машин и оборудования — импортные). Издержки этого проявятся еще и в том, что технологическая модернизация сможет осуществляться при условии задействования беспрецедентно высокого инвестиционного ресурса и поддержания всеми средствами экономической политики высокой нормы накопления и создания соответствующих институтов развития. На протяжении последних десяти лет норма валового накопления в России не превышала 21,7 %. В 1980-е гг. в СССР и весь период роста быстроразвивающихся капиталистических экономик Азии она держалась на уровне 30–40 %, в Германии в период бурного роста ее экономики в 1950–1960-е гг. она достигала 60 % от ВВП, а в современном Китае она составила 45 % от ВВП.

Повысить норму накопления можно как путем прямых государственных капиталовложений для создания

высокотехнологичных производственных кластеров в приоритетных отраслях, так и путем «госзаказа на инвестиции и инновации». В этом случае государством создается и развивается спрос на конечные результаты взаимосвязанных технологических цепочек, на создание и закупки оборудования технологически сопряженных производств, замыкаемых на конечный продукт (цепочек добавленной стоимости). Речь идет о системе взаимосвязанных стратегических проектов с государственным заказом под условия использования преимущественно отечественных технологий и оборудования. Для их осуществления может быть применен механизм концессий, инвестирование путем наращивания государственных пакетов в акционерных капиталах технологически сопряженных предприятий, государственные холдинги и др.

Ограничителем нормы накопления, а значит, существенным препятствием к модернизации является недостаток социальной направленности распределения национального дохода при низком накоплении. Этот индикатор говорит о крайней социально-экономической неэффективности системы. Накопление — потребление — дилемма общественного выбора, но если уж накопление понижено, то хотя бы социальные задачи должны бы решаться успешно. Однако рост средних доходов населения сопровождается неснижаемым расслоением, подрывающим мотивацию к труду.

Инфраструктурный потенциал обеспечивается возобновлением развития, в первую очередь больших систем.

Производственная инфраструктура выступает общим условием развития производительных сил на территории. Ее услуги для промышленности, аграрной сферы, строительства, сферы услуг, самозанятого населения носят всеобщий характер в качестве одного из связующих звеньев всех отраслей хозяйства и видов экономи-

ческой деятельности с территорией, на которой они действуют. К производственной инфраструктуре относятся в первую очередь транспорт, энергетика, связь и информатизация. Эти отрасли характеризуются системной организацией и в той или иной степени признаками естественной монополизации. Особенно это относится к энергетике и железнодорожному транспорту, внутри которых принято выделять собственную инфраструктуру, представленную, главным образом, транспортной и энергетической сетью.

Инфраструктурный потенциал снижен длительным недоинвестированием системообразующих отраслей, что неизбежно потребует компенсации, а следовательно, перенакопления в будущем. Но такое перенакопление сопряжено с разветвлением сценария развития: под какое будущее построить большие системы, прежде всего системы энергетики и транспорта? Эти большие системы должны выступать регуляторами структуры производства для выращивания кластеров новейшего технологического уклада.

Поэтому пока приходится расценивать объявленную технологическую модернизацию хозяйства лишь как потенциальный сценарий. Переход к его осуществлению и необходимая для этого модернизация экономической идеологии, политики и хозяйственной практики — единая задача и своеобразный большой проект периода послереформенного возрождения страны.

Идеология большого проекта национального развития связана с глубокими традициями российского прогресса. Как справедливо замечает М. Хазин, показывая бесперспективность для страны модели догоняющего развития, «Россия всю свою историю была проектной страной (от Византийско-православного до «Красного» проекта) и имела свою собственную систему ценностей» [4]. ■

Литература

1. Петров М. Б. Большие системы и модернизация в идеологии экономического развития России // Национальная идея России: сб. материалов Всерос. науч. конф. — М.: Центр проблемного анализа и государственно-управленческого проектирования ООН РАН, 2011.
2. Петров М. Б. Геополитический аспект ресурсной специализации и ресурсной обеспеченности региона // Вестник УГТУ-УПИ, Сер. Экономика. — 2010. — № 2. — С. 113–125.
3. Петров М. Б. Некоторые проблемы территориального освоения и транспортного развития Севера Урала и Западной Сибири // Вестник УрГУПС. — 2010. — № 4.
4. Хазин М. Есть ли у России шанс на «догоняющем» пути, или Почему мы отстаем от Португалии? // Главная тема. — 2005. — № 4.

References

1. Petrov M. B. Bolshie sistemy i modernizatsiya v ideologii ekonomicheskogo razvitiya Rossii [Big systems and modernization in ideology of Russia's economic development] // Natsionalnaya ideya Rossii: sb. materialov Vseros. nauch. konf. — M.: Tsentr problemnogo analiza i gosudarstvenno-upravlencheskogo proektirovaniya OON RAN, 2011.
2. Petrov M. B. Geopoliticheskij aspekt resursnoj specializatsii i resursnoj obespechennosti regiona [Geopolitical aspect of region's resource specialization and resource support] // Vestnik UGTU-UPI, Ser. Ekonomika. — 2010. — № 2. — S.113–125.
3. Petrov M. B. Nekotorye problemy territorialnogo osvoeniya i transportnogo razvitiya Severa Urala i Zapadnoj Sibiri [Some problems of territorial and transport development of The North Urals and Western Siberia] // Vestnik UrGUPS. — 2010. — № 4.
4. Khazin M. Est li u Rossii shans na «dogonyayushchem» puti, ili Pochemu my otstavem ot Portugalii? [Does Russia have a chance on the «overtaking track», or Why are we behind Portugal?] // Glavnaya tema. — 2005. — № 4.

Статья сдана в редакцию 27 апреля 2011 года.

УДК 331.28, 338.124.4

А. М. Иванов, А. А. Косяков

Социальное инвестирование в проектном бизнесе в условиях дефицита заказов

UDC 331.28, 338.124.4

A. M. Ivanov, A. A. Kosyakov

Social investment in designing business in conditions of orders deficit

Аннотация

Экономические кризисы цикличны и производство в крупных инженеринговых компаниях российской региональной электроэнергетики в период кризиса не останавливается. Задача многих компаний в такие периоды: сохранить свой производственный потенциал, сильных — его увеличить. Именно в кризисные периоды происходит самое значительное перераспределение ресурсов. В условиях кризиса конкуренция заставляет одни компании привлекать лучших специалистов, других — с ними расставаться. Что делать проектной компании, если во время спада незанятые кадры «проедают» прибыль? Статья посвящена решению проблемы поддержания конкурентных преимуществ компании инженерингового профиля в период спада производства за счёт сохранения её кадрового потенциала.

Ключевые слова:

инжиниринг, проектирование, экономика, управление персоналом, экономический кризис, спад производства, дефицит заказов, оплата труда, социальное инвестирование.

Abstract

The economic crises are cyclic and the production in large engineering companies of Russian regional power industry during the crisis period doesn't stop. The task of many companies in these periods is to conserve its productive potential; the task of the strong ones is to multiply it. During the crisis times there is considerable resource redistribution. Under crisis conditions the competition makes one companies get best specialists involved in work and the others part with them. What should the company do if during setback in production the idle personnel use up the profit? The article is devoted to the solution of a problem of an engineering company competitive advantages' support during setback in production at the expense of its personnel potential preservation.

Key words:

engineering, designing, economics, personnel management, economic crisis, slowing down, orders deficit, remuneration of labor, social investment.

Андрей Михайлович Иванов, магистр; главный специалист группы маркетинга и сопровождения договоров дирекции «Энергосетьпроект» ОАО «Инженерный центр энергетики Урала», Екатеринбург, Россия. E-mail: ivanovandrey@hotmail.ru.

Алексей Александрович Косяков, канд. техн. наук, начальник технического отдела дирекции «Энергосетьпроект» ОАО «Инженерный центр энергетики Урала», доцент кафедры «Электрические машины» Уральского государственного университета путей сообщения, Екатеринбург, Россия. E-mail: kosakov@yandex.ru.

Andrey M. Ivanov, undergraduate; main specialist of Marketing and Contracts support Group of the «Energosetprojekt» board of «Engineering energetic center of the Urals» plc., Ekaterinburg, Russia. E-mail: ivanovandrey@hotmail.ru.

Aleksey A. Kosyakov, PhD, Head of technical department of the «Energosetprojekt» board of «Engineering energetic center of the Urals» plc., associate professor of «Electric machines» department of the Ural State University of Railway Transport, Ekaterinburg, Russia. E-mail: kosakov@yandex.ru.

В электроэнергетическом проектном бизнесе и в целом в электроэнергетике еще до кризиса сложилась достаточно напряженная ситуация с трудовыми ресурсами, которая характеризуется:

1. Все более увеличивающимся дефицитом квалифицированных специалистов, резким снижением профессионального уровня инженерных кадров.
2. Низкой компетентностью многих топ-менеджеров, не способных принимать системные решения с учетом взаимосвязей сложнейшего инженерного и социотехнического комплекса.
3. Оттоком молодых перспективных специалистов, получивших практический опыт работы, в связи с чем обострилась потребность в руководителях нижнего уровня [1].

Согласно теории производства и предложения благ [2]:

Потребности \geq Ресурсы \geq Производство.

Потребностей всегда больше, чем ресурсов, чтобы их удовлетворить, а ресурсные возможности равны или больше объема производимой продукции. Объем потребностей растет всегда независимо от экономических кризисов, которые лишь откладывают его удовлетворение. Традиционно экономические кризисы характеризуются падением объема производства и компании остаются один на один с неиспользуемыми ресурсами, сохранение (содержание) которых требует постоянных расходов. Выход из создавшейся ситуации кажется очевидным — нужно:

- 1) избавляться от балласта;
- 2) искать заказы. Перепрофилирование или диверсификация крупного проектного бизнеса — экзотика в кризис.

С заказами все просто — их нужно искать всегда, везде (в пределах зоны коммерческих интересов) и всегда больше, чем раньше, в том числе и потому, что потребности (рынки) растут.

Основной ресурс проектной компании — кадры. Проектный бизнес характеризуется высокой «человекоемкостью», то есть повышенной интеллектуальной насыщенностью — больше половины расходов компаний занимают расходы на оплату труда и социальную политику.

Неиспользуемые ресурсы складываются, а в случае значительных складских затрат — сбываются. Однако если этот балласт — работники, в которых всегда вкладывались значительные материальные и интеллектуальные средства на обучение, воспитание навыков работы в команде, достижение высокой производительности?

От трудового ресурса нельзя выгодно избавиться, продав его. Если ресурс не продается и не складывается, он утрачивается, теряется. Нужно отметить, что речь не может идти о компаниях с относительно сбалансированным по возрасту штатом или наоборот, когда доля пенсионеров очень высока (в первом случае вывод из штата пенсионеров не даст существенного эффекта, в другом — возникают риски непередаваемых знаний). К тому же проектный бизнес в российской энергетике — это семьи инженеров во втором и третьем поколениях, работающих в одной компании. Если компания становится неустойчивой, то из-за такой концентрации возникает риск финансовой неустойчивости всей семьи, а для компании — риск лавинообразного оттока кадров.

В большинстве случаев при постепенном углублении кризиса первыми уходят наиболее расчетливые и предприимчивые, ищущие карьерного роста и материального достатка, вторыми уходят люди, несущие значительные финансовые обязательства (должники, многодетные, родители-одиночки). Уход следующих за ними, а промежуток (разрыв) времени между первыми и третьими достаточно велик, — это показатель:

- либо распада компании вследствие кризиса (заказов по-прежнему нет и не предвидится);
- либо фиаско кадровой политики компании, если увольнения третьей волны совпадают с ростом объема производства компании.

Длительное время происходит процесс, определяемый объективной потребностью ускорения преобразований в самой корпоративной культуре энергокомпаний, прежде всего в связи с мощным инновационным потоком, вызванным реформированием, обновлением и расширением производственного аппарата [1]. В период спада производства акцен-

ты (приоритеты) политики компании в отношении персонала должны смещаться с формирования и поддержки инновационной среды в компании к сохранению кадрового ресурса, его лояльности к интересам компании.

На рис. 1 представлены кадровые потоки, которые питают или обескровливают компанию в разные периоды ее развития.

В табл. 1 определены основные механизмы защиты бизнеса от потери стратегического ресурса, структурированы основные средства обеспечения положительного кадрового движения, исходя из типов возможного трудоустройства.

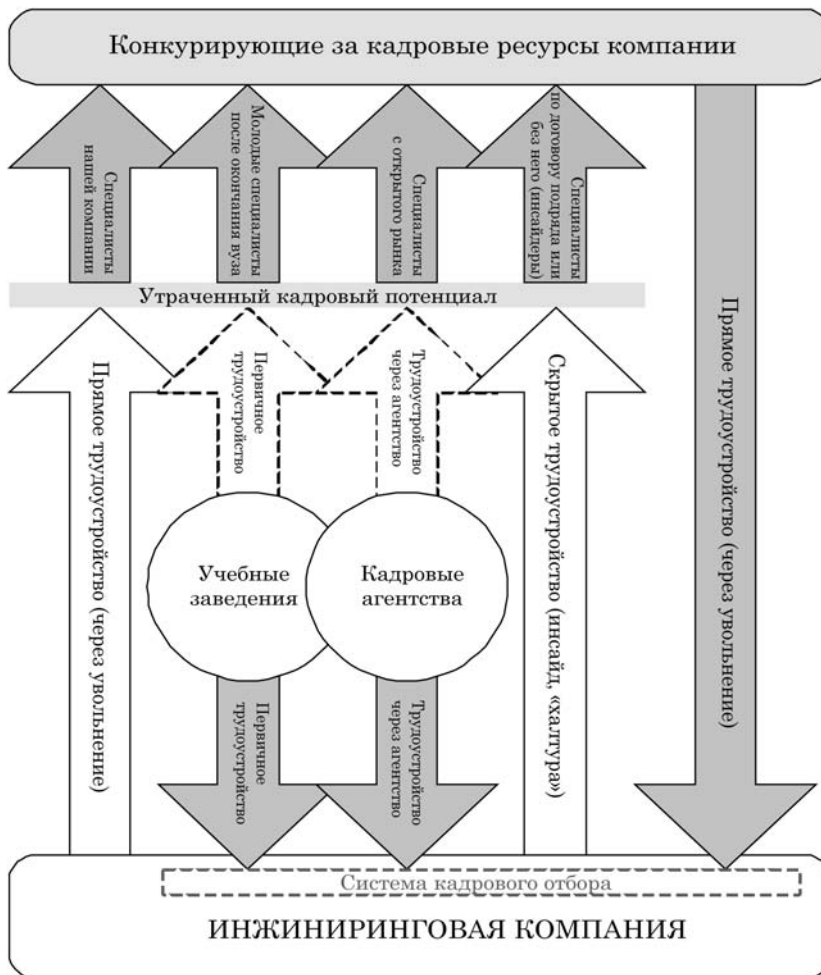


Рис. 1. Каналы утечки кадровых ресурсов

Таблица 1

Средства привлечения кадровых ресурсов и предотвращения их оттока

Тип (каналы) трудоустройства (утечки кадров)	Средства привлечения кадров и предотвращения утечки кадровых ресурсов
Первичное трудоустройство	Заключение договоров с вузами на передачу сведений о студентах
	Организация оплачиваемых производственных практик для студентов
	Заключение 3-сторонних договоров на оплату обучения и последующее трудоустройство
Трудоустройство через агентство	Оперативное размещение вакансий в базах данных крупных кадровых агентств
Скрытое трудоустройство (инсайд, «халтура»)	Обеспечение предельно допустимой максимальной производственной загрузки
	Контроль за использованием архива, других материальных и информационных ресурсов
Прямое трудоустройство (через увольнение)	Предложение наиболее выгодных условий и создание благоприятной рабочей среды, чем у конкурентов:
	1. Высокая зарплата
	2. Порядок – стабильность – предсказуемость
	3. Повышение квалификации, развитие
	4. Социальный пакет
	5. Профзащита
6. Корпоративные ценности и традиции	
	Открытость данной информации для персонала конкурентов

Из таблицы видно, что средства удержания кадров не новы, но при этом разнообразны и кардинально различаются по типам трудоустройства, каналам доставки и качеству трудовых ресурсов.

Кроме этого, в последние годы произошли существенные изменения в целях и интересах работников самых разных профессий и специальностей. Новое поколение требует не просто высокооплачиваемой работы, а соответствующей оценки и признания со стороны организации, в которой работает. Это выражается не только в зарплате, быстром решении жилищной проблемы, но и в статусе, наличии хорошо видимой перспективы как профессионального, так и карьерного роста, участия в серьезных проектах. Решить эту задачу можно лишь при

условии, что на всех уровнях менеджмента появится осознание новых запросов работников [1].

Потеря кадрового ресурса несет в себе две основные угрозы:

- 1) потеря инвестиций (вложенного в персонал капитала);
- 2) усиление производственных мощностей и, следовательно, рыночных позиций конкурентов.

Кроме этого, наблюдается снижение мотивации у оставшегося персонала, особенно у руководителей среднего и нижнего звена и опытных специалистов, ранее участвовавших в формировании кадрового потенциала, возвращении молодых специалистов, подготовленные из которых являются самыми востребованными на рынке труда.

И кадры трудно вернуть. Причины этого тоже очевидны:

- 1) *сама компания* и ее репутация для работника, которая оформилась после создания условий для его увольнения;
- 2) *кризисы*, которые хотя и циклически, но не так часты, продолжительны и суровы. Мало шансов, что следующий кризис затронет конкурентов настолько, что заставит работников вернуться;
- 3) *конкуренты*, которые могут избрать путь сохранения трудовых ресурсов независимо от степени их экономического состояния;
- 4) *люди (работники)*, которые по своей природе консервативны (вспомним о российском менталитете в части смены работы, увольнение для многих — большой стресс).

Остается найм молодых специалистов, преимущественно без опыта, и начинается работа «с нуля», связанная в том числе и с уровнем подготовки студентов в вузах и ссузах, не соответствующим современным требованиям к инженерам и техникам [3].

В проектном бизнесе кадры — стратегический ресурс. Человеческий фактор, помноженный на предпринимательские способности всех уровней управления в построении эффективного производства в проектно-исследовательских и научно-исследовательских компаниях, является преобладающим и доминирует над другими факторами производства — землей и капиталом. Игнорирование важности человеческих ресурсов здесь неминуемо приведет к утрате компетенций и конкурентных преимуществ.

В период спада к трем базовым условиям функционирования и поддержки инновационной среды [1] относятся:

1. Создание благоприятной корпоративной среды, мотивирующей персонал в полной мере реализовать свой профессиональный потенциал.
2. Осуществление адресных инвестиций в наиболее квалифициро-

ванных и перспективных менеджеров и специалистов для решения актуальных задач.

3. Разработка и внедрение корпоративных стандартов управления, отвечающих современным требованиям производства.

По мнению авторов, должны применяться следующие меры по сохранению кадровых ресурсов или регулированию (повышению управляемости) их движения:

1. Социальное инвестирование.
2. Обеспечение производственной загрузки структурных подразделений.
3. Обеспечение открытости и достоверности информации о предпринимаемых компанией антикризисных мероприятиях.
4. Снижение непроизводительной психоэмоциональной нагрузки на персонал.

На рис. 2 проиллюстрировано значение мер работодателя по сохранению кадровых ресурсов в условиях недостатка заказов и активности конкурентного окружения.

Чем шире и интенсивнее применение данных мер, тем уже каналы и меньше возможностей для утечки кадровых ресурсов.

О СОЦИАЛЬНОМ ИНВЕСТИРОВАНИИ

Скорректируем сделанный ранее очевидный вывод. Нужно:

- 1) инвестировать в кадры;
- 2) искать заказы.

Высокая или низкая чистая прибыль — это всегда источник инвестиций, причем [4]:

- *до ее формирования* — это гарантированные инвестиции, которые находятся в руках управляющего (управленческие инвестиции);
- *после ее формирования* инвестиции находятся в руках собственника (бухгалтерские инвестиции), имеют другие стратегические цели, отложены и не всегда гарантированы.

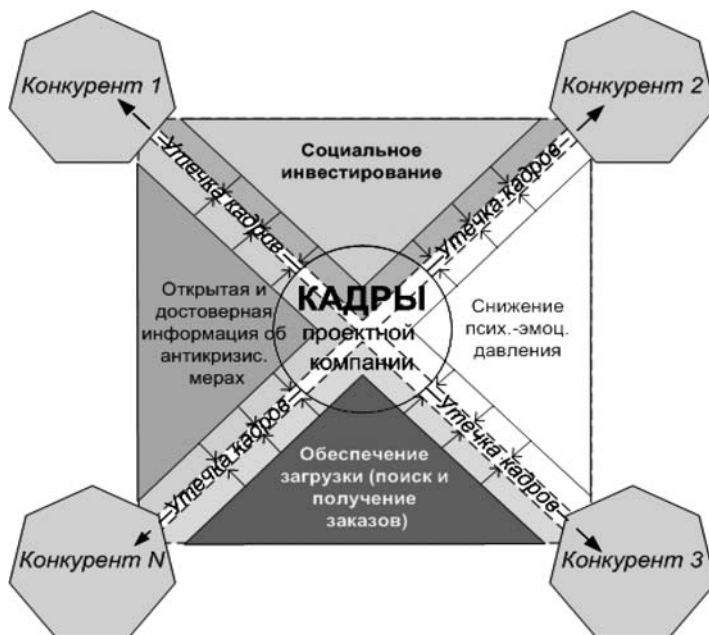


Рис. 2. Меры по сохранению кадровых ресурсов в условиях дефицита заказов у компании

И кто считает, что прибыль должна расти в предкризисный для компании (именно для компании) период или тем более в кризис? Если прибыль компании растет в тяжелый для нее период, не является ли это признаком грядущей катастрофы? Если цели и модель поведения компании в кризис не изменились и были направлены по-прежнему на увеличение прибыли, а не на сохранение или улучшение позиций (например, путем сохранения кадров, защиты репутации, улучшения качества продукции, развития технологии производства), не рискует ли компания утратить рыночные позиции? Это вопросы, которые в первую очередь должны ставить перед собой руководители и собственники компаний.

Отсутствие работы характеризуется отсутствием премиальной части в зарплате работников. Причем, говоря о премиальных, здесь имеется в виду не вознаграждающая часть, которая носит разовый характер, а основная, сдельная составля-

ющая, когда работник получает гарантированную (по положению об оплате труда: с условиями, но гарантированную) дополнительную зарплату к окладу в зависимости от выполненных компанией объемов.

Оклад при спаде производства есть незыблемое условие, которое должно обеспечивать сохранение работников на рабочих местах до истечения трудных времен, это плата работодателя (а в глобальном смысле — собственника бизнеса) за отсутствие заказов, частично компенсирующая тот уровень дохода, какой мог бы получить работник у другого работодателя в данное время. Вторая часть компенсации — это, согласно социологам [5], карьерный рост, соцпакет, коллектив, благоприятная среда для работы, престижность компании, регулярное повышение квалификации и т. д.

Незыблемость данного условия должна обеспечиваться прежде всего уровнем окладной части, которая до кризиса значения не имела —

все получали много или достаточно. И если в отсутствие в определенном периоде премиальный уровень окладов не будет соответствовать:

- 1) *основным финансовым потребностям* работников (долговые обязательства, содержание семьи и т. п.);
- 2) *рыночному уровню*, т. е. окладам работников с аналогичным профессиональным статусом в конкурирующих компаниях;
- 3) *профессиональному статусу* работника внутри штата (оклад — это зеркало профессионального статуса работника в компании: его должности, обязанностей, полномочий, опыта работы, профессионализма и т. п.) — работник при наличии выгодного предложения, без сомнения, выберет конкурента.

Странными кажутся заявления о том, что работодатель обязан платить работнику только оклад за отработанное время. Не нужно забывать, что факт трудоустройства — это заключение договора между работником и работодателем, при этом только часть норм закрепляется юридически (размер оклада в трудовом договоре, объем и принцип распределения премиальных в положении об оплате труда и т. д.), остальная часть — это неформальный договор (смесь имплицитного и общественного договора [6]), основанный на обычаях, обещаниях и ожиданиях участников сделки, предшествующем развитию компании и работника, например об объемах работы и фактической средней заработной плате, способностях и ценностях работника и пр. Нарушение тех и других норм негативно отражается на репутации и благосостоянии участников трудовой сделки.

Для депремирования может быть масса причин: отсутствие заказов, невыполнение работниками установленных планов, низкое качество работ, срывы сроков, отсутствие средств на расчетных счетах и т. д., но не нужно забывать, что именно работодатель:

- 1) устанавливает планы, которые могут быть некачественными или несогласованными;
- 2) несет ответственность за обеспечение работников работой;
- 3) несет ответственность за обеспечение финансовой устойчивости и наличие оборотных средств.

Система оплаты труда (СОТ), где доля окладной (гарантированной) части в докризисной средней заработной плате не превышала 60–65%, для компании, целью которой является сохранение кадрового потенциала и лидирующих позиций на рынке в периоды «дефицита премий», может оказаться неэффективной и даже смертельной. И здесь других рецептов, кроме серьезного повышения окладов или выделения специальных регулярных социальных бонусов, быть не может. Отказ же от ручного управления СОТ и поддержка постулата о превышении темпов выработки над темпами увеличения средней заработной платы в такие периоды является приговором для персонала компании и причиной еще больших финансовых потерь, кадровых и рыночных.

Источником социального инвестирования в первую очередь должна быть несформированная прибыль компании (управленческие инвестиции, о которых говорилось ранее) или, другими словами, увеличение норматива, который компания использует для контроля фонда оплаты труда (ФОТ) за отчетные периоды, то есть увеличение традиционной доли ФОТ в выручке компании. При отсутствии же денежных средств фирмы прибегают к использованию в краткосрочном периоде заемных средств, от самых дорогих и рискованных — банковских кредитов, до относительно дешевых — займов внутри группы компаний (холдинга, если таковой имеется).

К источникам социального инвестирования следует также отнести перераспределение ФОТ с выделением

«ключевых» сотрудников, при увольнении которых возникнет угроза потери направления деятельности проектной компании. Перераспределение ФОТ может быть выполнено, например, путем изменения оргструктуры компании.

Размер премии каждого конкретного работника напрямую зависит от его эффективности в отчетном периоде и от формирования ФОТ в целом, которое зависит от заказов и финансового состояния фирмы. И получая дополнительные финансовые бонусы за период низкой трудовой загрузки, у работника должно быть ясное понимание того, что это не премиальные выплаты, а компенсация за отсутствие нормального для него уровня занятости и дохода, с целью его сохранения. Это подтверждение его ценности для компании, обусловленное его прежними заслугами и ожиданием его результативности в будущем.

Необходимо отметить, что социальная поддержка (в форме увеличения окладов или выплаты специальных бонусов) не должна проводиться явно выборочно, например в пользу руководителей отделов, молодых специалистов, мужчин и т. д. В открытой системе это очевидно, и коллективом расценивается как подкуп (особенно, если поддержка оказывалась только начальникам отделов) и может справедливо привести к увольнениям по собственному желанию ущемленных категорий руководителей и специалистов.

Однако при этом работодатель не может не сохранять за собой право выделять наиболее квалифицированных и значимых для компании лиц, в том числе исходя из оценки факторов риска их увольнения. Согласно социологическому исследованию, проведенному в Москве в 2007 году, наибольшие карьерные устремления и неудовлетворенность должностным статусом наблюдается у работ-

ников, имеющих высшее образование, высокий доход и должностной статус, и это преимущественно мужчины (отрыв от женщин видимый, но незначительный). Причем чем моложе работник, тем более его карьерные устремления сильны [7]. Именно такой социальный портрет может быть использован как дополнительный критерий отбора при формировании кадрового резерва (качественные показатели работника, такие как уровень квалификации и компетенций, производительность и ответственность, уровень лояльности к компании и т. д.). Также не нужно забывать о действии закона Парето — 20% усилий дают 80% результата, а остальные 80% усилий — лишь 20% результата, который можно персонифицировать — 20% персонала обеспечивают 80% успеха компании [8].

Социальное инвестирование как мера сдерживания кадрового оттока является неким отражением контрактной теории занятости, в основе которой лежит положение о том, что предприниматели и рабочие вступают между собой в долгосрочные договорные отношения. Между работниками и предпринимателями возникает соглашение — имплицитный контракт, который соблюдается ими не потому, что этого требует юридический договор, а потому, что это экономически обоудовыгодно. Фирма в период спада производства не снижает оплату труда, а в период подъема резко не повышает ее квалифицированным работникам. Динамика денежной заработной платы оказывается сглаженной. Ее уровень изменяется в определенных прогнозируемых границах [9].

Социальная поддержка персонала в период спада производства компании — это социальное инвестирование. А своевременное и достаточное инвестирование, как известно, приносит прибыль.

О СОЦИАЛЬНЫХ ПРОГРАММАХ

Разработка и внедрение соцпрограмм (особенно это касается жилищного кредитования для оплаты первоначальных взносов по ипотечным кредитам) — это удачное и проверенное средство поддержки и удержания работников. Но, к сожалению, только в кратко- или среднесрочный период (2–5 лет, в зависимости от уровня доходов и объемов обязательств), пока работники выплачивают льготные корпоративные кредиты.

В условиях же кризиса у них есть обратная сторона, вынуждающая работников искать дополнительные или даже другие источники дохода. Молодые специалисты первыми попадают под удар, т.к. большинство жилищных программ в компаниях ориентированы именно на них: они еще не имеют собственного жилья, они являются капиталом компании и в них она заинтересована. Работники, воспользовавшиеся ипотечными кредитами, в том числе при поддержке компании, оказались в ловушке, зажатыми между своими финансовыми обязательствами перед банком, низкими доходами и выгодными предложениями со стороны других работодателей.

И чем эффективнее были жилищные программы в прошлом, чем больше работников ими воспользовались, тем больше отложенные риски.

При этом важно отметить, что в отсутствие государственной социальной поддержки ипотечных кредиторов финансовая помощь компании только данной категории работников (молодым специалистам) может и должна оказываться, но на возвратной основе.

ОБ ИНФОРМАЦИИ

С целью моральной поддержки кадров, смягчения социального напряжения, во избежание конфликтных ситуаций большое значение приобретает информационная работа с ка-

драми всех уровней — разъяснение текущей ситуации на рынке, информация о предпринимаемых компанией, ее руководством и собственниками мерах и прогнозах по трем ключевым направлениям:

- 1) поиск и получение заказов;
- 2) поддержка работников;
- 3) ситуация с заказами и поддержкой персонала у конкурентов.

Важнейшей формой должно являться личное открытое и честное общение. Кроме этого, открытость и своевременность информации позволяет избежать возникновения слухов, домыслов и иной неправильно интерпретируемой информации, которая присуща любому коллективу (социальной группе).

Основной формой подачи и каналами распределения антикризисной информации являются:

- 1) официальные обращения;
- 2) специальные бюллетени;
- 3) рабочие встречи.

Необходимо оговориться, что все обещания должны подкрепляться адекватными действиями. Информационная работа без реальных результатов произведет обратный эффект.

Нетривиальным и показательным в сочетании использования социальных программ и информационной работы является опыт компании «Русал». Сократив за два с лишним года около 10 тысяч сотрудников (1/8 часть штата), когда цены на алюминий сократились почти в 3 раза, холдинг «Русал» в 2009 году на 40 своих заводах в 19 странах запустил программу по изысканию внутренних резервов экономии, включившую в себя фонд развития предприятия, формирующийся из средств от экономии с расходом 25% — на премии персоналу, 25% — на социальные программы, 20% — на охрану труда, 30% — на модернизацию производства. Были созданы локальные комитеты из наиболее активных рабочих и сотрудников, способных

принимать важные решения и создавать сильную информационную поддержку. Результатами стали:

1. Источники экономии и доходов, в том числе сверхплановые продажи; продажи внутренних услуг сторонним фирмам; новые виды деятельности; государственная поддержка; продажа ненужного имущества, неликвидов; снижение цены закупок, аренды; снижение дебиторской задолженности; сокращение персонала; отсутствие штрафов; снижение рабочего капитала (стоимости сырья, оплаты банковских услуг) и др.
2. Поддержка направлений деятельности и работников, в том числе через социальные программы, стажировки, конференции, выставки; премии за лучшие предложения; мероприятия по охране труда; командообразование, улучшение условий труда; обучение сотрудников.

Менеджмент «Русала» не побоялся перестроить систему мотивации персонала с учетом ситуации на рынке, когда основная сложность для больших корпораций — не найти где сэкономить, а разрешить людям начать экономить [10].

О РОТАЦИИ КАДРОВ

В случае частичного спада производства, коснувшегося лишь отдельных направлений бизнеса или видов деятельности, одним из механизмов сохранения кадровых ресурсов компании с одновременным усилением действующих мощностей может стать кадровая ротация. Кроме этого, ротация позволяет повысить общую квалификацию специалистов компании, сформировать и укрепить кадровый резерв, создать благоприятный инновационный климат в застоявшихся отделах, где приток квалифицированных кадров (критически оценивающих технологию производства отдела) происходит крайне редко.

Нужно отметить, что здесь речь идет не о ротации кадров лишь с целью ознакомления работников с производством в других структурных подразделениях, а о временном участии в нем, причем это участие может быть частичным (с сохранением за собой прежнего места работы) или полным, на краткосрочный (на время спада производства в прежнем структурном подразделении) или долгосрочный период.

Особенно важной ротация кадров является для тех работников проектной компании, в должностные обязанности которых входит обеспечение технологии производства (включая внедрение систем автоматизированного проектирования) и управление комплексными проектами.

Возможность организации ротации кадров зависит от следующих условий и факторов:

- наличие незанятых работников, образование которых требует минимального переобучения (дообучения) с целью использования их труда на других участках (фронтах) деятельности компании;
- желание работников частично или полностью на краткосрочный или долгосрочный период сменить место работы, основанное на внешней мотивации (условия и оплата труда), внутренней мобильности и способности получать новые знания, адаптироваться в новой среде, коммуникабельности (в общем это можно назвать предпринимательской способностью работника по отношению к себе);
- желание и организаторские (предпринимательские) способности руководителей, принимающих работников из других отделов;
- желание руководителей, отдающих своих работников, передавать подчиненных, рискуя при этом остаться без работников в случае повышения загрузки уже своих отделов;
- наличие «ротора» для кадровых перемещений, то есть работающей

системы ротации кадров, включающей все элементы организационной инфраструктуры и учитывающей интересы всех сторон, гарантирующей справедливое вознаграждение усилий работника по переобучению (повышению квалификации), усилий их наставников (это условие, которое при значительном усилении и проработке может нивелировать влияние предыдущих трех факторов);

- традиции движения кадров внутри организации, поддержка руководителей всех уровней, лояльность кдвигающимся работникам со стороны их менее подвижных коллег.

К сожалению, пока в крупных инжиниринговых компаниях данное явление обнаруживается лишь в единичных случаях, и в основном оно касается перехода работников между большими производственными единицами (направлениями бизнеса), а не между отделами внутри них, то есть процесс не имеет признаков массовости и системности.

О БЕЗОПАСНОСТИ

Низкая занятость персонала вследствие дефицита заказов является питательной почвой для злоупотреблений служебным положением, выражающихся прежде всего в использовании материально-технических ресурсов и архива компании в пользу, как правило, небольших, но очень предприимчивых компаний, в том числе конкурирующих. Речь идет о так называемом трудовом инсайде, или на бытовом языке «леваке» некоторых работников компании — использовании ресурсов компании (своего рабочего времени, компьютерного обеспечения, баз данных и пр.) для выполнения работ с последующей продажей их результатов и получения исключительно личной выгоды и выгоды заказчика работ.

И здесь важнейшим моментом в сохранении кадрового потенциа-

ла компании является то, как компания будет реагировать на подобные факты злоупотреблений, какую политику изберет в отношении данной проблемы и работников в частности. Игнорирование службой безопасности мнений руководителей среднего и низового звена, устраивание показательной порки с допросами, опечаткой рабочих станций вплоть до угроз уголовного преследования? Практика показывает, что это неэффективно — борьба со злоупотреблениями при игнорировании причин их появления превращается в борьбу с ветряными мельницами, эффект от нее обратный — пойманные увольняются и уводят за собой других, а непоиманные уходят в тень, и все это на фоне нарастания непонимания и напряжения у всего коллектива.

Причины же «халтуры», «левака», или, как говорят проектировщики на Дальнем Востоке, «шарь», заключаются в проблеме отцов и детей:

- 1) проблеме компании — отсутствии работы у персонала или ее неравномерном распределении;
- 2) проблеме персонала — отсутствии дохода в компании.

При длительном недостатке денежной компенсации работникам из-за отсутствия у них возможности приложить свой труд, получив плату за него (как они могли бы получить, например, у конкурентов), и запретах на личное использование того, чем компания владеет, в том числе благодаря им, сложное собственное финансовое положение вынуждает некоторых работников пренебрегать рядом этических и даже правовых норм.

Не может не признаваться необходимость профилактики трудового инсайда во избежание его распространения и практики широкого применения в периоды базовой и высокой загруженности компании. Основными мерами профилактики для рядовых работников должны быть депрессивирования, которые должны применяться в периоды экономической ак-

тивности компании и угрозы увольнения при повторном обнаружении факта непроизводительного использования ресурсов компании.

Коммерческие связи отдельных категорий работников (руководителей, главных специалистов, начальников отделов, ГИПов) с конкурирующими структурами несут сильнейшую угрозу экономической безопасности компании.

«Левак» работников при временном отсутствии заказов и сложном финансовом положении компании — это удобная для работодателя альтернатива увольнению активной и квалифицированной части персонала. При этом все должны понимать, что это временное послабление, лояльность руководства к левым заработкам ряда его работников временна и вызвана внешними условиями отсутствия заказов.

Следует отметить, что не все виды неосновной деятельности работников могут нести угрозу экономической безопасности компании. Использование личной интеллектуальной собственности (патентов), работа в качестве технических экспертов, преподавание в учреждениях профессионального образования может приносить пользу компании как с имиджевой точки зрения, так и экономической — за счет развития профессиональных контактов. А такой «левак», как коммивояжерство и рукоделие на местах в разумных пределах просто безобиден.

В период спада производства социальная поддержка работников (в том чис-

ле и в ущерб прибыльности), открытое и справедливое ее оказание, лояльность и послабления работодателя по отношению к работникам, доминирование работодателя в информационном пространстве компании и обеспечение загрузки (поиск заказов) — вот четыре основных условия сдерживания кадрового движения и сохранения нужных компании кадровых ресурсов.

По словам А. Ю. Михалькова, генерального директора одного из крупнейших энергостроительных холдингов России, «отрасль переживает сегодня времена ренессанса, и только время даст убедительный ответ на вопрос, какие решения были целесообразными и практичными, какие были реализованы ради чистой красоты, а какие несут следы излишества или ущербности» [11].

Для проектного направления деятельности крупных инжиниринговых компаний 2011–2012 годы — период смещения приоритетов с интенсивного поиска заказов к ориентации на работника. Сформированные портфели заказов, которые конечно же продолжают пополняться, уже начинают требовать от компаний мобилизации всех ресурсов, продолжения процесса автоматизации производства и повышения производительности труда при одновременном надзоре за качеством. Основой же производительности труда всегда была мотивация персонала, основанная на заинтересованности в результатах работы и повышенном внимании руководителей к его проблемам. ■

Литература

1. Гительман Л. Д., Ратников Б. Е. Энергетический бизнес — М.: Дело, 2008. — 416 с.
2. Тарасевич Л. С., Гребенников П. И., Леусский А. И. Микроэкономика. — М.: Юрайт-издат, 2006. — 374 с.
3. Кузьминов Я. Народ не поймет, если мы переделаем вузы в ПТУ // Деловой квартал. — 2011. — № 16 (779). — 34 с.
4. Кутовой В. П., Попова Н. С., Салтанов Г. А. Экономика, инвестиции и рынки в электроэнергетике. — М.: ИПКГосслужбы, 2007. — 288 с.
5. Шапиро С. А. Основы трудовой мотивации. — М.: КноРус, 2011. — 256 с.
6. Гудков Л. Д., Дубин Б. В., Зоркая Н. А. Общественный договор. Социологическое исследование. — М.: ВЦИОМ, 2001. — 120 с.

7. Березин И. «Карьерист» — еще не звучит гордо, но уже не оскорбление. URL: [http:// www.marketologi.ru/lib/berezin/carrier.html](http://www.marketologi.ru/lib/berezin/carrier.html)
8. Салигмен Б. Основные течения современной экономической мысли. — М.: Прогресс, 1968.
9. Добрынин А. И., Тарасевич Л. С. Экономическая теория. — СПб.: СПбГУЭФ, Питер, 1999. — 544 с.
10. Фуколова Ю. Щедрая жадность // Секрет фирмы. — 2011. — № 4 (307). — 112 с.
11. Энергетическое строительство — рынок профессионалов: докл. генерального директора ОАО «Энергостройинвест-Холдинг» Михалькова А. Ю. на международной конференции «Russia Power 2011», 30.03.2011 // Синергия. — 2011. — № 5 (29). — 33 с.

References

1. Gitelman L. D., Ratnikov B. E. Energeticheskij biznes [Energy business] — М.: Delo, 2008. — 416 s.
2. Tarasevich L. S., Grebennikov P. I., Leusskij A. I. Mikroekonomika. [Microeconomics]. — М.: Yurajtizdat, 2006. — 374 s.
3. Kuzminov Ya. Narod ne pojmet, esli my peredelaem VUZy v PTU [People won't understand if we reorganize Higher Educational Establishments into Vocational schools] // Delovoj kvartal. — 2011. — № 16 (779). — 34 s.
4. Kutovoj V. P., Popova N. S., Saltanov G. A. Ekonomika, investitsii i rynki v elektroenergetike. [Economics, investments and markets in power industry] — М.: ИПК-госслужбы, 2007. — 288 s.
5. Shapiro S. A. Osnovy trudovoj motivatsii. [The fundamentals of labor motivation]. — М.: KnoRus, 2011. — 256 s.
6. Gudkov L. D., Dubin B. V., Zorkaya N. A. Obshestvennyj dogovor. Sotsiologicheskoe issledovaniye. [Social compact. Sociological investigation] — М.: VTSIOM, 2001. — 120 s.
7. Berezin I. «Karjerist» — eshche ne zvuchit gordo, no uzhe ne oskorblenie. [‘Careerist’ isn’t a proud word yet, but it is not the insult already.] URL: <http://www.marketologi.ru/lib/berezin/carrier.html>
8. Saligmen B. Osnovnye techeniya sovremennoj ekonomicheskoy mysli. [The main trains of modern economic thought]— М.: Progress, 1968.
9. Dobrynin A. I., Tarasevich L. S. Ekonomicheskaya teoriya. [Economic theory] — SPb.: SPbGUEF, Piter, 1999. — 544 s.
10. Fukolova Yu. Shchedraya zhadnost [Generous greed] // Sekret firmy. — 2011. — № 4 (307). — 112 s.
11. Energeticheskoe stroitelstvo — rynek professionalov [Power plant construction — professionals’ market]: dokl. generalnogo direktora ОАО «Energostroyinvest-Kholding» Mikhalkova A. Yu. na mezhdunarodnoj konferentsii «Russia Power 2011», 30.03.2011 // Sinergiya. — 2011. — № 5 (29). — 33 s.

Статья сдана в редакцию 03 мая 2011 года.

ИНЖЕНЕРНАЯ ЗАЩИТА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

УДК 534.836.2

А. М. Асонов, К. Р. Волкова, Е. А. Терещенко

Регенерация замазученного грунта в биореакторе

UDC 534.836.2

A. M. Asonov, K. R. Volkova, E. A. Tereshchenko

Regeneration of oil-firing subsoil in a bioreactor

Аннотация

Предложена технология регенерации грунтов, загрязненных нефтью и нефтепродуктами, в биореакторе с использованием аборигенной микрофлоры, полученной из активного ила станции аэрации городской канализации. Для интенсификации процесса очистки за счет увеличения биомассы нефтеразрушающей микрофлоры предусмотрено ее выращивание в биореакторе на инертных нагрузках в виде синтетических водорослей или «ершей». Применение данной технологии позволит избежать смыва нефтепродуктов с загрязненного грунта талым и дождевым стоком в поверхностные водные объекты, повысив тем самым эффективность очистки, а также даст возможность отказаться от дорогостоящих биопрепаратов.

Представлены результаты исследования эффективности биодеструкции нефтепродуктов в биореакторе с различными типами загрузки, выбран оптимальный из них. Определены направления дальнейших исследований, имеющих своей целью интенсифицировать процесс очистки в соответствии с предложенной технологией. Проведена оценка ее экономической эффективности.

Ключевые слова:

нефтезагрязненные почвогрунты; биорегенерация; аборигенная микрофлора; биореактор; эффективность регенерации.

Abstract

The authors suggest the regeneration technology of oil-polluted subsoils in a bioreactor with use of aboriginal microflora, got from activated sludge of an aeration station of municipal sewage lines. To intensify the cleaning process at the expense of biomass increase of oil-rupturing microflora its growth in a bioreactor on inert loads in the form of synthetic weeds or 'go-devils' is provided. The use of such a technology will allow to avoid the outwash the petroleum products from polluted subsoil to surface water objects by snowmelt and rainfall run-off. Thereby it will increase efficiency of the cleaning process and will provide the opportunity to resign expensive biologicals.

The research results of the effectiveness of petroleum products' biological degradation in a bioreactor with different load types were presented and the optimal of them was chosen. The authors defined the directions of further research, aimed at intensifying the cleaning process in accordance with the suggested technology. Its cost-effectiveness was appraised.

Key words:

Oil-polluted subsoils, bioregeneration, aboriginal microflora, bioreactor, regeneration efficiency.

Александр Михайлович Асонов, д-р техн. наук, профессор; кафедра «Инженерная защита окружающей среды» Уральского государственного университета путей сообщения, Екатеринбург, Россия.

Ксения Рифовна Волкова, канд. техн. наук, доцент; кафедра «Инженерная защита окружающей среды» Уральского государственного университета путей сообщения, Екатеринбург, Россия. E-mail: volkova.ksenya@gmail.com.

Егор Александрович Терещенко, магистрант; кафедра «Инженерная защита окружающей среды» Уральского государственного университета путей сообщения, Екатеринбург, Россия. E-mail: kraber@uralweb.ru.

Aleksander M. Asonov, DSc, professor; «Engineering protection of the environment» department of the Ural State University of Railway Transport, Ekaterinburg, Russia.

Kseniya R. Volkova, PhD, associate professor; «Engineering protection of the environment» department of the Ural State University of Railway Transport, Ekaterinburg, Russia. E-mail: volkova.ksenya@gmail.com.

Egor A. Tereshchenko, undergraduate; «Engineering protection of the environment» department of the Ural State University of Railway Transport, Ekaterinburg, Russia. E-mail: kraber@uralweb.ru.

Одним из наиболее распространенных загрязнений окружающей природной среды является нефть и продукты ее переработки. Нефть относится к экологически опасным веществам, которые при попадании в окружающую среду (грунт, почву, водные объекты) угнетают важные жизненные процессы, подавляя или заставляя их протекать по-другому.

Железнодорожный транспорт не основной, но существенный источник загрязнения окружающей среды нефтепродуктами. При осуществлении хозяйственной деятельности структурных подразделений филиалов ОАО «РЖД» происходит загрязнение земляного полотна железной дороги и прилегающих территорий, грунта производственных территорий и, как следствие, поверхностных водных объектов нефтепродуктами. Причинами этого являются утечки из цистерн на наливных станциях и во время перевозок из-за неисправности котлов и сливных приборов, пролив смазочных материалов во время заправки букс колесных пар на приемо-отправочных и экипировочных пунктах, попадание масла при экипировке и движении локомотивов и специального подвижного состава, пролив нефтепродуктов на территории баз и хранилищ горюче-смазочных материалов. Загрязнение грунта, почв и водных объектов возможно при аварийных ситуациях в процессе перевозки опасных грузов [1]. Количество загрязнений, по данным различных исследований, колеблется в среднем от 5 до 20 г на 1 кг грунта [2]. Остро стоит проблема загрязнения балласта железнодорожного полотна нефтепродуктами.

Ситуация усугубляется значительной протяженностью железных дорог (158 тыс. км). Немалую территорию занимают и предприятия железнодорожного транспорта от 2 до 50 га

(локомотивные и вагонные депо — 4–5 га, территории промывочных и железнодорожных станций, пункты подготовки пассажирских вагонов, шпалопропиточные заводы — 12 га) [2]. Все это создает не самый существенный по интенсивности загрязнения, но чрезвычайно масштабный по уровню его распространения источник загрязнения объектов окружающей среды.

Выбор способов очистки грунтов от нефтезагрязнения определяется многими факторами, важнейшими из которых является характер загрязнения земель и нормативные требования к их качеству.

Наиболее известным способом очистки от нефтезагрязнений является рекультивация земель — рыхление почв для увеличения проникновения кислорода и развития окислительно-восстановительных реакций, внесение органических и минеральных удобрений и посев трав с целью интенсификации природных процессов биохимического очищения.

В настоящее время в арсенале экологических служб и организаций, занимающихся рекультивацией нефтезагрязненных почв, уже имеется большой набор механических, физико-химических и химических способов очистки от нефтепродуктов. Однако, по мнению большинства отечественных и зарубежных специалистов, наиболее полное восстановление нарушенных нефтезагрязнениями природных экосистем может быть достигнуто только с применением биологических методов очистки. Они основаны на способности различных групп живых организмов в процессе жизнедеятельности разлагать или аккумулировать в своей биомассе многие загрязнители [1, 3, 4].

Биологические методы имеют ряд преимуществ — это, в первую очередь, относительная экологическая чистота и безопасность, а также минимальное нарушение физического и химического состава очищаемых

объектов. Большинство технологий биологической очистки являются дешевыми и не очень трудоемкими. Их эффективность высока при низких концентрациях нефтепродуктов, когда большинство других методов уже не работает [1, 3–5].

Практически все известные в настоящее время технологии биологической рекультивации нефтезагрязненных почв решают проблему очистки почвы либо внесением в нее биопрепаратов на основе штаммов активных углеводородокисляющих микроорганизмов, либо посредством использования различных приемов, направленных на стимулирование активности собственной аборигенной нефтеусваивающей микрофлоры почвы. При решении проблемы рекультивации нефтезагрязненных почв, особенно северных регионов, последний подход представляется более целесообразным [5, 6].

Скорость самоочищения почв от нефти и нефтепродуктов различна для разных природных зон. В аридных областях основная тяжесть по снижению концентрации нефти в почвах ложится на микроорганизмы. В холодных гумидных областях продуктивность микроорганизмов ниже, зимой она вовсе незначительна [7].

Основные причины снижения содержания нефтепродуктов в почвах следующие: испарение легких фракций, минерализация нефти, физический вынос, гумификация (превращение в нерастворимые в нейтральных органических растворителях продукты микробного метаболизма). От соотношения этих факторов зависит время самоочищения почв от загрязнения нефтью и нефтепродуктами. Так, содержание нефти, внесенной в светлые серо-коричневые почвы сухих субтропиков, за первые три месяца снижается больше чем наполовину, а через год — на 65%. Минерализация за год составляет не более 27% внесенной нефти. В гумидной зоне средней и южной тайги за три месяца

содержание остаточной нефти снижается в среднем до 30%, а за год — до 10% от внесенного количества. При этом исследователи отмечают, что основная масса нефти выносится водным стоком. Таким образом, более высокая скорость самоочищения почвы в этой зоне только кажущаяся. Нефть подвергается не разложению, а рассеивается, загрязняя почву сопряженных территорий и грунтовые воды, а это в свою очередь усугубляет и без того высокий уровень загрязнения водных объектов нефтепродуктами поверхностным и ливневым стоком [8, 9].

Все это позволяет сделать следующие выводы. Высокий уровень загрязнения почвогрунтов предприятий железнодорожного транспорта, а также балласта путевого полотна нефтью и нефтепродуктами, значительная их протяженность приводит в конечном итоге к существенному повышению уровня загрязнения ими водных объектов путем частичного смыва нефтепродуктов с грунтов и балласта тальми и дождевыми водами. Кроме того, размывание нефтепродуктов тальми и дождевыми водами говорит о недостаточной эффективности распространенных биологических методов рекультивации нефтезагрязненных почв, поскольку часть загрязнения смывается в водные объекты.

Проведенные нами исследования показывают, что процент отмывки замазученного балласта и грунтов водой составляет около 1% от исходного уровня загрязнения, то есть, с учетом среднего содержания нефтепродуктов в почвогрунтах и балласте 5–20 г/кг, концентрация нефтепродуктов в воде составит 30–125 мг/дм³, что значительно превышает предельно-допустимую концентрацию для водоемов рыбохозяйственного назначения 0,05 мг/дм³. Такой уровень загрязнения поверхностных водных объектов приводит к изменению запаха, вкуса, окраски, поверхностного

натяжения, вязкости воды, появлению вредных органических соединений; вода приобретает токсические свойства и представляет угрозу не только для водной экосистемы, но и для человека [3, 4].

Все вышесказанное подтверждает актуальность разработки технологий регенерации грунтов, загрязненных нефтью и нефтепродуктами, позволяющих избежать их смыва с талым и дождевым стоком в поверхностные водные объекты, и соответствует основным положениям документа «Основные направления развития водохозяйственного комплекса России до 2010 года», утвержденного распоряжением Правительства РФ от 31 мая 2004 г. № 742-р.

Как было отмечено, наиболее перспективным решением проблемы загрязненных нефтепродуктами грунтов и почв следует считать биологический метод их регенерации. В настоящее время достаточно широкое распространение для биорегенерации поверхностного слоя почвогрунтов, загрязненных нефтепродуктами, получили бактериальные препараты «Деворойл», «Олеоворин», «Путидойл», «Сойлекс», «Фаерзайн», Суперкомпост «ПИКСА» и др. Однако технология их использования достаточно сложна, требует постоянного контроля над жизнеспособностью нефтеразрушающей микрофлоры. Кроме того, они имеют достаточно высокую стоимость и не всегда эффективны в конкретных условиях биорегенерации.

Наша рабочая гипотеза основывалась на возможности вырастить адаптированную к нефтепродуктам культуру, состоящую из «аборигенных» микроорганизмов, которые используют нефтепродукты в качестве питательного субстрата. Основой микрофлоры, используемой для цели ремедиации почвогрунтов, может стать активный ил (АИ) станций аэрации городской канализации. При этом учитывалось, что в сточных водах города всегда присутствуют нефтепро-

дукты, а следовательно, в активном иле имеются группы микроорганизмов, использующие нефть в качестве источника углерода, служащего для них источником питания. Рабочая гипотеза предусматривала возможность быстрого роста нефтеразрушающей микрофлоры в случае замены состава загрязнений в городских сточных водах на загрязнения с преобладанием в воде нефтепродуктов. В качестве нефтепродуктов можно использовать замазученный балласт с железнодорожного полотна. При этом деградацию нефтепродуктов следует ожидать не только в воде, загрязненной ими в результате смыва с грунта, но и оставшихся на гравии, погруженном в иловую смесь.

Для интенсификации процесса очистки почвогрунта от нефтепродуктов за счет увеличения биомассы нефтеразрушающей микрофлоры предусматривается ее выращивание в биореакторе на инертных загрузках в виде синтетических водорослей или «ершей».

Реализация технологии очистки балласта от нефтепродуктов с помощью адаптированной «аборигенной» микрофлоры позволит отказаться от дорогих биопрепаратов типа «Путидойл», «Деворойл», «Ленойл» и др.

Для проверки выдвинутой гипотезы было сконструировано три вида биореакторов (рис. 1): 1) с загрузкой контейнерного типа; 2) с загрузкой, размещенной на дне биореактора; 3) с загрузкой в виде биофильтра.

В лабораторной установке (рис. 1) в качестве биореакторов использовались емкости цилиндрической формы с конусным основанием объемом 2 л каждый с загрузками разного типа. Для подачи воздуха установка была подключена к компрессору производительностью 0,21 м³/мин. Для измерения расхода сжатого воздуха использовали ротаметр.

Для подкормки микроорганизмов в биореакторы был залит питательный субстрат. Через неделю после

запуска лабораторной установки туда же был добавлен активный ил. Еще через 10 дней в биореакторы был внесен грунт, загрязненный нефтепродуктами, для выращивания нефтеразрушающей микрофлоры. По прошествии еще 20 дней в биореактор загрузили основную массу грунта: в первый — смесь песка с гравием (270 г), во второй — песок (30 г), в третий — гравий (60 г). Масса грунта, используемого для загрузки в биореактор, рассчитывалась в соответствии с его загрязненностью нефтепродуктами и расчетным количеством поллютанта в объеме иловой смеси.

В первый биореактор грунт помещался в контейнерах, что позволяло иловой смеси омывать их со всех сторон. Во второй — песок помещался на дно биореактора, что не позволяло осуществлять эффективный контакт иловой смеси с нефтепродуктами. В третьем — загруженный гравий представлял собой биофильтр, что достигалось путем фильтрации через него иловой смеси и возвратом последней в верхнюю часть реактора с помощью эрлифтной системы.

В ходе опыта проводился контроль за работой биореакторов по следующим показателям: биологическая по-

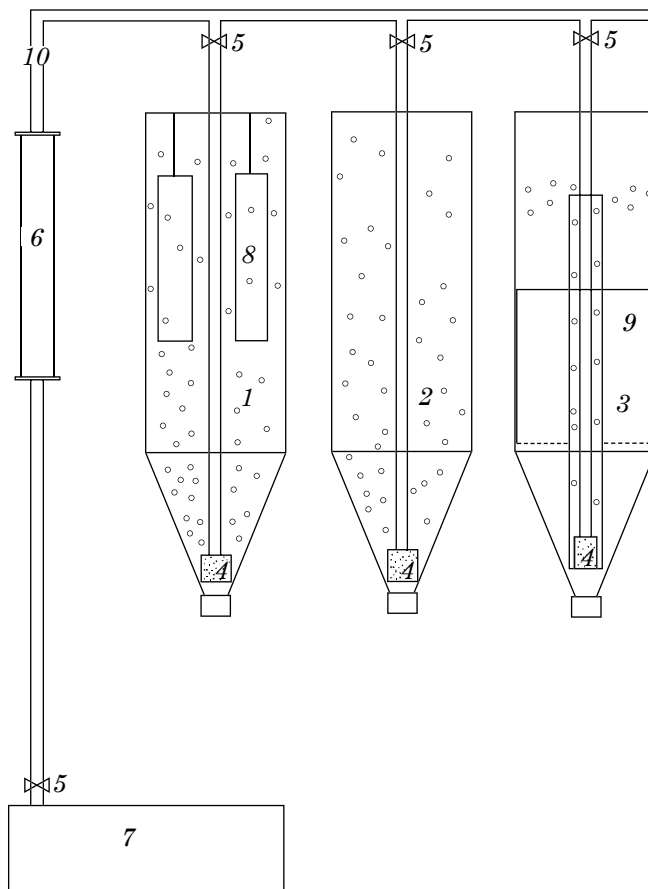


Рис. 1. Схема лабораторной установки биореакторов:

Биореакторы: 1 — с загрузкой контейнерного типа; 2 — в виде свободной загрузки; 3 — с неподвижной загрузкой; 4 — азраторы; 5 — вентили для регулировки подачи воздуха; 6 — ротаметр; 7 — компрессор; 8 — контейнеры для загрузки грунта; 9 — контейнер для неподвижной загрузки; 10 — соединительные шланги для подачи воздуха

требность в кислороде, химическая потребность в кислороде, содержание растворенного в воде кислорода, содержание количества ионов аммонийного азота, изменение концентрации нефтепродуктов в воде и в почвогрунтах на анализаторе нефтепродуктов АН-2 и весовым методом и измерение температуры (табл. 1).

Одновременно было отмечено снижение концентрации нефтепродуктов в жидкой фазе биореактора (рис. 2).

Таким образом, можно говорить о достаточно высокой эффективности предложенной технологии: 57–91% по вариантам сравнения за 27 дней опыта. Наибольший эффект очистки был достигнут в биореакторе № 1 — с загрузкой контейнерного типа, и № 3 — с неподвижной фильтрующей загрузкой.

С учетом эффективности предлагаемой технологии регенерации замазученного грунта и балласта, нами рассматриваются два варианта строительства биореакторов:

- 1) биореактор, работающий в летний период, расположенный на открытом участке;
- 2) биореактор, работающий в течение всего года, расположенный в закрытом, отапливаемом помещении.

В первом случае предлагается строительство сооружения из железобетона, имеющего параметры: длина 20 м, ширина 7 м, высота 2,5 м. Полный объем биореактора составит 350 м³. Рабочий объем — 280 м³. Объем загрузки загрязненного грунта составит 140 м³. Биорегенерация осуществляется 2 раза в год в летний период.

Таблица 1

Эффект биорегенерации замазученного грунта

Биореактор №	Удельный вес нефтепродуктов на грунте (мг/г грунта)		Эффект биорегенерации, мг/г грунта	Эффект биорегенерации, %
	до биорегенерации	после биорегенерации		
1	8,889	0,779	8,110	91,24
2	41,222	17,598	23,624	57,31
3	17,526	4,850	12,675	72,32

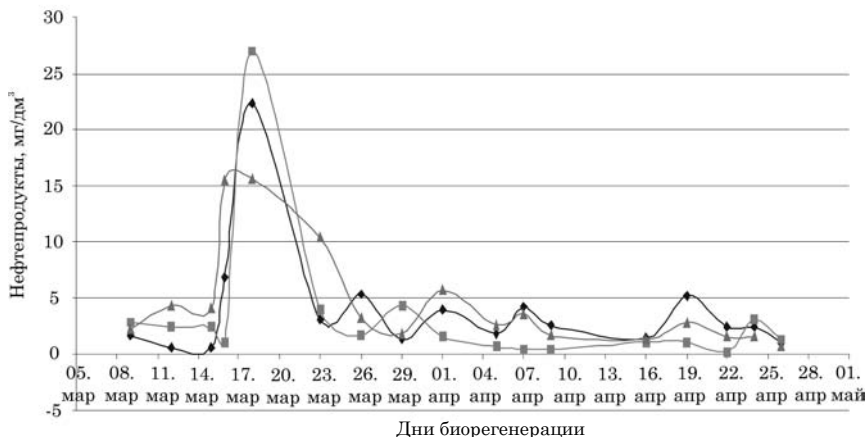


Рис. 2. Содержание нефтепродуктов в воде:

♦ — биореактор №1; ■ — биореактор №2; ▲ — биореактор №3

При реализации второго варианта биореактор будет иметь следующие параметры: длина 15 м, ширина 3 м, высота 2,5 м. Полный объем биореактора составит 112,5 м³. Рабочий объем — 90 м³. Объем загрузки загрязненного грунта составит 45 м³. Биорегенерация осуществляется 6 раз в год, периодами по 2 месяца.

Устройство предлагаемого биореактора показано на рис. 3 и 4.

Для обеспечения оптимальных условий аэрации высота загружаемого слоя не должна превышать одного метра. На расстоянии полуметра

от дна располагается перфорированное ложное дно, на которое будет укладываться грунт. Под перфорированным дном располагается система аэрации, состоящая из двух главных коллекторов диаметром 65 мм. От коллекторов отходит по 32 трубчатых аэратора длиной по 1,5 м. В биореакторе размещаются 6 вертикально расположенных труб диаметром 200 мм, снабженных снизу аэраторами для обеспечения эрлифтной перекачки иловой смеси из-под ложного днища в верхнюю часть биореактора. Это создаст постоянное переме-

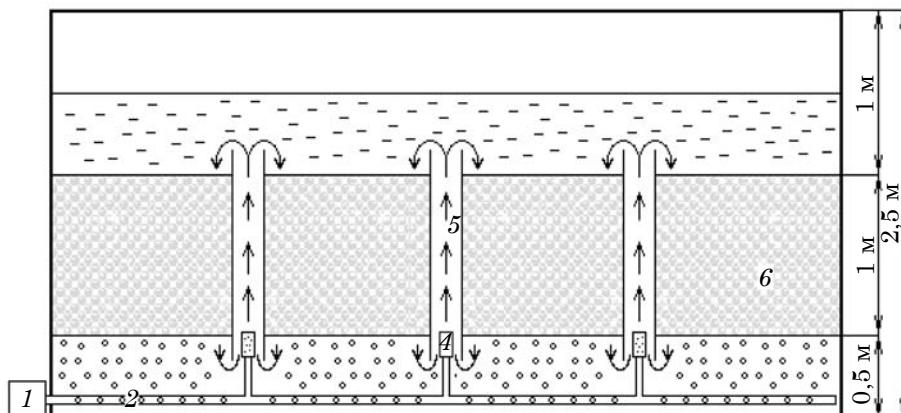


Рис. 3. Устройство биореактора

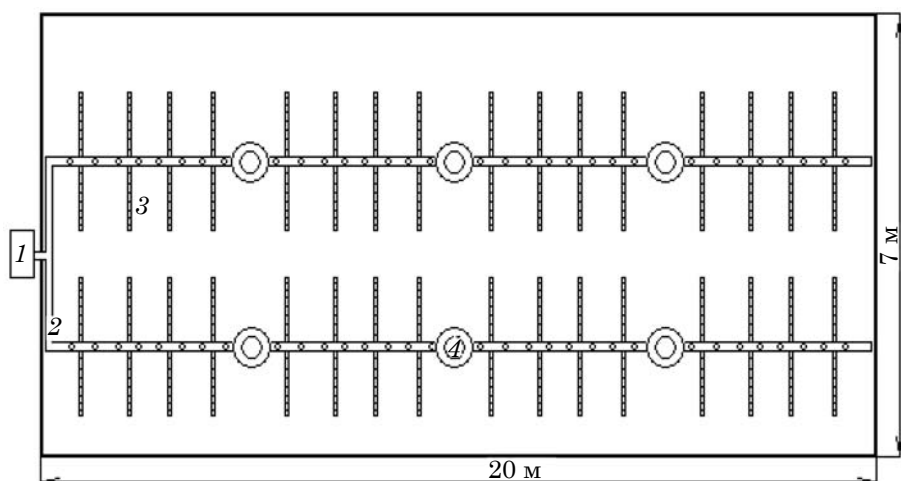


Рис. 4. План аэриационной системы:

- 1 — воздуходувка; 2 — коллектора; 3 — трубчатые аэраторы;
- 4 — аэраторы для эрлифта; 5 — эрлифт; 6 — грунт

щение масс воды через слой неподвижной загрузки.

Конструкция и используемые материалы (пластмассы, нержавеющие материалы) обеспечивают долговечность элементов — более 15 лет. Расход подаваемого воздуха — 3–5 м³/ч на погонный метр элементов аэрации.

Предполагается, что технологии биорегенерации нефтезагрязненного грунта будет включать в себя следующие этапы: 1) вырезка загрязненного грунта или сбор балласта с железнодорожного полотна; 2) накопление его на площадках временного хранения; 3) доставка загрязненного грунта или балласта к месту размещения биореактора; 4) процесс биоразложения нефтепродуктов микроорганизмами; 5) проведение анализов проб грунта на содержание нефтепродуктов.

В ходе работы была проведена также предварительная оценка экономической эффективности предложенной технологии регенерации нефтезагрязненных грунтов и балласта в биореакторе для станции Свердловск-Сортировочный.

Ежегодно со станции Свердловск-Сортировочный вывозится до 500 т загрязненного нефтепродуктами грунта. Вывоз производится ежегодно по договору со сторонними организациями. Ежегодные затраты на это мероприятие составляют 1101 тыс. р.

Для оценки экономической эффективности были рассмотрены два варианта биорегенерации:

1. Биорегенерация в летний период в биореакторе из железобетона, расположенном (площадью 140 м², высотой 2,5 м, объемом 350 м³ и рабочим объемом 240 м³) на территории депо станции Свердловск-Сортировочный на открытом месте.
2. Биорегенерация в течение всего года в биореакторе из железобетона (площадью 45 м², высотой 2,5 м, объемом 112,5 м³ и рабочим объемом 90 м³), расположенном на территории цеха в депо станции Свердловск-Сортировочный.

При этом предполагалось, что в обоих случаях оптимальный период биорегенерации составит 2 месяца и слой загруженного в биореактор нефтезагрязненного грунта не будет превышать 1 м.

Капитальные затраты по проекту представлены в табл. 2.

Эксплуатационные затраты по проекту, включающие в себя расходы на выплату заработной платы рабочим, обслуживающим биореактор, электроэнергию для воздуходувок, а также расходы на водопотребление и водоотведение, составили: по первому варианту — 105,8 тыс. р., по второму — 191, 8 тыс. р.

Таблица 2

Расчет капитальных затрат по вариантам реализации проекта

№ п/п	Наименование	Вариант биореактора № 1	Вариант биореактора № 2
1	Строительство биореактора, тыс. р.	4,86 тыс. р./м ³ *350 м ³ = 1701	4,86 тыс. р./м ³ *112,5 м ³ = 546
2	Дополнительное оборудование, тыс. р.	260	260
3	Стоимость воздуходувок, тыс. р.	160	80
4	Монтаж оборудования, тыс. р.	212	80,7
	Итого, тыс. р.:	2333	966,7

Экономическим эффектом от реализации проекта является сокращения затрат на утилизацию нефтезагрязненного грунта сторонней организацией (726,5 тыс. р.), а также на закупку нового грунта (364,5 тыс. р.), т.к. по существующей в настоящее время технологии на место снятого загрязненного грунта должен укладываться новый. Таким образом, экономический эффект составит 1101 тыс. р.

Для определения экономической эффективности проекта были рассчитаны следующие показатели: 1) чистый годовой экономический эффект; 2) эффективность капитальных вложений в средозащитное мероприятие; 3) срок окупаемости капитальных вложений [10]. Результаты расчета представлены в табл. 3.

Таким образом, можно говорить о достаточно высокой экономической эффективности предложенной технологии как по первому, так и по второму варианту ее реализации.

В заключении можно сделать следующие выводы:

1. Выполненные исследования подтверждают вымывание нефтепродуктов дождевым или талым стоком из почвы. Из-за ее ограниченной сорбционной способности

нефтепродукты непременно попадут в расположенные вблизи водные объекты, что подтверждает актуальность разработки локализованных технологий регенерации.

2. Предлагаемая технология биорегенерации грунтов и почв с помощью аборигенной микрофлоры, адаптированной к нефтепродуктам, позволяет реализовать процесс регенерации грунтов непосредственно на источнике их образования. Это позволяет уменьшить расходы на утилизацию загрязненного и закупку нового грунта, а также улучшить экологическую обстановку на предприятиях железнодорожного транспорта.
3. Проведенные исследования являлись рекогносцировочными, имеющими своей целью, в случае подтверждения правильности выдвинутой гипотезы, найти оптимальный вариант ее реализации. Полученный высокий экологический и экономический результат исследований позволяет говорить о необходимости их продолжения для поиска путей интенсификации регенерации нефтезагрязненных грунтов и балласта железнодорожного полотна в биореакторах. ■

Таблица 3

Показатели экономической эффективности проекта

Показатель	Расчетная формула	Численное значение	
		Вариант биореактор № 1	Вариант биореактора № 2
Экономический эффект (P), тыс. р.		1101,0	1101,0
Капитальные затраты (K), тыс. р.		2333,0	966,7
Эксплуатационные затраты (C), тыс. р.		105,8	191,8
Приведенные затраты (З), тыс. р.	$Z = C + E_{н}K$	479,0	346,0
Чистый годовой экономический эффект (R), тыс. р.	$R = P - Z$	622,0	755,0
Эффективность капитальных вложений в средозащитное мероприятие ($E_{кв}$)	$E_{кв} = \frac{P - C}{K}$	0,4	0,9
Срок окупаемости мероприятия ($t_{ок}$), год	$t_{ок} = \frac{1}{E_{кв}}$	2,4	1,1

Литература

1. Демьяненко А. Ф., Мизгирев Н. С. Микробиологическая очистка грунтов от нефтепродуктов в закрытых реакторах изотермического типа // Вестник ВНИИЖТ. — 2005. — № 5.
2. Бектенов М. Б., Акбасова А. Ж., Уразбеков А. К. Оценка влияния объектов железнодорожного транспорта на окружающую среду // Вестник КазНТУ. — 2009. — № 4 (74).
3. Асонов А. М., Волкова К. Р. Использование биотехнологий при восстановлении качества водных объектов, загрязненных нефтепродуктами // Молодые ученые — транспорту: тр. V межвуз. науч.-техн. конф. — Екатеринбург: УрГУПС, 2004. — Ч. 2. — С. 325–334.
4. Волкова К. Р., Асонов А. М. Анализ биологических методов борьбы с нефтяным загрязнением водоемов // Безопасность жизнедеятельности на ж. д. транспорте: межкафедральный сборник УрГУПС. — Екатеринбург: УрГУПС, 2006. — Вып. 55 (138). — С. 35–45.
5. Королев В. А. Очистка грунтов от загрязнений. — М.: МАИК «Наука/Интерпериодика», 2001. — 365 с.
6. Алексеева Т. П., Бурмистрова Т. Н., Терещенко Н. Н. Перспективы использования торфа для очистки нефтезагрязненных почв // Биотехнология. — 2000. — № 1.
7. Алисов Б. П., Берлин И. А., Михель В. М. Курс климатологии. Ч. III. Климаты земного шара. — Л., 1954.
8. Пиковский Ю. И., Калачникова И. Г., Оглоблина А. И. и др. Экспериментальные исследования трансформации нефти в почвах. — Л., 1985. — С. 191–195.
9. Пиковский Ю. И. Природные и техногенные потоки углеводородов в окружающей среде. — М., 1998. — 376 с.
10. Временная методика определения экономической эффективности природоохранных мероприятий и предотвращенного экологического ущерба [Электронный ресурс]: утв. Председателем Государственного комитета Российской Федерации по охране окружающей среды В. И. Даниловым-Данильяном 9 марта 1999 г. Доступ из справ.-правовой системы «Кодекс».

References

1. Demyanenko A. F., Mizgirev N. S. Mikrobiologicheskaya ochistka gruntov ot nefteproduktov v zakrytykh reaktorakh izotermicheskogo tipa [Microbiological abrading process of subsoils from petroleum products in closed isothermal-type reactors]. // Vestnik VNIIZHT — 2005. — № 5.
2. Bektenov M. B., Akbasova A. Zh., Urazbekov A. K. Otsenka vliyaniya objektov zheleznodorozhnogo transporta na okruzhayushchuyu sredu [Assessment of railway transport effect on the environment] // Vestnik KazNTU. — 2009. — № 4 (74).
3. Asonov A. M., Volkova K. R. Ispolzovanie biotekhnologij pri vosstanovlenii kachestva vodnykh objektov, zagryaznennykh nefteproduktami [Use of biotechnologies during rehabilitation of oil-polluted water objects] // Molodye uchenye — transportu: Trudy V Mezhevuzovskoy nauch.-tekh. konf. — Ekaterinburg: UrGUPS, 2004. — Ch. 2. — S. 325–334.
4. Volkova K. R., Asonov A. M. Analiz biologicheskikh metodov borby s neftyanym zagryazneniem vodoemov // Bezopasnost zhiznedeyatel'nosti na zh. d. transporte [Personal and social safety on railway transport]: Mezhhkafedralnyy sbornik UrGUPS. — Ekaterinburg: UrGUPS, 2006. — Vyp. 55 (138). — S. 35–45.
5. Korolev V. A. Ochistka gruntov ot zagryaznenij. [Subsoils cleaning from contamination]. — M.: MAIK «Nauka/Interperiodika», 2001. — 365 s.
6. Alekseeva T. P., Burmistrova T. N., Tereshchenko N. N. Perspektivy ispolzovaniya torfa dlya ochistki neftezagryaznennykh pochv [Perspectives of peat use for cleaning oil-polluted soils] // Biotehnologiya. — 2000. — № 1.
7. Alisov B. P., Berlin I. A., Mihel V. M. Kurs klimatologii. Ch. III. Klimaty zemnogo shara. [Climates of the world]. — L., 1954.
8. Pikovskij Yu. I., Kalashnikova I. G., Ogloblina A. I. i dr. Eksperimentalnye issledovaniya transformatsii nef'ti v pochvakh. [Experimental research of oil transformation in soils]. — L., 1985. — S. 191–195.
9. Pikovskij Yu. I. Prirodnye i tekhnogennye potoki uglevodorodov v okruzhayushchej srede. [Natural and anthropogenic carbon streams in the environment]. — M., 1998. — 376 s.
10. Vremennaya metodika opredeleniya ekonomicheskoy effektivnosti prirodookhrannykh meropriyatij i predotvrashchennogo ekologicheskogo ushcherba [Interim method of cost-effectiveness testing of nature-conservative measures and adverted ecological harm] [Elektronnyy resurs] utv. Predsedatelem Gosudarstvennogo komiteta Rossijskoj Federatsii po okhrane okruzhayushchej sredy V. I. Danilovym-Danilyanom 9 marta 1999 g. Dostup iz sprav.pravovoj sistemy «Kodeks».

ОРГАНИЗАЦИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

О. В. Куликова, Э. Е. Поповский, Е. Г. Филиппова

УДК 517

Сравнение качества математических знаний абитуриентов при поступлении на технические и экономические специальности

O. V. Kulikova, E. E. Popovsky, E. G. Filippova

UDC 517

Comparison of university entrants' mathematics knowledge quality when entering technical and economic specialties

Аннотация

Предложена технология применения методов математической статистики не в опытно-экспериментальных исследованиях, а в педагогической практике для эмпирического обоснования необходимости построения дидактического обеспечения на принципе «сквозной дифференциации». Качество математических знаний студентов первого курса, обучающихся на технических и экономических специальностях, сравнивалось через проверку непараметрических статистических гипотез.

Исследуемые выборки формировались на основе результатов диагностики качества математических знаний, которые были получены при прохождении обучающимися единого государственного экзамена и интернет-тестирования по математике. Выявление различия в качестве математических знаний студентов, планирующих получение технического или экономического образования, предъявляет определенные требования к проектированию дидактических материалов по учебной дисциплине.

Ключевые слова:

качество математических знаний, принцип «сквозной дифференциации», независимые выборки, непараметрическая статистическая гипотеза, статистический критерий.

Abstract

The authors suggest the technology of applying mathematical statistics methods not in a research but in teaching practice for the observation support of the necessity to construct the didactic base on 'open-end differentiation' principle. The mathematics knowledge quality of first-year students of technical and economic specialties compared by means of checking the non-parametric statistic hypotheses.

The samplings under research were formed on the basis of results of math's knowledge quality diagnostics, which were got after school-leavers' passing the Unified State Examination and internet-testing on Mathematics. Detection of differences in mathematics knowledge quality of students, planning to get technical or economic education, requires certain demands to the designing didactic materials on a discipline.

Key words:

mathematics knowledge quality, 'open-end differentiation' principle, independent samplings, nonparametric statistic hypothesis, statistic criterion.

Ольга Валентиновна Куликова, канд. пед. наук, доцент; кафедра «Высшая математика» Уральского государственного университета путей сообщения, Екатеринбург, Россия. E-mail: kulikova1000@rambler.ru.

Эдуард Евгеньевич Поповский, доцент; кафедра «Высшая математика» Уральского государственного университета путей сообщения, Екатеринбург, Россия.

Елена Геннадьевна Филиппова, ассистент; кафедра «Высшая математика» Уральского государственного университета путей сообщения, Екатеринбург, Россия.

Olga V. Kulikova, PhD, associate professor; «Higher mathematics» department of the Ural State University of Railway Transport (USURT). Ekaterinburg, Russia. E-mail: kulikova1000@rambler.ru.

Eduard E. Popovsky, associate professor; «Higher mathematics» department of the Ural State University of Railway Transport (USURT). Ekaterinburg, Russia.

Elena G. Filippova, lecturer; «Higher mathematics» department of the Ural State University of Railway Transport (USURT). Ekaterinburg, Russia.

Успешность адаптации молодого специалиста или бакалавра в сфере современного производства во многом определяется сформированной в период обучения в вузе в его сознании понятийной системы, отражающей закономерности объективной реальности. Понимание механизма функционирования и развития сложных технических и экономических систем опирается на качественное математическое образование. Получение полного общего образования по математике предопределяет освоение единого государственного стандарта. Следовательно, качество знаний абитуриентов, желающих осваивать образовательные программы по техническим и экономическим направлениям, требующим хорошей математической подготовки, на начальном этапе обучения не должно значительно различаться.

Если это действительно имеет место, то составление программно-методического обеспечения учебного процесса должно основываться на принципе «постепенно нарастающей дифференциации» в освоении методов решения профессионально-ориентированных задач. Если уже на начальном этапе получения высшего профессионального образования имеется значимое различие в качестве математических знаний студентов технических и экономических специальностей, то целесообразно использовать принцип «сквозной дифференциации» при планировании и организации процесса обучения.

Необходимость сравнения качества математических знаний студентов, выделенных выше двух групп, позволяет своевременно определить принципиальные подходы к созданию дидактического обеспечения учебного процесса по дисциплине «Математика». Проведение такой процедуры опирается на методы математической статистики, применение которых становится возможным,

если имеются большие выборочные совокупности данных педагогических измерений и качество знаний оценивается по количественной шкале с большим размахом. В настоящее время в педагогике выборки с большим объемом могут формироваться по итогам проведения таких мероприятий, как единый государственный экзамен (ЕГЭ) или интернет-тестирование в сфере высшего профессионального образования, которые создают огромные массивы данных, представленных в числовом виде, удобном для обработки средствами программного обеспечения современных ЭВМ.

Контрольные измерительные материалы ЕГЭ предназначены для установления уровня освоения выпускниками федерального компонента государственного образовательного стандарта среднего (полного) общего образования. Экзаменационная работа состоит из двух частей (В и С), которые различаются по содержанию, сложности и числу заданий. Часть В содержит 12 заданий, на которые необходимо дать краткий ответ. Правильное решение каждого из 12 заданий оценивается одним баллом. Часть С включает 6 заданий стоимостью 2 балла (С1 и С2), 3 балла (С3 и С4) и 4 балла (С5 и С6). Продолжительность выполнения экзаменационной работы составляет 240 минут, а ее максимальная стоимость — 30 баллов. Первично полученные выпускниками баллы при сдаче ЕГЭ преобразуются в соответствующие значения по 100-балльной шкале, которые можно рассматривать как процент качественного выполнения необходимого объема запланированной аттестационной работы [8]. Результаты единого государственного экзамена (ЕГЭ) по математике в образовательных учреждениях высшего профессионального образования признаются как результаты вступительных испытаний по математике, и их можно рассматривать

как выборочную совокупность, внутри которой выделяются две группы: первая — результаты ЕГЭ абитуриентов, поступающих на технические специальности, и вторая — результаты ЕГЭ абитуриентов, поступающих на экономические специальности.

Научно-исследовательский институт мониторинга качества образования (г. Йошкар-Ола) впервые проводил с 01 сентября по 30 ноября 2010 г. в режиме on-line диагностическое тестирование, рассчитанное на 80 минут, с целью контроля и оценки у студентов первого курса качества знаний по математике за школьный курс. Аттестационные педагогические измерительные материалы содержали 19 заданий в тестовой форме: 9 заданий — с открытой формой ответа, 10 — с выбором варианта ответа [1]. Проведенный анализ содержания тестовых заданий показал, что 16 заданий аналогичны соответствующим заданиям из части В, а 3 задания можно отнести к аналогичным заданиям из части С, степень сложности которых несколько ниже, чем в ЕГЭ. Успешность прохождения студентом тестирования отображается процентом правильно решенных заданий от их общего количества. Полученные результаты тестирования первокурсников следует рассматривать как выборочные совокупности, внутри которых можно выделить две группы: первая — результаты тестирования студентов I курса, обучающихся на технических специальностях, и вторая — результаты тестирования студентов I курса, обучающихся на экономических специальностях.

Сравнение качества математических знаний абитуриентов, планирующих получение высшего технического и экономического образования, — это установление значимости различия соответствующих интервальных распределений, которые составляются по результатам ЕГЭ и тестирования одних и тех же обучающихся. Если сравниваемые распределения форми-

руются из выборочных совокупностей, подчиняющихся закону нормального распределения при заданном уровне значимости, то в дальнейшем должна осуществляться проверка параметрических статистических гипотез (о равенстве или неравенстве математических ожиданий и дисперсий, о нулевом значении коэффициента корреляции), в противном случае — проверка непараметрических гипотез.

Для проверки предположения о виде распределений результатов ЕГЭ и тестирования формулируются основные гипотезы H_{01} и H_{02} о том, что выборочные совокупности подчиняются нормальному закону распределения соответственно с параметрами a_1, σ_1 и a_2, σ_2 , при этом в конкурирующих гипотезах H_{11} и H_{12} утверждается противоположное.

Условие принятия основных гипотез задается неравенством [2, 4, 5]

$$\chi_{\text{набл}}^2(\epsilon'_i) < \chi_{\text{кр}}^2(\alpha; k), \quad (1)$$

где $\chi_{\text{набл}}^2(\epsilon'_i)$ — наблюдаемое значение критерия Пирсона; $\chi_{\text{кр}}^2(\alpha; k)$ — критическое значение критерия Пирсона, определяемое по таблице χ^2 — распределения на уровне значимости α при числе степеней свободы $k(k = m - 3; m$ — количество интервалов статистического распределения).

Наблюдаемое значение критерия Пирсона $\chi_{\text{набл}}^2(\epsilon'_i)$ вычисляется по формуле

$$\chi_{\text{набл}}^2(\epsilon'_i) = \sum_{i=1}^m \epsilon'_i, \quad (2)$$

где $\epsilon'_i = \frac{(n_i - n'_i)^2}{n'_i}$; n_i — эмпирическая частота статистического распределения; n'_i — теоретическая частота нормального распределения.

Расчет значений n'_i для i -го интервала проводится по формуле

$$\begin{aligned} n'_i &= nP_i = n(\Phi(z_{i+1}) - \Phi(z_i)) = \\ &= n \left(\Phi \left(\frac{x_{i+1} - a}{\sigma} \right) - \Phi \left(\frac{x_i - a}{\sigma} \right) \right), \quad (3) \end{aligned}$$

где $\Phi(z)$ — функция Лапласа; n — объем выборки; x_i — нижняя граница i -го интервала; x_{i+1} — верхняя граница i -го интервала.

Параметры a и σ нормального распределения находятся с помощью метода моментов, согласно которому их приравнивают к соответствующим состоятельным и несмещенным выборочным оценкам [2, 4, 5]:

- 1) начальный момент первого порядка нормального распределения a к начальному моменту первого порядка эмпирического распределения \bar{x}_b :

$$a = \bar{x}_b = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^m x'_i n_i, \quad (4)$$

где x'_i — среднее значение i -го интервала $((x_i + x_{i+1})/2)$; m — количество интервалов статистического распределения.

- 2) центральный момент второго порядка нормального распределения σ^2 к «исправленному» центральному моменту второго порядка эмпирического распределения s^2 :

$$\begin{aligned} \sigma^2 = s^2 &= \frac{m}{m-1} \sigma_b^2 = \\ &= \frac{m}{m-1} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^m (x'_i - \bar{x}_b)^2 n_i \right), \end{aligned} \quad (5)$$

где σ_b^2 — выборочная дисперсия.

Оценка точности Δ_a или абсолютная погрешность измерения параметра a нормального распределения вычисляется по формуле [4]

$$\Delta_a = \frac{t(\alpha; k)s}{\sqrt{m}}, \quad (6)$$

где $t(\alpha; k)$ — квантиль распределения Стьюдента на уровне значимости α при числе степеней свободы $k(k = m - 1)$; s — исправленное среднее квадратическое отклонение.

Оценка точности Δ_σ , или абсолютная погрешность измерения параметра σ нормального распределения, вычисляется по формуле [4]

$$\Delta_\sigma = s\delta(\alpha; k), \quad (7)$$

где $\delta(\alpha; k)$ — величина, которая является решением уравнения на заданном уровне значимости α при числе степеней свободы k ,

$$P \left(\frac{k}{(1 + \delta(\alpha; k))^2} < \chi^2(\alpha; k) < \frac{k}{\max^2(1 - \delta(\alpha; k); 0)} \right) = 1 - \alpha,$$

где $\chi^2(\alpha; k)$ — квантиль χ^2 — распределения на уровне значимости α при числе степеней свободы $k(k = m - 1)$.

Абсолютные погрешности Δ_a и Δ_σ указываются двумя значащими цифрами, если первая из них равна 1 или 2, и одной — во всех остальных случаях, а значения параметров a и σ — округляются до того же десятичного знака, которым оканчиваются округленные значения их оценок точности [7].

Первоначально при составлении статистических распределений учитывается, что количество интервалов должно быть от 7 до 15 [2, 4, 5]. Во внимание принимаются следующие два фактора: 1) значения результатов ЕГЭ для студентов вуза находятся в диапазоне от 21 до 100; 2) значения результатов тестирования — от 0 до 100. В связи с этим представляется целесообразным выбрать длину интервала, равную 10 единицам ($h = 10$), тогда количество интервалов для результатов ЕГЭ устанавливается равным 8, а для тестирования — равным 10. Совокупность результатов ЕГЭ обозначим буквой V , а совокупность результатов тестирования — буквой W (табл. 1).

Учитывая, что эмпирическая частота каждого интервала не должна быть меньше 5, объединяем два последних интервала (см. табл. 1). Состоятельные несмещенные оценки средних выборочных для выборок V и W соответственно равны: $\bar{\chi}_{bV} = 47 \pm 15$ и $\bar{\chi}_{bW} = 33 \pm 14$, а их «исправленные» средние квадратические отклонения

принимают соответственно значения $S_V = 16 \pm 15$ и $S_W = 18 \pm 13$. Формулируются и проверяются следующие основные статистические гипотезы: H_{01} — выборочная совокупность V имеет нормальное распределение с параметрами $\alpha_v = 47$ и $\sigma_v = 16$ на уровне значимости 0,05 при числе степеней свободы 4; H_{02} — выборочная совокупность W имеет нормальное распределение с параметрами $\alpha_w = 33$ и $\sigma_w = 18$ на уровне значимости 0,05 при числе степеней свободы 6. Расчеты статистического критерия согласия для проверки H_{01} и H_{02} представлены в табл. 2 и 3, а интерпретация полученных результатов вычислений — в табл. 4.

Графическое изображение несоответствия гистограммы плотности относительных частот ($n_i/N/h$) эмпирических статистических распределений с кривой плотности вероятностей нормального распределения

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}}$$

для выборок V и W представлено на рис. 1.

Отклонение основных гипотез H_{01} и H_{02} не позволяет провести испытание параметрических гипотез для сравнения качества математических знаний обучающихся технических и экономических специальностей по результатам ЕГЭ и тестирования.

Таблица 1

Интервальные статистические распределения выборок V и W

Выборка	Интервал										Объем
	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100	
V	—	—	64	100	152	118	45	26	4	11	520
W	54	50	129	144	69	42	16	10	4	2	520

Таблица 2

Проверка закона нормального распределения результатов ЕГЭ (выборка V)

Величина	Интервал								Σ
	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-100		
x'_i	25	35	45	55	65	75	90		
n_i	64	100	152	118	45	26	15	520	
n'_i	51	97	126	113	69	29	10	495	
ε'_i	3,31	0,09	5,37	0,22	8,35	0,31	2,50	20,2	

Таблица 3

Проверка закона нормального распределения результатов тестирования (выборка W)

Величина	Интервал										Σ
	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-100		
x'_i	5	15	25	35	45	55	65	75	90		
n_i	54	50	129	144	69	42	16	10	6	520	
n'_i	33	70	103	113	92	54	24	8	2	499	
ε'_i	13,36	5,71	6,56	8,50	5,75	2,67	2,67	0,50	8,00	53,7	

Таблица 4

Проявление статистических закономерностей

Результат вычислений	Интерпретация
Сумма эмпирических частот результатов ЕГЭ, равная 520, не совпадает с суммой теоретических частот, равной 495, нормального распределения с параметрами $\alpha_v = 47$ и $\sigma_v = 16$	Разность между эмпирическими и теоретическими частотами, равная 25, соответствует количеству наблюдений, вычисляемых по закону нормального распределения с параметрами $\alpha_v = 47$ и $\sigma_v = 16$ на интервалах $(-\infty; 20)$ и $(100; +\infty)$, которые размещаются за пределами интересующего нас отрезка $[20; 100]$
Сумма эмпирических частот результатов тестирования, равная 520, не совпадает с суммой теоретических частот, равной 499, нормального распределения с параметрами $\alpha_w = 33$ и $\sigma_w = 18$	Разность между эмпирическими и теоретическими частотами, равная 21, соответствует количеству наблюдений, вычисляемых по закону нормального распределения с параметрами $\alpha_w = 33$ и $\sigma_w = 18$ на интервалах $(-\infty; 0)$ и $(100; +\infty)$, которые размещаются за пределами интересующего нас отрезка $[0; 100]$
Наблюдаемое значение критерия Пирсона $\chi^2_{\text{набл.}}(\epsilon'_i) = 20,2$ для результатов ЕГЭ (выборка V) превышает его критическое значение $\chi^2_{\text{кр.}}(0,05;4) = 9,5$ на уровне значимости 0,05 при числе степеней свободы 4	Неравенство (1) не выполняется, следовательно, принимается конкурирующая гипотеза H_{11} : выборочная совокупность V не имеет нормальное распределение с параметрами $\alpha_v = 47$ и $\sigma_v = 16$ на уровне значимости 0,05 при числе степеней свободы 4
Наблюдаемое значение критерия Пирсона $\chi^2_{\text{набл.}}(\epsilon'_i) = 53,7$ для результатов тестирования (выборка W) превышает его критическое значение $\chi^2_{\text{кр.}}(0,05;6) = 12,6$ на уровне значимости 0,05 при числе степеней свободы 6	Неравенство (1) не выполняется, следовательно, принимается конкурирующая гипотеза H_{12} : выборочная совокупность W не имеет нормальное распределение с параметрами $\alpha_w = 33$ и $\sigma_w = 18$ на уровне значимости 0,05 при числе степеней свободы 6

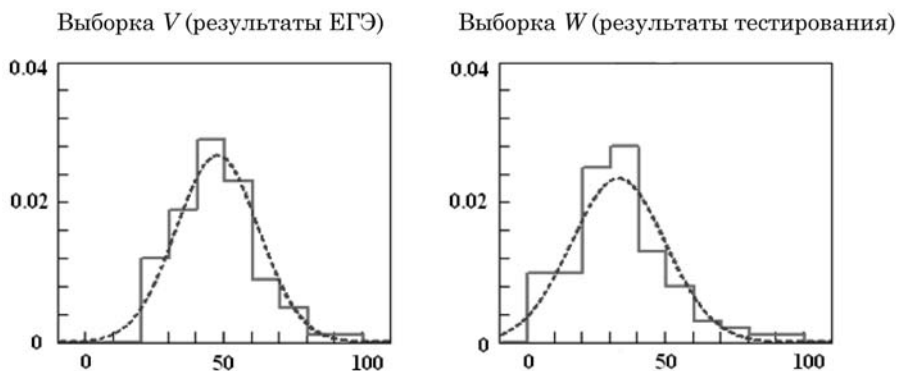


Рис. 1. Сравнение эмпирических и нормальных распределений:
 — гистограмма относительной плотности эмпирического распределения;
 — функция плотности вероятностей нормального распределения

Проверка непараметрических гипотез о значимости или незначимости различия в выделенных группах требует разбиения каждой из выборок V и W на две части: V_T — результаты ЕГЭ студентов I курса технических специальностей, $V_Э$ — результаты ЕГЭ студентов I курса экономических специальностей, W_T — результаты тестирования студентов I курса технических специальностей, $W_Э$ — результаты тестирования студентов I курса экономических специальностей. Совокупности V_T и $V_Э$, а также W_T и $W_Э$ — это попарно независимые выборки. Основные гипотезы H_{0V} и H_{0W} формулируются о том, что различие в сравниваемых группах не значимо, а в конкурирующих гипотезах H_{1V} и H_{1W} — фиксируется противоположное утверждение.

Условие принятия гипотез H_{0V} и H_{0W} задается неравенством [3, 6, 9]

$$\chi_{\text{набл}}^2(\epsilon_{ij}^*) < \chi_{\text{кр}}^2(\alpha; k), \quad (8)$$

где $\chi_{\text{набл}}^2(\epsilon_{ij}^*)$ — наблюдаемое значение критерия Пирсона; $\chi_{\text{кр}}^2(\alpha; k)$ — критическое значение критерия Пирсона, определяемое по таблице χ^2 — распределения на уровне значимости α при числе степеней свободы $k(k = (l - 1)(m - 1))$, где l — количество сравниваемых независимых выборок; m — количество интервалов сравниваемых статистических распределений).

Наблюдаемое значение критерия Пирсона $\chi_{\text{набл}}^2(\epsilon_{ij}^*)$ вычисляется по формуле

$$\chi_{\text{набл}}^2(\epsilon_{ij}^*) = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^m \epsilon_{ij}^*, \quad (9)$$

где $\epsilon_{ij}^* = \frac{(n_{ij} - n_{ij}^*)^2}{n_{ij}^*}$, n_{ij} — эмпирическая частота статистического распределения;

n_{ij}^* — теоретическая частота средневзвешенного распределения.

Расчет значений n_{ij}^* для j -го интервала первого и второго n_{2j}^* из сравниваемых распределений проводится по формуле

$$\begin{aligned} n_{1j}^* &= \frac{n_{1j} + n_{2j}}{n_1 + n_2} n_1, \\ n_{2j}^* &= \frac{n_{1j} + n_{2j}}{n_1 + n_2} n_2, \quad j = \overline{1, m}, \end{aligned} \quad (10)$$

где n_{1j}^* — эмпирическая частота j -го интервала первого из сравниваемых независимых распределений, и второго n_{2j}^* — эмпирическая частота j -го интервала второго из сравниваемых независимых распределений; n_1 — объем первой выборки; n_2 — объем второй выборки.

Традиционная шкала оценки качества знаний имеет четыре уровня: I уровень — «неудовлетворительно», II уровень — «удовлетворительно», III уровень — «хорошо» и IV уровень — «отлично». Для распределения 100 условных единиц (баллов или процентов) по отмеченным уровням необходимо учесть два условия: 1) содержание учебных умений для решения математических задач в ЕГЭ и тестировании; 2) наличие в каждом интервале, соответствующих конкретному уровню, не менее пяти наблюдений. При соблюдении этих условий была получена следующая четырехуровневая интервально-номинальная шкала: I — (0–25) или оценка «2», II — (25–50) или оценки «3–» и «3», III — (50–60) или оценки «3+» и «4–», IV — (60–100) или оценки «4» и «5». Распределение качества математических знаний по выделенным выше уровням диагностики отражено в табл. 5.

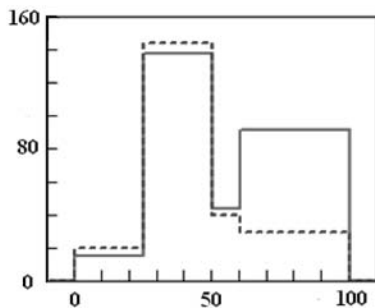
Распределения результатов ЕГЭ и тестирования для выборок V_T , $V_Э$, W_T , $W_Э$ представлены на рис. 2 и в табл. 6, 7.

Таблица 5

Шкала оценки качества математических знаний

Уровень, баллы			Критерии
I 0–25	II 26–50	III 51–60	Применение математики в несложных практических ситуациях (решение показательных, логарифмических и иррациональных уравнений, приводящихся к линейным уравнениям), выбор оптимального варианта в одной из представленных ситуаций с экономическим и физическим (механическим) содержанием, знание элементов планиметрии
			Умение составлять математические модели на основе вербального описания производственных, финансовых ситуаций, владение формулами тригонометрических преобразований и их использование в решении задач по планиметрии, знание основных формул стереометрии, выполнение действий с координатами и векторами, знание основ дифференциального исчисления
	IV 61–100	Уверенное владение материалом планиметрии и стереометрии, дифференциальным исчислением	
		Решение смешанных систем уравнений, умение находить решение тригонометрических уравнений с учетом ограничений области допустимых значений, знание нестандартных приемов решения уравнений и систем уравнений, умение выстраивать логическую цепочку рассуждений, решать уравнения с параметрами и уравнения в целых числах, применение метода координат при решении задач по геометрии	

Распределения выборок V_T и V_3 по результатам ЕГЭ



Распределения выборок W_T и W_3 по результатам тестирования

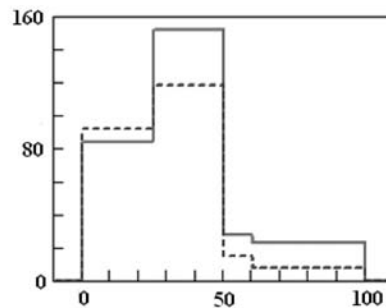


Рис. 2. Распределения результатов ЕГЭ и тестирования:
 — распределения выборки V_T, W_T ; — распределения выборки V_3, W_3

Формулируются и проверяются следующие основные статистические гипотезы: H_{0V} — выборочные совокупности V_T и V_{\ominus} незначимо различаются на уровне значимости 0,05 при числе степеней свободы 3; H_{0W} — выбороч-

ные совокупности W_T и W_{\ominus} незначимо различаются на уровне значимости 0,05 при числе степеней свободы 3. Расчеты статистического критерия согласия для проверки H_{0V} и H_{0W} представлены в табл. 8 и табл. 9.

Таблица 6

Распределения результатов ЕГЭ в выборках V_T и V_{\ominus}

Выборки	Уровень				Σ
	I (0–25)	II (25–50)	III (50–60)	IV (60–100)	
V_T	15	137	44	91	287
V_{\ominus}	20	144	40	29	233

Таблица 7

Распределения результатов тестирования в выборках W_T и W_{\ominus}

Выборки	Уровень				Σ
	I (0–25)	II (25–50)	III (50–60)	IV (60–100)	
W_T	84	152	28	23	287
W_{\ominus}	92	118	15	8	233

Таблица 8

Проверка различия распределений выборок V_T и V_{\ominus}

n_{ij}^*	ϵ_{ij}^*	Уровень				Σ
		I (0–25)	II (25–50)	III (50–60)	IV (60–100)	
V_T	19 / 0,96	155 / 2,10	47 / 0,12	66 / 9,30	287 / 12,5	
V_{\ominus}	16 / 0,03	126 / 0,79	37 / 1,10	54 / 11,40	233 / 13,3	

Таблица 9

Проверка различия распределений выборок W_T и W_{\ominus}

n_{ij}^*	ϵ_{ij}^*	Уровень				Σ
		I (0–25)	II (25–50)	III (50–60)	IV (60–100)	
W_T	97 / 1,77	149 / 0,06	24 / 0,78	17 / 1,96	287 / 4,6	
W_{\ominus}	79 / 2,20	121 / 0,07	19 / 0,96	14 / 2,40	233 / 5,6	

Результаты вычислений показывают, что: 1) наблюдаемое значение критерия Пирсона $\chi^2_{\text{набл.}}(\epsilon_{ij}^*) = 25,8$ для выборок V_T и V_3 превышает его критическое значение $\chi^2_{\text{кр.}}(0,05;3) = 7,5$ на уровне значимости 0,05 при числе степеней свободы 3; 2) наблюдаемое значение критерия Пирсона $\chi^2_{\text{набл.}}(\epsilon_{ij}^*) = 10,2$ для выборок W_T и W_3 превышает его критическое значение $\chi^2_{\text{кр.}}(0,05;3) = 7,5$ на уровне значимости 0,05 при числе степеней свободы 3.

Неравенство (8) не выполняется, следовательно, принимаются конкурирующие гипотезы H_{1V} (выборочные совокупности V_T и V_3 значимо различаются на уровне значимости 0,05 при числе степеней свободы 3) и H_{1W} (выборочные совокупности W_T и W_3 значимо различаются на уровне значимости 0,05 при числе степеней свободы 3).

Отклонение основных гипотез H_{0V} и H_{0W} констатирует различие в качестве математических знаний студентов, обучающихся на технических и экономических специальностях на начальном этапе обучения в данном вузе. Проведенное исследование показывает, что при организации учебных занятий целесообразно учитывать принцип «сквозной дифференциации», согласно которому дидактическое обеспечение, предназначенное для студентов, обучающихся на технических специальностях, должно существенно отличаться от дидактического обеспечения, предназначенного для студентов, обучающихся на экономических специальностях.

Методы проверки непараметрических статистических гипотез не по-

зволяют выявить группу студентов, имеющих более высокое качество знаний, однако следует отметить, что относительно больший процент студентов, обучающихся на технических специальностях, проявляет при решении задач умения, соответствующие критериям IV уровня шкалы оценки качества математических знаний (см. табл. 5). Эти студенты более успешно владеют знаниями математики в несложных практических ситуациях и основами дифференциального исчисления, уверенно составляют математические модели на основе вербального описания производственных задач и находят решения разнообразных видов уравнений, способны выстраивать логическую цепочку рассуждений.

Подавляющее большинство студентов I курса, обучающихся на экономических специальностях, в первом семестре обучения в вузе демонстрируют знания элементарной математики и испытывают затруднения при выполнении логарифмических и тригонометрических преобразований, использовании дифференциального исчисления в решении учебных задач, неуверенно ориентируются в причинно-следственных связях математического моделирования.

Выявление характерных особенностей качества математических знаний студентов, обучающихся на технических и экономических специальностях, эмпирически обосновывает необходимость своевременного проектирования различных методических комплексов по учебной дисциплине для этих групп обучающихся. ■

Литература

1. Аттестационные педагогические измерительные материалы (математика). URL: <http://www.i-exam.ru>
2. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика: учеб. пособие для вузов — 9-е изд., стер. / В. Е. Гмурман. — М.: Высш. шк., 2003. — 479 с. ISBN 5-06-004211-6.
3. Грабарь М. И., Краснянская К. А. Применение математической статистики в педагогических исследованиях. Непараметрические методы. — М.: «Педагогика», 1977. — 136 с.

4. Колемаев В. А., Калинина В. Н. Теория вероятностей и математическая статистика: учебник для вузов. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2003. — 352 с. ISBN 5-238-00560-1.
5. Кремер Н. Ш. Теория вероятностей и математическая статистика: учебник для вузов. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2004. — 573 с. ISBN 5-238-00573-3.
6. Новиков Д. А. Статистические методы в педагогических исследованиях. Типовые случаи. — М.: МЗ-Пресс, 2004. — 68 с. ISBN 5-94073-073-6.
7. Сергеев А. Г., Крохин В. В. Метрология: учеб. пособие для вузов. — М.: Логос, 2001. — 408 с. ISBN 5-94010-039-2.
8. Спецификация контрольных измерительных материалов единого государственного экзамена 2010 г. по математике. URL: <http://www.fipi.ru>
9. Теория статистики с основами теории вероятностей: учеб. пособие для вузов / И. И. Елисеева, В. С. Князевский, Л. И. Ниворожкина, З. А. Морозова; под ред. И. И. Елисеевой. — М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2001. — 446 с.

References:

1. Attestatsionnye pedagogicheskie izmeritelnye materialy (matematika). [Attestation teaching standardized materials (mathematics)] URL: <http://www.iexam.ru>.
2. Gmurman V. E. Teoriya veroyatnostej i matematicheskaya statistika [Probability theory and mathematical statistics]: ucheb. posobie dlya vuzov / V. E. Gmurman. — 9-e izd., ster. — M.: Vyssh. shk. 2003. — 479 s. ISBN 5-06-004211-6.
3. Grabar M. I., Krasnyanskaya K. A. Primenenie matematicheskoy statistiki v pedagogicheskikh issledovaniyakh. Neparаметрические методы. [Application of mathematical statistics in teachers' research. Nonparametric methods]. — М.: «Педагогика», 1977. — 136 s.
4. Kolemaev V. A., Kalinina V. N. Teoriya veroyatnostej i matematicheskaya statistika [Probability theory and mathematical statistics]: uchebnik dlya vuzov. — 2-e izd., pererab. i dop. — M.: YUNITI-DANA, 2003. — 352 s. ISBN 5-238-00560-1.
5. Kremer N. Sh. Teoriya veroyatnostej i matematicheskaya statistika [Probability theory and mathematical statistics]: uchebnik dlya vuzov. — 2-e izd., pererab. i dop. — M.: YUNITI-DANA, 2004. — 573 s. ISBN 5-238-00573-3.
6. Novikov d. A. Statisticheskie metody v pedagogicheskikh issledovaniyakh. Tipovye sluchai. [Statistics methods in teachers' research. Standard cases]. — M. MZ-Press, 2004. — 68 s. ISBN 5-94073-073-6.
7. Sergeev A. G., Krokhin V. V. Metrologiya [Metrology]: ucheb. posobie dlya vuzov. — M. Logos, 2001. — 408 s. ISBN 5-94010-039-2.
8. Spetsifikatsiya kontrolnykh izmeritelnykh materialov edinogo gosudarstvennogo ekzamena 2010 g. po matematike. [Specification of control checking materials of the Unified State Examination on mathematics in 2010]. URL: <http://www.fipi.ru>
9. Teoriya statistiki s osnovami teorii veroyatnostej [Statistics theory with fundamentals of probability theory]: ucheb. posobie dlya vuzov / I. I. Eliseeva, V. S. Knyazevskij, L. I. Nivorozhkina, Z. A. Morozova pod red. I. I. Eliseevoj. — M.: YUNITI-DANA, 2001. — 446 s.

Статья сдана в редакцию 22 апреля 2011 года.

АСПИРАНТСКАЯ ТЕТРАДЬ

УДК 514.75

Е. А. Рогозинников

Группы движений кривых с постоянными и периодическими кривизнами

UDC 514.75

E. A. Rogozinnikov

Motion groups of curves with constant and periodic curvatures

Аннотация

В работе установлены некоторые связи между геометрическими свойствами кривых в аффинных евклидовых пространствах и свойствами групп движений этих кривых. Получена характеристика кривых в аффинных пространствах, обладающих постоянными и периодическими кривизнами в терминах групп движений этих кривых, получена информация о строении групп движений кривых в аффинных пространствах.

В качестве следствий выявлено строение кривых с постоянными кривизнами, найдены их параметризации и описаны классы поверхностей, на которых лежат указанные кривые.

Ключевые слова:

кривая, кривизны кривой, движение, группа движений, композиция кривых.

Abstract

In article connections between geometric properties of curves in affine Euclidean spaces and properties of their motion groups are established. The description of curves in the affine spaces with constant and periodic curvatures in terms of motion groups of these curves is received. Besides, the information on a structure of motion groups of curves in affine spaces is received.

As consequences the structure of curves with constants curvatures is revealed, are found their parametrization and classes of surfaces, on which there are these curves are described.

Key words:

curve, curvature of a curve, motion, motion group, composition of curves.

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]. Часто гладкие многообразия можно рассматривать как поверхности, вложенные в аффинное евклидово пространство. Непрерывная эволюция рассматриваемой системы, то есть множество ее реальных последовательных состояний, представляет собой траекторию точки на конфигурационном многообразии, то есть кривую в аффинном пространстве. 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

Евгений Алексеевич Рогозинников, аспирант; кафедра алгебры и дискретной математики Уральского государственного университета им. А. М. Горького, Екатеринбург, Россия. E-mail: locbox@bk.ru.

Engeniy A. Rogozinnikov, post-graduate; «Algebra and discrete mathematics» department of the Ural State University named after A. M. Gorky, Ekaterinburg. E-mail: locbox@bk.ru.

интерес для изучения, поскольку такие траектории соответствуют процессам естественного развития сетей, происходящих самостоятельно, без взрывных внешних воздействий, форс-мажорных обстоятельств и революционных преобразований — в условиях стабильной экономики. Важными частными случаями таких стабильных траекторий развития организационных структур являются кривые с постоянными и периодическими кривизнами, рассмотрению которых посвящена настоящая работа.

С математической точки зрения кривые в аффинных пространствах — это классический объект исследований [5–9]. Рассматривавшиеся ранее в математической литературе группы движений геометрических объектов являются важнейшими и классическими производными структурами, в терминах которых классифицируются геометрические объекты и исследуются их различные свойства [10].

В настоящей работе устанавливаются некоторые связи между геометрическими свойствами кривых в аффинных пространствах и свойствами групп движений этих кривых. Получена характеристика кривых в аффинных пространствах с постоянными и периодическими кривизнами в терминах их групп движений, получена информация о строении групп движений кривых. В качестве следствий выявлено строение кривых с постоянными кривизнами и найдены их параметризации.

Кривой назовем гладкое отображение $\alpha : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}^n$. Без ограничения общности полагаем, что $|\dot{\alpha}| \equiv \text{const}$, то есть абсолютную скорость всякой кривой считаем постоянной [11].

Движением кривой α со сдвигом t_0 назовем аффинное изометрическое преобразование A , для которого выполнено $A(\alpha(t)) = \alpha(t+t_0)$ для всех $t \in \mathbb{R}$. Заметим, что в работах [6–9] такое определение соответствует понятию «положительное движение». В данной

работе используется понятие «движение», поскольку никакие другие движения здесь рассматриваться не будут. Множество всех движений кривой назовем полной группой движений этой кривой, а любую ее подгруппу — группой движений кривой α .

Группу G движений кривой α назовем непрерывной, если для всех $t_0 \in \mathbb{R}$, существует элемент $A \in G$ такой, что $A(\alpha(t)) = \alpha(t+t_0)$ для всех $t \in \mathbb{R}$. Группу G движений кривой $\alpha(t)$ назовем дискретной с параметром T , где $T > 0$, если для любых двух точек $t_1, t_2 \in \mathbb{R}$ с условием $t_1 - t_2 = kT (k \in \mathbb{Z})$, и только для точек с таким условием, найдется элемент $A \in G$ такой, что

$$A(\alpha(t + t_1)) = \alpha(t + t_2) \text{ для всех } t \in \mathbb{R}.$$

Следующая теорема дает характеристизацию кривых с постоянными и периодическими кривизнами в терминах их групп движений.

Теорема 1. Кривая является кривой с постоянными кривизнами тогда и только тогда, когда она имеет непрерывную группу движений. Кривая является кривой с периодическими кривизнами с общим наименьшим положительным периодом T тогда и только тогда, когда ее полная группа движений является дискретной с параметром T .

Пусть задана кривая α , допускающая группу движений G . Для каждого $A \in G$ рассмотрим множество

$$T_A = \{t_0 \in \mathbb{R} \mid \forall t \in \mathbb{R} (A(\alpha(t)) = \alpha(t + t_0))\},$$

то есть множество всех сдвигов движения A . Рассмотрим объединение:

$$\mathbb{R}_G = \bigcup_{A \in G} T_A.$$

Нетрудно проверить, что множество \mathbb{R}_G является подгруппой в $\langle \mathbb{R}, + \rangle$, которую мы назовем группой сдвигов, соответствующей группе движений G кривой α .

Пусть $T = \inf \{x \in \mathbb{R}_G \mid x > 0\}$. Будем называть эту величину параметром

группы движений G кривой α . Следующая теорема показывает, что такое определение параметра согласуется с определением параметра для дискретной группы движений, которое было дано ранее, а также позволяет получить информацию о строении групп движений кривых.

Теорема 2. Пусть α — кривая, допускающая группу движений G . Если параметр этой группы $T = 0$, то кривая α допускает непрерывную группу движений, содержащую G в качестве подгруппы. Группа G является дискретной с параметром T тогда и только тогда, когда $T > 0$.

При этом задача описания строения непрерывных и дискретных групп движений решена в [7]. Поэтому теорема 2 дает исчерпывающее описание всех групп движений, которыми могут обладать кривые в аффинных пространствах.

Рассмотрение групп движений кривых позволяет усилить и обобщить известные результаты о строении и параметризациях кривых с постоянными кривизнами, изложенные в [5, § 33], без каких-либо дополнительных условий на размерность пространства \mathbb{R}^n и отдельного рассмотрения случаев четности или нечетности n .

Следующее естественное понятие композиции кривых, по-видимому, ранее не использовалось в литературе и является новым.

Пусть $\gamma_1 : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}^{n_1}, \dots, \gamma_k : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}^{n_k}$ — некоторые кривые. *Композицией* кривых $\gamma_1, \dots, \gamma_k$ называем кривую $\alpha : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}^n$, определенную по правилу

$$\alpha(t) = (\gamma_1(t), \dots, \gamma_k(t)),$$

где $n = n_1 + \dots + n_k$.

Следствие 1. Пусть $\alpha : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}^n$, $\beta : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}^m$ — кривые, кривизны которых имеют общий период T . Тогда кривизны кривой $(\alpha(t), \beta(t))$ также имеют период T . В частности, если α и β — кривые с постоянными кривизнами, то их композиция $(\alpha(t), \beta(t))$

также является кривой с постоянными кривизнами.

Пусть r_i, ω_i, v — положительные числа, $i \in \overline{1, k}$ для некоторого $k \in \mathbb{N}$, причем все числа ω_i попарно различны. $S(t) = (\cos t, \sin t)$ — натуральная параметризация единичной окружности. Известно [5], что любая кривая с постоянными кривизнами в некотором ортонормированном базисе имеет одну из следующих параметризаций:

$$\alpha(t) = (r_1 S(\omega_1 t), \dots, r_k S(\omega_k t), vt, 0, \dots, 0)$$

(цилиндрическая кривая), либо

$$\alpha(t) = (r_1 S(\omega_1 t), \dots, r_k S(\omega_k t), 0, \dots, 0)$$

(сферическая кривая).

Это означает, что справедливо:

Следствие 2. Кривые с постоянными кривизнами, и только они, являются композициями окружностей и прямых.

Таким образом, окружности и прямые являются «элементарными» кривыми с постоянными кривизнами, в композицию которых раскладываются любые другие кривые с постоянными кривизнами в пространствах более высоких размерностей.

Следствие 3. Всякая сферическая кривая с постоянными кривизнами лежит на обобщенном торе:

$$\Omega_{2k} = \left\{ (r_1 S(u_1), \dots, r_k S(u_k), 0, \dots, 0) \mid \left| \begin{array}{l} u_i \in [0, 2\pi], i \in \overline{1, k} \end{array} \right. \right\}.$$

Всякая цилиндрическая кривая с постоянными кривизнами лежит на обобщенном тороидальном цилиндре:

$$\Omega_{2k+1} = \left\{ (r_1 S(u_1), \dots, r_k S(u_k), u, 0, \dots, 0) \mid \left| \begin{array}{l} u \in \mathbb{R}, u_i \in [0, 2\pi], i \in \overline{1, k} \end{array} \right. \right\}.$$

Далее приведем доказательства всех сформулированных теорем.

Для доказательства теоремы 1 нам потребуется:

Лемма 1. Кривая α обладает движением A таким, что

$$A(\alpha(t+t_1)) = \alpha(t+t_2) \text{ для всех } t \in \mathbb{R}$$

и для некоторых двух точек $t_1, t_2 \in \mathbb{R}$ тогда и только тогда, когда матрица кривизн ω этой кривой обладает свойством $\omega(t+t_1) = \omega(t+t_2)$ для всех $t \in \mathbb{R}$.

Доказательство. 1. Докажем сначала лемму для кривых единичной скорости.

Необходимость. Движение $A(x)$ можно записать в следующей форме: $A(x) = \alpha(t_2) + U(x - \alpha(t_1))$, где U — ортогональный оператор. Рассмотрим следующую кривую: $\beta(t) = A(\alpha(t))$. Поскольку кривая β получается из кривой α изометрическим преобразованием, то в силу инвариантности кривизн относительно изометрического преобразования матрицы кривизн для этих кривых совпадают.

По условию для всех $t \in \mathbb{R}$ справедливо:

$$\alpha(t+t_2) = A(\alpha(t+t_1)) = \beta(t+t_1).$$

Следовательно, $\omega(t+t_2) = \omega(t+t_1)$.

Достаточность. Кривая α является решением системы уравнений Френе:

$$\dot{\varepsilon}(t+t_1) = \varepsilon(t+t_1)\omega(t+t_1);$$

$$\varepsilon(t+t_1)|_{t=0} = U_1;$$

$$\dot{\alpha}(t+t_1) = \bar{E}_1(t+t_1);$$

$$\alpha(t+t_1)|_{t=0} = \alpha_1,$$

где $\varepsilon(t) = (\bar{E}_1(t), \dots, \bar{E}_n(t))$ — строка из векторов репера Френе кривой α ,

$$\omega(t) = \begin{pmatrix} 0 & k_1(t) & \dots & 0 & 0 \\ -k_1(t) & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \ddots & \ddots & \vdots & \\ 0 & 0 & \dots & 0 & k_{n-1}(t) \\ 0 & 0 & \dots & -k_{n-1}(t) & 0 \end{pmatrix}$$

— матрица кривизн кривой α , U_1 — ортогональная матрица, столбцами

которой являются вектора репера Френе кривой α в точке t_1 .

Рассмотрим момент $t = t_2$. Обозначим через U_2 ортогональную матрицу, столбцами которой являются вектора репера Френе кривой α в точке t_2 , через α_2 обозначим точку $\alpha(t_2)$. Покажем, что преобразование $A(x) = \alpha_2 + U_2 U_1^{-1}(x - \alpha_1)$ является движением кривой α .

Рассмотрим кривую $\beta(t) = A(\alpha(t))$. Она также является кривой единичной скорости, т. к. A — изометрическое преобразование. Обозначим ее базис Френе через $\sigma(t) = (\bar{F}_1(t), \dots, \bar{F}_n(t))$.

Тогда

$$\beta(t_1) = \alpha_2 + U_2 U_1^{-1}(\alpha(t_1) - \alpha_1) = \alpha_2 = \alpha(t_2);$$

$$\beta^{(k)}(t_1) = U_2 U_1^{-1}(\alpha^{(k)}(t_1)), k \in \overline{1, n}.$$

Система $(\bar{F}_1(t_1), \dots, \bar{F}_n(t_1))$ получа-

ется из системы $(\beta(t_1), \dots, \beta^{(n)}(t_1))$ путем ортогонализации, и преобразование $U_2 U_1^{-1}$ — ортогональное, следовательно:

$$\bar{F}_k(t_1) = U_2 U_1^{-1}(\bar{E}_k(t_1)) = \bar{E}_k(t_2), k \in \overline{1, n}$$

или, что то же самое:

$$\sigma(t_1) = \varepsilon(t_2).$$

Поскольку кривая β получается из кривой α изометрическим преобразованием, то матрицы кривизн у них совпадают. Рассмотрим систему уравнений Френе для кривой β :

$$\dot{\sigma}(t+t_1) = \sigma(t+t_1)\omega(t+t_1);$$

$$\sigma(t+t_1)|_{t=0} = U_2;$$

$$\dot{\beta}(t+t_1) = \bar{F}_1(t+t_1);$$

$$\beta(t+t_1)|_{t=0} = \alpha_2$$

и аналогичную систему для кривой α :

$$\dot{\varepsilon}(t+t_2) = \varepsilon(t+t_2)\omega(t+t_2);$$

$$\varepsilon(t + t_2) |_{t=0} = U_2;$$

$$\dot{\alpha}(t + t_2) = \bar{E}_1(t + t_2);$$

$$\alpha(t + t_2) |_{t=0} = \alpha_2.$$

Рассмотрим новую кривую

$$\gamma(t) = \alpha(t + t_2 - t_1).$$

Тогда $\gamma(t + t_1) = \alpha(t + t_2)$. Система уравнений Френе для нее имеет следующий вид:

$$\dot{\theta}(t + t_1) = \theta(t + t_1)\omega(t + t_2);$$

$$\theta(t + t_1) |_{t=0} = U_2;$$

$$\dot{\gamma}(t + t_1) = \bar{G}_1(t + t_1);$$

$$\gamma(t + t_1) |_{t=0} = \alpha_2,$$

где $\theta(t) = (\bar{G}_1(t), \dots, \bar{G}_n(t))$ — строка из векторов базиса Френе кривой γ . Но по условию $\omega(t + t_2) = \omega(t + t_1)$, следовательно, эта система совпадет с системой для кривой β . Отсюда по теореме существования и единственности решения задачи Коши для системы дифференциальных уравнений их решения совпадают, то есть

$$\gamma(t + t_1) = \beta(t + t_1) = A(\alpha(t + t_1)),$$

но $\gamma(t + t_1) = \alpha(t + t_2)$,

следовательно, $\alpha(t + t_2) = A(\alpha(t + t_1))$.

2. Пусть теперь α — кривая постоянной абсолютной скорости с матрицей кривизн ω . Тогда соответствующая ей кривая единичной скорости имеет вид $\beta(t) = \alpha(t / |\dot{\alpha}|)$, при этом в силу инвариантности кривизн при замене параметра ее матрица кривизн равна $\omega(t / |\dot{\alpha}|)$. При этом

$$\alpha(t + x) = \alpha\left(\frac{|\dot{\alpha}|(t + x)}{|\dot{\alpha}|}\right) = \beta(|\dot{\alpha}|(t + x)).$$

Необходимость. Пусть кривая α обладает движением A со сдвигом t_0 .

Тогда $A(\beta(|\dot{\alpha}|t)) = \beta(|\dot{\alpha}|(t + t_0))$ для всех $t \in \mathbb{R}$ или, что то же самое, $A(\beta(t)) = \beta(t + |\dot{\alpha}|t_0)$, так как $|\dot{\alpha}| \neq 0$. Тогда (из первой части доказательства) для всех $t \in \mathbb{R}$ имеем

$$\omega\left(\frac{t}{|\dot{\alpha}|}\right) = \omega\left(\frac{t + |\dot{\alpha}|t_0}{|\dot{\alpha}|}\right);$$

$$\omega\left(\frac{t}{|\dot{\alpha}|}\right) = \omega\left(\frac{t}{|\dot{\alpha}|} + t_0\right);$$

$$\omega(t) = \omega(t + t_0).$$

Достаточность. Пусть $\omega(t) = \omega(t + t_0)$ для всех $t \in \mathbb{R}$, тогда

$$\omega\left(\frac{t}{|\dot{\alpha}|}\right) = \omega\left(\frac{t + |\dot{\alpha}|t_0}{|\dot{\alpha}|}\right) \text{ для всех } t \in \mathbb{R}.$$

Но $\omega(t / |\dot{\alpha}|)$ — матрица кривизн кривой β , следовательно (по первой части доказательства), кривая β допускает движение A со сдвигом $|\dot{\alpha}|t_0$. Так как $|\dot{\alpha}| \neq 0$, для всех $t \in \mathbb{R}$ имеем

$$A(\beta(|\dot{\alpha}|t)) = \beta(|\dot{\alpha}|(t + t_0))$$

или, что то же самое:

$$A(\alpha(t)) = \alpha(t + t_0).$$

Лемма доказана.

Доказательство теоремы 1. Докажем первое утверждение теоремы. Необходимость. Поскольку матрица кривизн кривой α постоянная, то $\omega(t) = \omega(t + t_0)$ для всех $t_0 \in \mathbb{R}$, следовательно, по лемме 1, для всех $t_0 \in \mathbb{R}$ существует движение A_{t_0} такое, что $\alpha(t + t_0) = A_{t_0}(\alpha(t))$. Создадим всеми такими преобразованиями группу. Очевидно, она будет являться непрерывной группой движений кривой α .

Достаточность. Пусть для всех $t_0 \in \mathbb{R}$ существует движение A_{t_0} , что $A_{t_0}(\alpha(t)) = \alpha(t + t_0)$. Тогда по лемме 1 имеем $\omega(t) = \omega(t + t_0)$, то есть кривизны кривой — постоянные.

Докажем второе утверждение теоремы. Необходимость. Поскольку матрица кривизн кривой α периодическая

с периодом T , то $\omega(t + t_1) = \omega(t + t_2)$ для любых $t_1, t_2 \in \mathbb{R}$ таких, что $t_1 - t_2 = kT (k \in \mathbb{Z})$. По лемме 1 получаем, что для любых $t_1, t_2 \in \mathbb{R}$ таких, что $t_1 - t_2 = kT (k \in \mathbb{Z})$ существует движение A такое, что $A(\alpha(t + t_1)) = \alpha(t + t_2)$. Создадим всеми такими преобразованиями группу. Очевидно, она будет являться дискретной группой движений кривой α с параметром T .

Покажем, что полная группа движений G этой кривой является также дискретной с параметром T .

Предположим противное, пусть существует $A \in G$ такое, что $A(\alpha(t)) = \alpha(t + u)$, причем $u = kT + r$, где $k \in \mathbb{Z}$, $0 < r < T$. Существует преобразование $B \in G$ такое, что $B(\alpha(t)) = \alpha(t - kT)$. Тогда

$$\alpha(t + r) = \alpha(t + u - kT) = AB(\alpha(t)),$$

то есть AB — движение кривой α . Следовательно, по лемме 1 имеем $\omega(t + r) = \omega(t)$. Но $0 < r < T$, и T — наименьший положительный период матрицы ω . Получено противоречие.

Достаточность. Рассмотрим движение A кривой α со сдвигом T . Тогда, по лемме 1, имеем $\omega(t) = \omega(t + T)$, то есть матрица ω периодическая с периодом T .

Покажем, что T — наименьший положительный период матрицы кривизн. От противного, пусть $0 < u < T$ и $\omega(t) = \omega(t + u)$. Тогда, по лемме 1, существует движение A такое, что $A(\alpha(t)) = \alpha(t + u)$. Но это невозможно, поскольку полная группа движений кривой α дискретна с параметром T и $0 < u < T$.

Теорема 1 доказана.

Доказательство теоремы 2. Пусть сначала $T = 0$. Покажем, что кривая допускает непрерывную группу движений. Зафиксируем $\varepsilon > 0$ и $t_0 \in \mathbb{R}$. По определению точной нижней грани существует такое $x_\varepsilon \in \mathbb{R}_G$, что $0 < |x_\varepsilon| < \varepsilon$. Введем следующие обозначения:

$$N_\varepsilon := \left[\frac{t_0}{x_\varepsilon} \right], y_\varepsilon := N_\varepsilon x_\varepsilon.$$

Тогда

$$\frac{t_0}{x_\varepsilon} = N_\varepsilon + \delta, \text{ где } 0 \leq \delta < 1.$$

Следовательно, $|t_0 - y_\varepsilon| = |\delta x_\varepsilon| < \varepsilon$. Элемент $y_\varepsilon = N_\varepsilon x_\varepsilon \in \mathbb{R}_G$, следовательно, по лемме 1, имеем $\omega(t + y_\varepsilon) = \omega(t)$, где ω — матрица кривизн. Рассмотрим последовательность $\varepsilon_n = 1/n$ и соответствующую ей последовательность $\{y_n\}$.

$$\lim_{n \rightarrow \infty} |t_0 - y_n| = 0,$$

следовательно, $\lim_{n \rightarrow \infty} y_n = t_0$, а в силу непрерывности матрицы кривизн

$$\omega(t) = \lim_{n \rightarrow \infty} \omega(t + y_n) = \omega(t + t_0).$$

Таким образом, для всех $t_0 \in \mathbb{R}$ справедливо $\omega(t) = \omega(t + t_0)$, то есть кривизны кривой $\alpha(t)$ — постоянные, а следовательно, по теореме 1, эта кривая допускает непрерывную группу движений. Заметим, что сама группа G здесь не обязана быть непрерывной.

Если G — непрерывная, то $\mathbb{R}_G = \mathbb{R}$, и следовательно, $T = 0$.

Пусть теперь $T > 0$. Покажем, что для любых $t_1, t_2 \in \mathbb{R}$ таких, что $t_2 - t_1 = kT (k \in \mathbb{Z})$, существует $A \in G$, что

$$A(\alpha(t + t_1)) = \alpha(t + t_2).$$

Покажем, что в данном случае

$$T \in \{x \in \mathbb{R}_G \mid x > 0\}.$$

Действительно, иначе $T \notin \mathbb{R}_G$, но существует строго монотонно убывающая последовательность $\{x_n\} \subseteq X$, сходящаяся к T . Следовательно, для любого $\varepsilon > 0$ существует $N \in \mathbb{N}$ такое, что для всех $n > N$ справедливо

$$0 < x_n - x_{n-1} < \varepsilon.$$

Но $x_n - x_{n-1} \in \mathbb{R}_G$,

следовательно, $\inf\{x \in \mathbb{R}_G \mid x > 0\} = 0$, что противоречит условию.

Таким образом, по определению \mathbb{R}_G существует такое движение I , что $I(\alpha(t)) = \alpha(t + T)$. Но тогда в качестве A можно взять I^k . Действительно:

$$I^k(\alpha(t + t_1)) = \alpha(t + t_1 + kT) = \alpha(t + t_2).$$

Покажем теперь, что G дискретна с параметром T . От противного, пусть существует $A \in G$ такое, что $A(\alpha(t)) = \alpha(t + u)$. Причем $u = kT + r$, где $k \in \mathbb{Z}, 0 < r < T$. Так как \mathbb{R}_G — группа $u - kT = r \in \mathbb{R}_G$. Но $0 < r < T$, получено противоречие с определением точной нижней грани множества $\{x \in \mathbb{R}_G \mid x > 0\}$. Следовательно, группа G дискретна с параметром T .

В случае, если G дискретна с параметром T , получаем $\mathbb{R}_G = \{kT \mid k \in \mathbb{Z}\}$, поэтому $\inf\{x \in \mathbb{R}_G \mid x > 0\} = T$.

Теорема доказана.

Доказательство следствия 1. Рассмотрим кривую $\gamma(t) = (\alpha(t), \beta(t))$. Она является кривой постоянной абсолютной скорости. Действительно:

$$|\dot{\gamma}(t)| = |(\dot{\alpha}(t), \dot{\beta}(t))| = \sqrt{|\dot{\alpha}(t)|^2 + |\dot{\beta}(t)|^2}.$$

Так как $|\dot{\alpha}(t)|$ и $|\dot{\beta}(t)|$ — постоянные, $|\dot{\gamma}(t)|$ также является постоянной величиной.

Существуют, по лемме 1: движение A кривой α со сдвигом T и движение B кривой β со сдвигом T , причем

$$A(x) = \alpha(T) + U(x - \alpha(0)),$$

$$B(y) = \beta(T) + V(y - \beta(0)),$$

где U, V — ортогональные операторы в \mathbb{R}^n и \mathbb{R}^m соответственно. Рассмотрим следующее преобразование в \mathbb{R}^{n+m} :

$$C(z) = \gamma(T) + \begin{pmatrix} U & 0 \\ 0 & V \end{pmatrix} (z - \gamma(0)).$$

Проверим, что это преобразование является движением для кривой γ . Во-первых, проверим изометричность преобразования. Возьмем

$$z = \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \text{ и } z' = \begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix}.$$

$$\begin{aligned} |C(z) - C(z')| &= \left| \begin{pmatrix} U & 0 \\ 0 & V \end{pmatrix} (z - z') \right| = \\ &= \left| \begin{pmatrix} U & 0 \\ 0 & V \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x - x' \\ y - y' \end{pmatrix} \right| = \left| \begin{pmatrix} U(x - x') \\ V(y - y') \end{pmatrix} \right| = \\ &= \sqrt{|U(x - x')|^2 + |V(y - y')|^2} = \\ &= \sqrt{|x - x'|^2 + |y - y'|^2} = |z - z'|. \end{aligned}$$

Во-вторых, проверим инвариантность кривой γ относительно этого движения:

$$\begin{aligned} C(\gamma(t + t_1)) &= \\ &= \gamma(t_2) + \begin{pmatrix} U & 0 \\ 0 & V \end{pmatrix} (\gamma(t + t_1) - \gamma(t_1)) = \\ &= \begin{pmatrix} \alpha(t_2) \\ \beta(t_2) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} U & 0 \\ 0 & V \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \alpha(t + t_1) - \alpha(t_1) \\ \beta(t + t_1) - \beta(t_1) \end{pmatrix} = \\ &= \begin{pmatrix} \alpha(t_2) + U(\alpha(t + t_1) - \alpha(t_1)) \\ \beta(t_2) + V(\beta(t + t_1) - \beta(t_1)) \end{pmatrix} = \\ &= \begin{pmatrix} A(\alpha(t + t_1)) \\ B(\beta(t + t_1)) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha(t + t_2) \\ \beta(t + t_2) \end{pmatrix} = \gamma(t + t_2). \end{aligned}$$

Таким образом, выполнены все условия леммы 1 для кривой γ .

Следствие доказано. \blacksquare

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. шк., 1980. — 295 с.
3. Сизый С. В. Траектории развития организационных сетей. Принцип наименьшего действия // ВИНИТИ РАН: Транспорт, наука, техника, управление. — 2010. — № 5. — С. 19–34.

4. Сай В. М., Сизый С. В. Организационные структуры как мультиоператорные сети. Задачи прочности и устойчивости // Транспорт Урала. — 2009. — № 2 (21). — С. 5–9.
5. Аминов Ю. А. Дифференциальная геометрия и топология кривых. — М.: Наука, 1987. — 160 с.
6. Rogozinnikov E. A. Геометрия обобщенных многообразий. Кривые на обобщенных многообразиях, их группы движений и подобий / Уральский гос. ун-т. Деп. в ВИНТИ 05.10.2010, № 570-V2010. — 39 с.
7. Rogozinnikov E. A. Группы преобразований отображений и определяемость кривых группами преобразований / Уральский гос. ун-т. Деп. в ВИНТИ 18.02.2011, № 74-V2011. 26 с.
8. Rogozinnikov E. A. О связи геометрических свойств кривых со свойствами их групп движений // Труды Ин-та математики и механики УрО РАН. — 2010. — № 3. — С. 227–233.
9. Сизый С. В., Rogozinnikov E. A. О группах движений кривых на многообразиях // Вестник УрГУПС. — 2010. — № 2 (6). — С. 47–56.
10. Розов Н. Х. Феликс Клейн и его эрлангенская программа // Матем. просвещение, МЦНМО. — 1999. — № 3. — С. 49–55.
11. Сизый С. В. Лекции по дифференциальной геометрии. — М.: Наука, 2007. — 376 с.

References:

1. Dubrovin B. A., Novikov S. P., Fomenko A. T. Sovremennaya geometriya: metody i prilozheniya. [Modern geometry: methods and applications]. — М.: Nauka, 1979. — 760 s.
2. Borisovich Yu. G., Bliznyakov N. M., Izrailevich Ya. I., Fomenko T. N. Vvedenie v topologiyu. [Introduction into topology] — М.: Vyssh. shk., 1980. — 295 s.
3. Sizy S. V. Traektorii razvitiya organizatsionnykh setej. Printsip naimenshego dejstviya [Development path of organizational networks]//VINITI RAN: Transport, nauka, tekhnika, upravlenie. — 2010. — № 5. — S. 19–34. ISSN 2079–0392.
4. Say V. M., Sizy S. V. Organizatsionnye struktury kak multioperatornye seti. Zadachi prochnosti i ustojchivosti [Organizational structures as multi-operational networks. Problems of stability and strength]//Transport Urala. — 2009. — № 221. — S. 5–9. ISSN 1815–9400.
5. Aminov Yu. A. Differentsialnaya geometriya i topologiya krivykh. — М. Nauka 1987. — 160 s.
6. Rogozinnikov E. A. Geometriya obobshennykh mnogoobrazij. krivye na obobshennykh mnogoobraziyah ih gruppy dvizhenij i podobij Uralskij gos. un-t. Dep. v VINITI 05.10.2010 № 570-V2010. — 39 s.
7. Rogozinnikov E. A. Gruppy preobrazovanij otobrazhenij i opredelyaemost krivykh gruppami preobrazovanij Uralskij gos. un-t. Dep. v VINITI 18.02.2011 № 74-V2011. — 26 s.
8. Rogozinnikov E. A. O svyazi geometricheskikh svojstv krivykh so svojstvami ih grupp dvizhenij // Trudy In-ta matematiki i mehaniki uro ran. — 2010. — № 3. — S. 227–233.
9. Sizy S. V., Rogozinnikov E. A. O gruppah dvizhenij krivykh na mnogoobraziyah // Vestnik UrGUPS. — 2010. — № 26. — S. 47–56.
10. Rozov N. H. Feliks Klejn i ego erlangenskaya programma // Matem. prosvecshenie, MTSNMO. — 1999. — Т. 3. — S. 49–55.
11. Sizy S. V. Leksii po differentsialnoj geometrii. — М: Nauka, 2007. — 376 s. ISSN 2079-0392.

Статья сдана в редакцию 24 апреля 2011 года.

УДК 621.331:621.311.019. (06)

М. К. Дуплякин

Об отказах путевых машин при ремонтах железнодорожного пути

UDC 621.331:621.311.019. (06)

M. K. Duplyakin

About track machines failures when repairing the railway track

Аннотация

Рассматривается современное состояние реформирования путевого хозяйства ОАО «РЖД», связанное с эксплуатацией и ремонтом путевых машин и специального подвижного состава. Для повышения качества выполнения ремонтов железнодорожного пути предлагается минимизировать количество отказов путевых машин с помощью имитационной математической модели. В качестве математического аппарата для разработки модели используется теория надежности и теория вероятностей. Данная модель включает в себя расчетную схему путевой машины, состоящую из основных узлов. Проведен анализ отказов путевой техники, их классификация по методу АВПО, а также возможность развития отказов и их влияние на технологический процесс.

Ключевые слова:

отказ, имитационное моделирование, прогнозирование, вероятность отказа, надежность.

Abstract

The article considers the modern state of reforming of 'Russian Railways' JSC track facilities, connected with exploitation and repairing of track machines and special rolling stock. To improve the quality of railway track repairing works it is offered to minimize the quantity of track machines' failures with the help of simulation mathematical model. As a mathematical apparatus for model development the reliability theory and probability theory are used. This model includes the calculation scheme of a track machine, consisting of reference nodes. The following activities were carried out: analysis of track equipment failures, their classification by failure analysis and the probability of failures development and their influence on the technological process.

Key words:

failure, simulation modeling, forecasting, probability of failure, reliability.

Реформа ОАО «РЖД» выходит на завершающий этап — идет формирование дирекций как хозяйствующих субъектов, между которыми складываются договорные отношения, и дирекций как функциональных подразделений ОАО «РЖД». Таким образом, выстраивается плоская сетевая организационная структура, которая по своей сути является холдинговой [1–3]. Функционирование же холдинговой компании возможно только при наличии холдинговых отношений — договорные или имущественные отношения между участниками. Тогда каждый хозяйствующий субъект, каждая дирекция обязаны и заинтересованы в строгом исполнении своих обязанностей, так как при их несоблюдении последуют штрафные санкции [4].

В процессе реформирования путевого хозяйства ОАО «РЖД» особое внимание уделяет сегменту путевого комплекса, связанному с эксплуатацией и ремонтом путевых машин и специального подвижного состава. Комплекс путевых машин является важным звеном путевого хозяйства и неотъемлемым элементом поддержания инфраструктуры железнодорожных перевозок в исправном состоянии,

Максим Константинович Дуплякин, магистрант; кафедра «Путь и железнодорожное строительство» Уральского государственного университета путей сообщения, Екатеринбург, Россия. E-mail: MKDuplyakin@gmail.com.

Maksim K. Duplyakin, undergraduate; «Track and railway construction» department of the Ural State University of Railway Transport, Ekaterinburg, Russia. E-mail: MKDuplyakin@gmail.com.

обеспечивающем должный уровень безопасности движения.

Отказы путевой техники во время выполнения работ в «окно» является одной из причин, приводящих к некачественному выполнению ремонтов железнодорожного пути. Дирекция по ремонту и эксплуатации путевых машин принимает комплекс мер, направленных на снижение отказов путевых машин.

Для снижения числа отказов и повышения надежности технологического процесса должна быть создана прогнозная модель отказов путевой техники. Это позволит уже заранее получить индикативный расчет для составленного технологического процесса и количественно оценить его надежность.

По данным Дирекции по ремонту и эксплуатации путевых машин на Южно-Уральской железной дороге, 16% всех случаев отказов путевых машин произошло до начала производства работ в «окно», 81% во время «окна», и 3% после завершения работ.

На рис. 1 показаны отказы основных машин, выявленные до начала производства работ.

Отказы до начала производства работ возникают при проведении ежесменного технического обслуживания (ЕТО), транспортировании техники к месту работ и, как правило, устраняются на месте обслуживающим персоналом машины.

На рис. 2 представлены данные по отказам путевой техники во время производства работ в «окно». Одной из причин отказов является превышение нормативного времени непрерывной работы путевой машины. Сейчас при определении продолжительности «окон» не учитываются ограничения по непрерывной эксплуатации работы машины, что приводит к интенсивному износу и снижению надежности узлов и блоков техники. Так, например, при выполнении ремонтно-строительных работ на участке станции Гоголино–Бреды,

при продолжительности «окна» одни сутки с закрытием перегона, путевая машина СЧ-601-01 непрерывно работала 14 часов, при нормативном времени работы 6 часов. Поэтому при проектировании больших «окон» необходимо строгое соблюдение нормативного времени непрерывной работы путевых машин.

Также в период производства работ в «окно» имеет сильное влияние человеческий фактор и условия окружающей среды. Зачастую из-за снижения внимания машиниста происходит перегрузка гидравлической системы, что приводит к ее отказу. Нередко и погодные условия вызывают отказы. Например, при очистке загрязненного балласта в дождливую погоду, налипание мелкодисперсных частиц в виде коллоидной суспензии на рабочие органы приводит к их отказу из-за повышенной механической нагрузки.

Мелкие неисправности, возникшие во время «окна» и не устраненные вовремя, могут прогрессивно переходить в состояние отказа. Так, например, несвоевременное устранение утечки масла в гидравлической системе может повлечь за собой отказ вследствие снижения давления во всей системе.

Данные по отказам машин после производства работ представлены на рис. 3. В этот период отказы возникают крайне редко, в основном при транспортировании техники на базу.

Обнаружение и предотвращение неисправностей, способствующих возникновению отказов, происходит при выполнении ЕТО, проводимого перед выездом машины к месту работ. Выявление отказов происходит также непосредственно и при транспортировании путевой машины к месту проведения работ. К сожалению, существующая система эксплуатации путевых машин не позволяет прогнозировать и, соответственно, предупреждать отказы машин в «окна» посредством разработки превентивных мероприятий. Поэтому математиче-

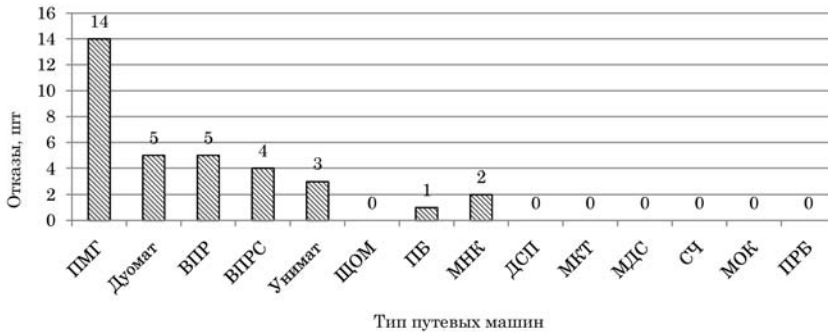


Рис. 1. Статистика отказов путевых машин до начала «окна»

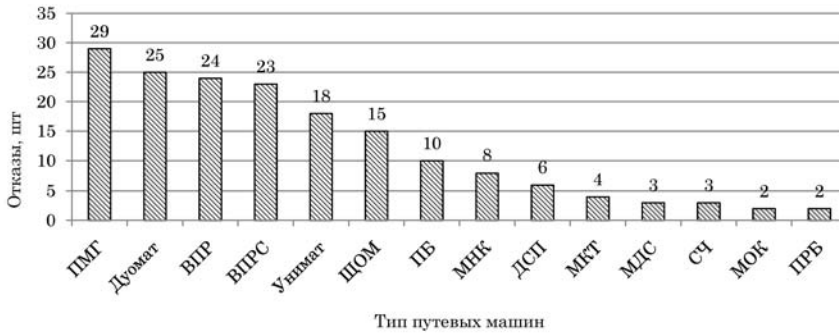


Рис. 2. Статистика отказов во время «окна»

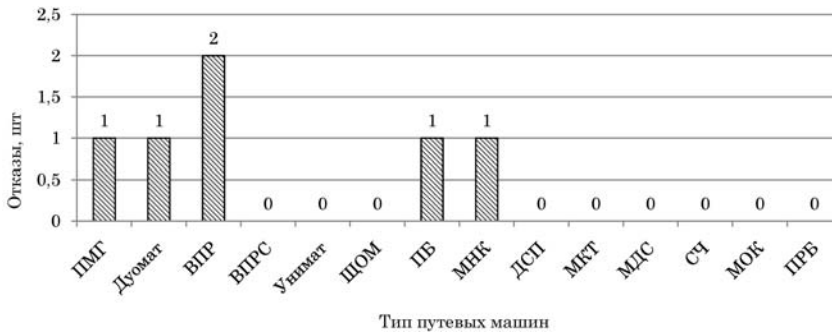


Рис. 3. Статистика отказов после «окна»

ское моделирование отказов машин позволит получать такие прогнозы и станет частью системы планирования работ по эксплуатации путевых машин.

Построение математической модели основывается на теории надежности и марковских процессах. Опираясь на теорию надежности системы, все отказы считаются невозстанавливаемыми с независимыми элемента-

ми [7]. Для разработки математической модели отказов составлена расчетная схема, предусматривающая, что любая машина представлена в виде системы, состоящей из семи независимых и последовательно соединенных между собой основных узлов системы, характерных для всех типов путевых машин. На рис. 4 показан пример такой расчетной схемы для машины Duomatic.

На рис. 5 приведена схема основных узлов путевого машины.

По частоте появления отказы объединены в три группы: высокая, средняя и малая частота отказов узла.

К первой группе относятся рабочие органы и гидравлическая система. Ко второй — трансмиссия, КИС

и электрическая система. К третьей группе относятся наиболее редко возникающие отказы, наблюдаемые в узлах экипажной части и тормозной системы.

Классификация отказов по группам на примере машины Duomatic показана на рис. 6

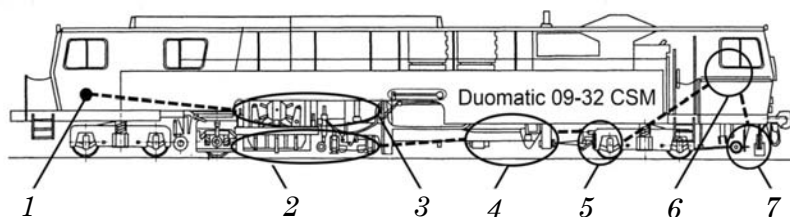


Рис. 4. Расчетная схема путевого машины:

1 — электрическая система; 2 — рабочие органы; 3 — гидравлическая система
4 — трансмиссия; 5 — тормозная система; 6 — экипажная система; 7 — КИС

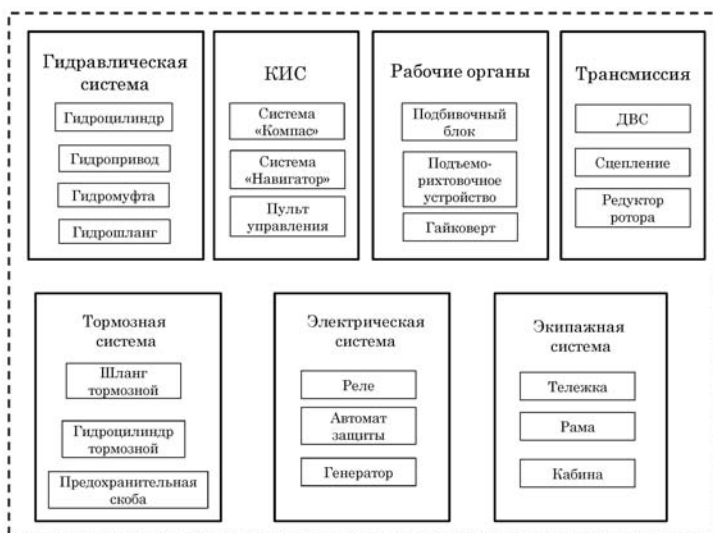


Рис. 5. Схема основных узлов путевого машины



Рис. 6. Статистика отказов по виду узлов для машины Duomatic

Для построения математической модели прогнозирования отказов путевых машин по статистическим данным для каждого узла определяется закон распределения интенсивности отказов $\lambda(t)$. Учитывая, что отказы — это случайные события, возникающие в период эксплуатации и характеризующиеся внезапным появлением, воспользуемся экспоненциальным законом распределения [9].

Количественной мерой возможности возникновения отказа как случайного события является вероятность. Отказы узлов — события независимые, исходя из того что появление одного события не изменяет вероятность появления другого [6, 8]. Тогда надежность машины равна произведению вероятностей безотказной работы всех основных узлов системы:

$$P_i = P_{\text{раб.орг}} \cdot P_{\text{гидр}} \cdot P_{\text{трансм}} \times P_{\text{КИС}} \cdot P_{\text{электр}} \cdot P_{\text{экип}} \cdot P_{\text{торм}}, \quad (1)$$

где $P_{\text{раб.орг}}$ — надежность системы рабочих органов; $P_{\text{гидр}}$ — надежность гидравлической системы; $P_{\text{трансм}}$ — надежность системы трансмиссии; $P_{\text{КИС}}$ — надежность системы КИС; $P_{\text{электр}}$ — надежность электрической системы; $P_{\text{экип}}$ — надежность экипажной системы; $P_{\text{торм}}$ — надежность тормозной системы.

В технологическом процессе ремонта железнодорожного пути используется целый комплекс путевых машин, каждая из которых характеризуется своей надежностью P_i . Тогда вероятность того, что во время проведения ремонта произойдет отказ одной из машин:

$$P_{\text{пм}} = \prod_{i=1}^n P_i, \quad (2)$$

где n — количество путевых машин, участвующих в технологическом процессе.

Необходимо отметить, что не каждый отказ узла может привести к разрушению технологического процесса, или в худшем случае — к задержке «окна». Например, при выходе из строя автоматической системы выправки пути квалифицированный машинист может выполнить работу максимально качественно и с минимальными временными потерями в ручном режиме. Поэтому для установления взаимного влияния отказа на ход технологического процесса применим один из формализованных методов идентификации опасных отказов — анализ видов и последствий отказов (АВПО) [5].

Использование метода АВПО позволяет выявить основные причины возникновения отказов, вероятность возникновения отказа, степень влияния факторов на возникновения отказов, а также выявить основные узлы, в которых наиболее часто происходят отказы. В соответствии с этим методом, систематически, на основе последовательного рассмотрения всех элементов системы, анализируются все возможные факторы, создающие условия для возникновения различных видов отказов. Этот метод позволяет выделить основную группу видов отказов, причины и период возникновения, основные элементы системы, в которых произошел отказ [5].

В табл. 1 приведены примеры причин отказов основных узлов путевой машины Duomatic и возможные последствия их действия.

Для моделирования влияния отказов путевых машин на технологический процесс разработана схема их развития (рис. 7).

Таблица 1

Причины отказов основных узлов путевых машин
и возможные последствия их действия

Элемент	Причина отказа	Возможное последствие	Вероятность возникновения отказа, Q
Трансмиссия	Неисправность двигателя, нет запуска	Отмена «окна»	0,264
КИС, КЛУБ	Неисправна система «КОМПАС»	Невыполнение контрольных измерений пути	0,448
Электрическая система	Отказ генератора ГА-1	Нехватка электроэнергии	0,207
Экипажная часть	Замкнул датчик срыва ПРУ справа, разбило 4 стекла на смотровых блоках	Невозможность выполнения работ по технике безопасности	0,100
Гидравлическая система	Выход из строя автомата разгрузки	Отказ гидравлики	0,075
Гидравлическая система	Течь масла по цилиндру сжима правого ПБ	Нестабильная работа правого ПБ	0,325
Электрическая система	Отказал датчик аварийного перегрева дизеля	Перегрев дизеля	0,344
Гидравлическая система	Открылся поршень цилиндра сжима внутренних подбоек	Излом штока гидроцилиндра	0,050
Трансмиссия	Неисправность муфты ДВС, вибрация двигателя	Вероятность отказа двигателя	0,029
Гидравлическая система	Излом головки по шву цилиндра подъема левого ПБ	Отмена «окна»	0,122

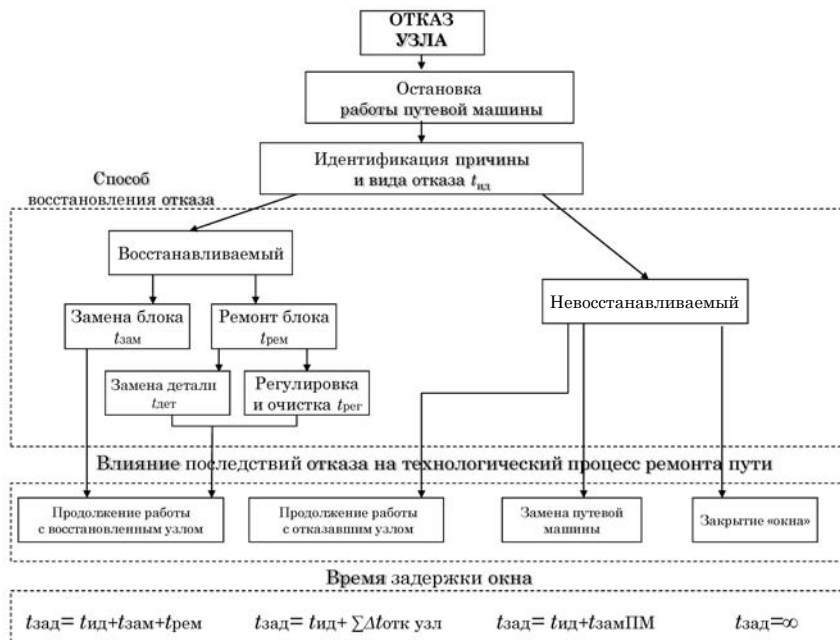


Рис. 7. Схема развития отказа и его влияния на технологический процесс

Итак, использование прогнозных математических моделей надежности путей машин при производстве работ в «окно» уже на стадии разработки технологических процессов ремонтов железнодорожного пути позволяют прогнозировать выработку в «окно» и вероятную его продол-

жительность. Это позволяет, с одной стороны, обоснованно планировать объемы работ, а с другой — разрабатывать варианты графика движения поездов, направленных на сокращение потребности в «окнах», то есть минимизировать задержки поездов. ■

Литература

1. Сай В. М. Планетарная структура: корпоративные варианты // Мир транспорта. — 2003. — № 1. — С. 96–102. ISSN 1992–3252.
2. Сай В. М. Планетарные структуры управления на железнодорожном транспорте // Транспорт: наука, техника, управление. — 2002. — № 4. — С. 13–14. ISSN 0236–1914.
3. Сай В. М., Фомин В. К. Моделирование системы взаимоотношений железной дороги с хозяйствующими субъектами // Транспорт Урала. — 200. — № 4. — С. 15–19. ISSN 1815–9400.
4. Программа реализации реформы сегмента путевого комплекса, связанного с эксплуатацией и ремонтом путей машин и специального подвижного состава: № 2589. Введ. с 6 февраля 2010. — М.: ОАО «РЖД», 2010. — 33 с.
5. Лисенков В. М. Статистическая теория безопасности движения поездов: учеб. для вузов. — М.: ВИНТИ РАН, 1999. — 332 с.
6. Самарский А. А., Михайлов А. П. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры. — 2-е изд., испр. — М.: Физматлит, 2001. — 320 с.
7. Вентцель Е. С. Теория вероятностей: учеб. для студ. вузов. — 10-е изд., стер. — М.: Издательский центр «Академия», 2005. — 576 с.
8. Вентцель Е. С. Исследование операций. — М.: «Советское радио», 1972. — 552 с.
9. Решетов Д. Н. Надежность машин: учеб. пособие для машиностр. спец. вузов / Д. Н. Решетов, А. С. Иванов, В. З. Фадеев; под ред. Д. Н. Решетова. — М.: Высш. шк., 1988. — 238 с.: ил. ISBN 5–06–001200–X.

References

1. Say V. M. Planetarnaya struktura: korporativnye varianty [Planetary structure: corporate variants] / V. M. Say // Mir transporta. — 2003. — № 1. — S. 96–102. ISSN 1992–3252.
2. Say V. M. Planetarnye struktury upravleniya na zheleznodorozhnom transporte [Management planetary structure on railway transport] / V. M. Say // Transport: nauka, tehnika, upravlenie. — 2002. — № 4. — S. 13–14. ISSN 0236–1914.
3. Say V. M., Fomin V. K. Modelirovanie sistemy vzaimootnoshenij zheleznoj dorogi s hozyajstvuyushchimi subjektami [Modeling of interaction system of railways and entities] / V. M. Say, V. K. Fomin // Transport Urala. — 2008. — № 4. — S. 15–19. ISSN 1815–9400.
4. Programma realizatsii reformy segmenta putevogo kompleksa svyazannogo s ekspluatatsiej i remontom putevykh mashin i specialnogo podvizhnogo sostava: № 2589. [Realization program of the reform of track complex segment, devoted with exploitation and repairing of track machines and special rolling stock: № 2589] — Vved. s 6 Fevralya 2010. — M.: ОАО «RZhD», 2010. — 33 s.
5. Lisenkov V. M. Statisticheskaya teoriya bezopasnosti dvizheniya poezdov [Statistic theory of trains' traffic safety]: ucheb. dlya vuzov. — M.: VINITI RAN, 1999. — 332 s.
6. Samarskij A. A., Mikhajlov A. P. Matematicheskoe modelirovanie: Idei. Metody. Primery. [Mathematic modeling: Ideas. Methods. Examples.] — 2-e izd. ispr. — M.: Fizmatlit, 2001. — 320 s.
7. Ventsel E. S. Teoriya veroyatnostej [Probability theory]: ucheb. dlya stud. vuzov. — 10e izd. ster. — M.: Izdatelskij Tsentr «Akademiya», 2005. — 576 s.
8. Ventsel E. S. Issledovanie operatsij. [Operations research]. — M.: «Sovetskoe Radio», 1972. — 552 s.
9. Reshetov D. N. Nadezhnost mashin [Machines reliability]: ucheb. posobie dlya mashinost. spets. vuzov / D. N. Reshetov, A. S. Ivanov, V. Z. Fadeev; pod red. D. N. Reshetova. — M.: Vyssh. shk., 1988. — 238 s.: il. ISBN 5–06–001200–x.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СОБСТВЕННОСТЬ

Патент № 2393488

Патентообладатель: Уральский государственный университет путей сообщения

Авторы: **Добычин И. В., Павелонец А. А., Строголев Д. С., Таурер В. М.**

Устройство разгонное для создания нормированных ускорений при проверке и тарировке акселерометров

Accelerating device for normalized speeding-up when testing and gauging accelerometers

Изобретение относится к области измерений ускорения или импульсов ускорений при наличии направления движения и может быть использовано для проверки и тарировки акселерометров.

Цель изобретения — повышение срока службы устройства, исключение волновых процессов и получение необходимого закона изменения ускорения.

Практическая актуальность

Преимущество данного устройства перед аналогами заключается в том, что разгонный механизм состоит из вертикально установленного на раме посредством подшипниковых опор приводного вала, на котором жестко закреплена базовая втулка, толкатель, установленный с возможностью продольного перемещения, корпус которого снабжен направляющими с выполненными в них криволинейными пазами, конфигурация которых рассчитана по требуемому закону изменения ускорения. Помимо этого, на корпусе толкателя на подшипниковых опорах

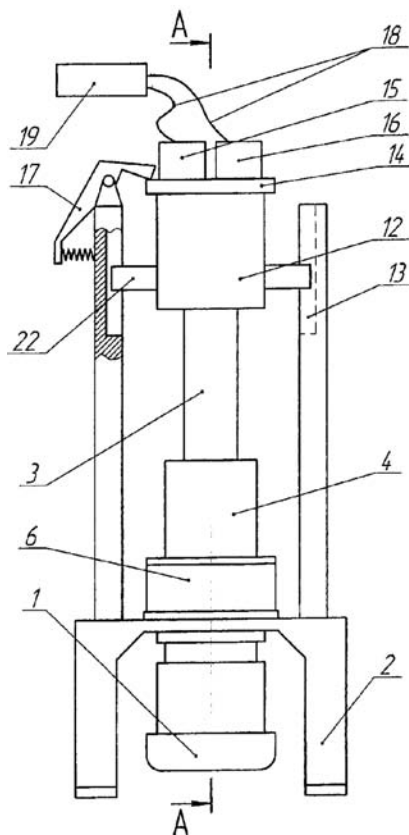


Рис. 1. Схема устройства для проверки и тарировки акселерометров

смонтирована переходная втулка, к внешней боковой поверхности которой диаметрально друг другу прикреплены ползуны, перемещающиеся в вертикально зафиксированных на раме прямолинейных направляющих. К верхнему торцу переходной втулки прикреплена плита для установки поверяемого и контрольного акселерометров, с которой взаимодействует прикрепленный к одной из прямолинейных направляющих спусковой механизм, а поверяемый и контрольный акселерометры линиями связи соединены с регистрирующим устройством.

Ожидаемый результат

Таким образом, при создании ускорений для поверки и тарировки акселерометров в предлагаемом устройстве используют не ударный, а разгонный механизм, что уменьшает ударное воздействие на устройство, повышая тем самым его срок службы. Исключение образования волнового процесса от удара увеличивает точность измерений, а зависимость между конфигурацией криволинейных пазов и законом изменения ускорения позволяет путем изменения конфигурации криволинейных пазов получать закон изменения ускорения.

Патент № 2388996

Патентообладатель: Уральский государственный университет путей сообщения

Авторы: **Таугер В. М., Фоменко М. Ю., Ципп Н. И.**

Стенд для определения геометрических параметров винтовых пружин сжатия

Diagnostic tester to estimate geometric parameters of compression helical springs

Изобретение относится к механическим средствам измерения, применяется для определения диаметров, деформации твердых тел, углов, соосности и других параметров.

Цель изобретения — упрощение конструкции и снижение стоимости оборудования.

Практическая актуальность

Преимущество данного устройства заключается в том, что стенд содержит жестко прикрепленную к горизонтальной поверхности станину, на которой неподвижно закреплена направляющая, снабженная по всей длине зубьями. Вдоль направляющей перемещается каретка, на одном

торце которой установлена длинная стойка с горизонтальной опорой в верхней части, на другом торце каретки — короткая стойка, на которой помещен датчик для измерения шага витков винтовой пружины сжатия. На горизонтальной опоре длинной стойки каретки вертикально установлен стержень, нижним концом воздействующий на датчик для измерения диаметра и стрелы прогиба испытываемой винтовой пружины сжатия, которая помещается между двумя дисками, один из которых жестко установлен на валу мотор-редуктора, а другой смонтирован с возможностью вращения относительно винта, проходящего через неподвижно прикрепленную к верхнему краю станины

Патент № 2393303

Патентообладатель: Уральский государственный университет путей сообщения

Авторы: Ягофаров Х., Ягофаров Я. Х.

Стык сборных железобетонных колонн

The butt of precast reinforced concrete columns

Изобретение относится к области строительства, в частности к стыку сборочных железобетонных колонн.

Цель изобретения — упрощение изготовления и монтажа железобетонных колонн, повышение надежности стыка и обеспечение универсальности стыка сборочных железобетонных колонн.

Практическая актуальность

Преимущество данного устройства заключается в том, что стержни продольной рабочей арматуры нижней и верхней железобетонных колонн на определенном расстоянии от стыка плавно, без перегибов загнуты в направлении к оси железобетонных колонн. Вблизи стыка из стержней продольной рабочей арматуры сформированы пучки, которые расположены по оси железобетонных колонн, при этом требуемые форма и площадь поперечного сечения пучков получена путем установки в формируемый пучок дополнительных арматурных стержней и пластин. Часть пучка стержней продольной рабочей арматуры верхней железобетонной колонны введена в углубление на торце нижней железобетонной колонны, а необходимый зазор между пучками стержней продольной рабочей арматуры верхней и нижней железобетонных колонн зафиксирован стальной прокладкой, установленной по оси железобетонных колонн, и заполнен цементно-песчаным раствором.

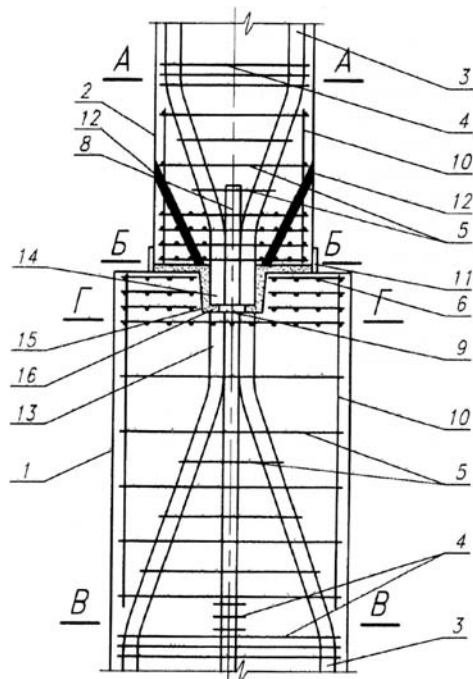


Рис. 1. Стык сборных железобетонных колонн

Ожидаемый результат

Предлагаемое устройство позволяет повысить надежность стыка сборочных железобетонных колонн за счет пучков, сформированных из стержней продольной рабочей арматуры, контактирующих торцами через тонкий слой цементно-песчаного раствора. Помимо этого, устройство стало более универсальным за счет применения его для соединения железобетонных колонн разных сечений как по форме, так и по размерам, а также разного армирования как по количеству, так и сечению стержней продольной рабочей арматуры.

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} ; ψ_i) — только в текстовом режиме, сложные

$$(s^2 = \frac{1}{n-1} \left[\sum_{j=1}^e x_j^2 n_j - \frac{1}{n} \left(\sum_{j=1}^e x_j n_j \right)^2 \right]; \left(\frac{\sigma_a}{[n]} \right)$$

или S_i^m) — только в редакторе формул (встроен в Word).

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, диа-

граммах): размер подрисовочной подписи — 14, расположение — по центру набора, слово «Рис.» — курсив, название рисунка — нормальное начертание, описание рисунка (эпликация) — 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»*

