

Научный журнал  
«Вестник Уральского государственного  
университета путей сообщения»  
**№ 2 (30), 2016 год**

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

**Литературный и выпускающий редактор**  
Людмила Станиславовна Барышникова

**Техническое редактирование и верстка**  
Светлана Николаевна Наймушина  
**Дизайн обложки**  
Ольга Петровна Игнатьева

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

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

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

Журнал издается по решению  
ученого совета университета  
©УрГУПС

«Вестник УрГУПС» включен ВАКом  
в перечень периодических, научных  
и научно-технических изданий,  
выпускаемых в Российской Федерации,  
в которых рекомендуется публикация  
основных результатов диссертаций.

DOI:10.20291/2079-0392

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

Подписной индекс журнала  
в общероссийском  
каталоге «Роспечать» — 70070

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

Подписано в печать 26.06.2016.

Тираж 300 экз. 1-й з-д: 1–80.  
Формат 70×100/16.  
Заказ 87

Scientific journal «Herald of the  
Ural State University  
of Railway Transport»  
**№ 2 (30), 2016**

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

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

**Technical editing and make-up**  
Svetlana N. Naymushina

**Cover design**  
Olga P. Ignatjeva

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

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

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

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

DOI:10.20291/2079-0392

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.

Subscription reference number of the issue  
in the All Russia Catalogue «Rospechat» — 70070

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

Passed for printing 26.06.2016.

Circulation 300. 1-й з-д: 1–80.  
Format 70×100/16.  
Order 87

## МЕЖДУНАРОДНЫЙ РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

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

**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

**Сергей Герман-Галкин**, д-р техн. наук, профессор, Морская академия, Институт судовой автоматики и электротехники, Щецин, 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

**Кузнецов Константин Борисович**, д-р техн. наук, профессор, УрГУПС, Екатеринбург

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

**Сизый Сергей Викторович**, д-р техн. наук, профессор, УрФУ, Екатеринбург

**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

**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

**Sergey German-Galkin**, DSc, professor Maritime Academy, Institute of naval automation and electric engineering, Szczecin, Poland

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

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

## EDITORIAL BOARD

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

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

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

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

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

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

**Kuznetsov Konstantin Borisovich**, DSc, professor, The Ural State University of Railway Transport, Ekaterinburg

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

**Sizyi Sergey Viktorovich**, D. Sc. in engineering, professor, Ural Federal University, Ekaterinburg

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

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

# Содержание

## Математические модели технологических процессов

- 4 С.П. Баутин, С.Л. Дерябин. Восходящие закрученные потоки воздуха, примыкающие к «глазу тайфуна»
- 10 Е.А. Бахарева. К расчету ударного спектра оборудования при импульсном виброускорении
- 19 Ю.М. Кравченко, М.М. Мыльников. Оценка стабильности криволинейных участков пути в программном комплексе Pathcurve

## Механика машин и роботов

- 29 Х.Т. Туранов, А.А. Гордиенко, И.С. Плахотич. Исследование движения вагона на парковой механизированной тормозной позиции сортировочной горки при воздействии попутного ветра
- 41 В.С. Паршин, Н.В. Семенова. Механика деформирования и расчет поврежденности металла при изготовлении гнутых профилей

## Управление в технических системах

- 47 А. В. Гриценко, К. В. Глемба, О. Н. Ларин. Исследование режимов работы электрических бензиновых насосов автомобилей при искусственном формировании гидравлического сопротивления
- 56 Д. В. Ефанов, В. В. Дмитриев, В. Г. Алексеев. Повышение эффективности технологии мониторинга средствами системы АПК-ДК за счет использования при обработке диагностических данных взвешенных кодов с суммированием без переносов

## Организация и логистика

- 67 А. В. Паранин, Е.Л. Проскуряков. Последовательность модернизации системы электроснабжения постоянного тока повышенного уровня напряжения в контактной сети

## Безопасность деятельности человека

- 73 А. Р. Закирова, Ж. М. Буканов. Исследования электромагнитных полей на рабочих местах персонала, обслуживающего контактную сеть
- 84 А. Н. Скворцов. Расчёт эффективности звукопоглощающего офисно-производственного акустического экрана

## Организация образовательного процесса

- 92 С.А. Марчук. Организация процесса обучения студентов с использованием оздоровительных технологий физического воспитания
- 100 О.Н. Шестопалова, Т.В. Окунева. Роль университета в образовательных и профессиональных траекториях современной молодежи

## Аспирантская тетрадь

- 108 Т.К. Чернушевич. Риски в сетевых организационных структурах
- 119 В.В. Полянов. Методика моделирования электромагнитной совместимости на участках тяжеловесного движения поездов

# Contents

## Mathematic models of technological processes

- 4 S.P. Bautin, S.L. Deryabin. Upward swirling flows adjacent to the «eye of typhoon»
- 10 Ye.A. Bakhareva. To calculation of shock spectrum of the equipment during impulsive vibration acceleration
- 19 Yu.M. Kravchenko, M.M. Mylnikov. Evaluation of stability of curved track sections using Pathcurve software system

## Mechanics of machines and robots

- 29 Kh.T. Turanov, A.A. Gordiyenko, I.S. Plakhotich. Study of car movement on braking position of the hump yard under the impact of fair wind
- 41 V.S. Parshin, N.V. Semyonova. Mechanics of deformation and calculation of damage to metal during curved profile manufacture

## Control in engineering systems

- 47 A.V. Gritsenko, K.V. Glemba, O.N. Larin. Study of operation of electric fuel pumps of motor vehicles with artificial formation of hydraulic resistance
- 56 D.V. Yefanov, V.V. Dmitriyev, V.G. Alekseyev. Increasing effectiveness of monitoring technology by means of APK-DK system using diagnostic data of weighted sum codes without drifting

## Organization and logistics

- 67 A.V. Paranin, Ye.L. Proskuryakov. Succession for improvement of dc power supply with higher voltage in overhead system

## Personal and social safety

- 73 A. R. Zakirova, Zh.M. Bukanov. Research of electromagnetic fields at workplaces of service personnel of contact lines
- 84 A.N. Skvortsov. Calculation of effectiveness of office and industrial noise rejection acoustic shield

## Study process organization

- 92 S.A. Marchuk. Organization of training process for students using health-improving physical training techniques
- 100 O.N. Shestopalova, T.V. Okuneva. University's role in educational and professional pathways for modern youth

## Research of young scientists

- 108 T.K. Chernushevich. Risks in networked organisational structures
- 119 V.V. Polyanov. Method for simulating of electromagnetic compatibility on heavy-weight railway traffic sections

# Математические модели технологических процессов

УДК 517.95+533.6

*С. П. Баутин, С. Л. Дерябин*

## Восходящие закрученные потоки, примыкающие к «глазу тайфуна»

UDC 517.95+533.6

*S. P. Bautin, S. L. Deryabin*

## Upward swirling flows adjacent to the «eye of typhoon»

### Аннотация

Задачи о моделировании торнадо и тропических штормов рассматривались ранее (см., например, [1–7]). В работах [1–3] предложена и обоснована схема зарождения и функционирования восходящего закрученного потока газа. В частности доказано, что в таких потоках закрутка в северном полушарии происходит против хода часовой стрелки, а в южном – по ходу часовой стрелки. Это согласуется с данными многолетних наблюдений за торнадо и тропическими циклонами [8–10]. В работах [4–5] рассматривались течения политропного газа в восходящем закрученном потоке в некоторой окрестности вертикально расположенной контактной характеристики кратности пять, разделяющей газ и вакуум. Показано, что и в случае примыкания газа к вакууму закрутка газа происходит в соответствующую сторону, установлено также, что сам вихрь движется на запад, немного смещаясь к северу. В работах [6–7] строились течения газа в окрестности контактной характеристики, но кратности

два и являющейся непроницаемой плоскостью.

В данной работе рассматривается течение газа в некоторой окрестности вертикальной контактной характеристики кратности два, разделяющей восходящий закрученный поток и покоящийся газ. Предполагается существование области покоящегося газа вдоль вертикальной оси потока, которая в случае тропического циклона обычно называется «глаз тайфуна». Для системы уравнений газовой динамики поставлена начально-краевая задача и доказана теорема существования и единственности решения в окрестности контактной поверхности. Анализ поведения решения позволил получить закон сохранения: квадрат модуля вектора скорости газа на контактной поверхности есть величина постоянная.

**Ключевые слова:** система уравнений газовой динамики, восходящие закрученные потоки, вертикальная контактная поверхность, начально-краевая задача, закон сохранения.

DOI:10.20291/2079-0392-2016-2-4-9

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

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

Sergey Petrovich Bautin, DSc in Physics and Mathematics, Professor; Higher and Applied Mathematics Department, Ural State University of Railway Transport; Ekaterinburg, Russia. E-mail: SBautin@usurt.ru.

Sergey Lvovich Deryabin, DSc in Physics and Mathematics, Professor; Higher and Applied Mathematics Department, Ural State University of Railway Transport, Ekaterinburg, Russia. E-mail: SDeryabin@usurt.ru.

## Summary

Problem of modelling tornadoes and tropical storms were considered earlier (see, e.g., [1–7]). Studies [1–3] provide and explain the scheme of origination and functioning of the upward swirling gas flow. In particular, it is proved that a twist in such flows in the northern hemisphere occurs in counterclockwise direction, and in clockwise direction in the southern hemisphere. This is consistent with long-term observations of tornadoes and tropical cyclones [8–10]. In studies [4–5] the flow of a polytropic gas in upward swirling flow in the contact characteristics environment with ratio of five separating gas and vacuum. It is shown that gas abutting to vacuum, gas swirling occurs in the corresponding direction; it has also been determined, that the vortex itself moves westwards shifting slightly to the north. In studies [6–7] gas flow were charted in the contact characteristics environment,

but with ratio of two and representing an impermeable plane.

In this study we look at gas flow in the vertical contact characteristics environment with ratio of two, dividing the upward swirling flow and gas at rest. We assume existence of the field of gas at rest along the vertical axis of flow, which in the case of a tropical cyclone is usually called «eye of typhoon». Initial-boundary value problem set for gas dynamics equations system and theorem of existence and singularity of solution in contact surface environment is proved. Analysis of behavior of solution helped acquire the conservation law: gas speed vector square module on contact surface is a constant value.

**Keywords:** gas dynamics equations system, upward swirling, vertical contact surface, initial-boundary value problem, conservation law.

DOI:10.20291/2079-0392-2016-2-4-9

## Постановка задачи

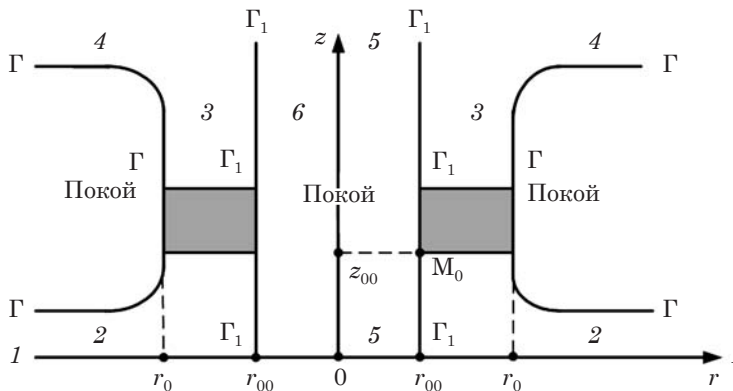


Рис.

На рис. буквой Г обозначена внешняя контактная поверхность, разделяющая внешний покоящийся воздух и течение в восходящем закрученном потоке, а  $\Gamma_1$  – внутренняя контактная поверхность, разделяющая внутренний покоящийся воздух и течение в восходящем закрученном потоке.

Цифрами на рис. помечены следующие элементы: 1 – поверхность Земли, 2 – придонная область восходящего закрученного потока; 3 – вертикальная область восходящего закрученного потока; 4 – верхний край восходящего закрученного потока; 5 – ось симметрии восходящего закрученного потока; 6 – область внутреннего однородного покоящегося газа с более низким давлением, чем давление во внешнем покоящемся воздухе

Восходящее течение газа в окрестности контактной поверхности на небольшом по высоте участке вертикальной части вихря будет предметом

исследований в данной работе. На рис. область этого течения затемнена.

Значения переменной  $z$  будут отсчитываться от поверхности Земли.

Построение и исследование течения будет проводиться в окрестности точки  $M_0(z = z_{00}, r = r_{00})$ ,  $z_{00} = \text{const} > 0$ ,  $r_{00} = \text{const} > 0$  (см. рис.).

Будут рассматриваться изэнтропические течения политропного газа со следующими искомыми газодинамическими параметрами:  $c = \rho^{(\gamma-1)/2}$  – скорость звука газа;  $u$  – радиальная составляющая вектора скорости газа;  $v$  – окружная составляющая вектора скорости газа;  $w$  – вертикальная составляющая вектора скорости газа. Здесь  $\rho$  – плотность газа;  $\gamma$  – показатель политропы газа, обычно для воздуха полагаются  $\gamma = 1,4$ . Газодинамические параметры зависят от независимых переменных:  $t$  – времени;  $r$  – полярного радиуса в плоскости  $xOy$ ;  $\varphi$  – полярного угла.

В этом случае система уравнений газовой динамики имеет следующий вид [1–3]:

$$\begin{aligned} c_t + uc_r + \frac{v}{r}c_\varphi + wc_z + \\ + \frac{\gamma-1}{2}c(u_r + \frac{u}{r} + \frac{v_\varphi}{r} + w_z) = 0, \\ u_t + uu_r + \frac{v}{r}u_\varphi + wu_z - \frac{v^2}{r} + \\ + \frac{2}{\gamma-1}cc_r = av - bw\cos\varphi, \\ v_t + uv_r + \frac{v}{r}v_\varphi + wv_z + \frac{uv}{r} + \\ + \frac{2}{\gamma-1}\frac{1}{r}cc_\varphi = -av + bw\sin\varphi, \\ w_t + uv_r + \frac{v}{r}v_\varphi + wv_z + \frac{2}{\gamma-1}cc_z = \\ = bu\cos\varphi - bv\sin\varphi - g. \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь  $g$  – ускорение свободного падения,  $a = 2\Omega\sin\psi$ ,  $b = 2\Omega\cos\psi$ ,  $\Omega$  – модуль угловой скорости вращения Земли,  $\psi$  – широта точки ( $z = 0$ ,  $r = r_{00}$ ) на поверхности Земли.

На цилиндре  $r = r_{00}$  можно поставить следующие данные:

$$\begin{aligned} c(t, r, \varphi, z)|_{r=r_{00}} = c_0(z) = \sqrt{c_{00} - g(\gamma-1)z}, \\ u(t, r, \varphi, z)|_{r=r_{00}} = 0, \end{aligned} \quad (2)$$

$$v(t, r, \varphi, z)|_{r=r_{00}} = v_0(t, \varphi, z),$$

$$w(t, r, \varphi, z)|_{r=r_{00}} = w_0(t, \varphi, z).$$

Конкретная функция  $c_0(z)$  из условий (2) является решением системы (1), если  $u = v = w = 0$  [3, 11], то есть она задает скорость звука газа, покоящегося в поле тяжести. Заметим, что эта же зависимость получена из результатов физических экспериментов и наблюдений за параметрами атмосферы Земли до высоты десять тысяч километров [12]. Константа  $c_{00}$  задает значение скорости звука газа при  $z = 0$ . Далее предполагается, что выполнено неравенство

$$c_{00} > g(\gamma-1)z,$$

которое обеспечивает аналитичность функции  $c_0(z)$  в некоторой окрестности точки  $M_0$  (см. рис.).

Первое соотношение из (2) обеспечивает равенство давления при  $r = r_{00}$  по обе части от поверхности  $\Gamma_1$  по всей высоте:

$$0 \leq z \leq z^*, \quad z^* = c_{00} / [g(\gamma-1)].$$

Второе соотношение из (2) обеспечивает непротекание газа через вертикальную поверхность  $r = r_{00}$ . Следовательно, поверхность  $\Gamma_1$  является контактной характеристикой системы (1), и кратность этой характеристики равна двум [13]. Заметим, что задача (1), (2) отличается и по газодинамическому смыслу, и по математической постановке от ранее рассмотренных задач с данными на контактной характеристике для восходящих закрученных потоков [4–7].

### Построение решения задачи (1), (2)

Если в системе (1) положить  $r = r_{00}$ , учесть условия (2), то при обозначениях

$$c_r|_{r=r_{00}} = c_1; \quad u_r|_{r=r_{00}} = u_1$$

получаются следующие четыре соотношения:

$$\begin{aligned} w_0 c_{0z} + \frac{(\gamma-1)}{2} c_0 \left( u_1 + \frac{v_{0\varphi}}{r_{00}} + w_{0z} \right) &= 0, \\ -\frac{v_0^2}{r_0} + \frac{2}{\gamma-1} c_0 c_1 &= av_0 - bw_0 \cos \varphi, \\ v_{0t} + \frac{v_0}{r_{00}} v_{0\varphi} + w_0 v_{0z} &= bw_0 \sin \varphi, \\ w_{0t} + \frac{v_0}{r_{00}} w_{0\varphi} + w_0 w_{0z} &= -bv_0 \sin \varphi. \end{aligned} \quad (3)$$

Причем при выписывании четвертого уравнения из системы (3) учтен конкретный вид функции  $c_0(z)$  из условий (2).

Из первых двух равенств, входящих в систему (3), однозначно определяются  $u_1$  и  $c_1$ :

$$\begin{aligned} u_1 &= -\frac{v_{0\varphi}}{r_{00}} - w_{0z} - \frac{2}{(\gamma-1)c_0} w_0 c_{0z}, \\ c_1 &= \frac{(\gamma-1)}{2c_0} \left( av_0 - bw_0 \cos \varphi + \frac{v_0^2}{r_0} \right). \end{aligned}$$

Последние два равенства, входящие в систему (3), являются необходимыми условиями разрешимости характеристической задачи Коши [13] и из них следует, что функции  $v_0$  и  $w_0$ , входящие в данные (2), нельзя брать произвольными. Они должны удовлетворять этим двум соотношениям из (3):

$$\begin{aligned} v_{0t} + \frac{v_0}{r_{00}} v_{0\varphi} + w_0 v_{0z} &= bw_0 \sin \varphi, \\ w_{0t} + \frac{v_0}{r_{00}} w_{0\varphi} + w_0 w_{0z} &= -bv_0 \sin \varphi. \end{aligned} \quad (5)$$

С помощью введения параметра  $\tau$  вдоль бихарактеристики системы (5) [14] данная система из двух уравнений с частными производными сводится к системе из пяти обыкновенных дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned} \frac{dt}{d\tau} &= 1; \quad \frac{d\varphi}{d\tau} = \frac{v_0}{r_{00}}; \quad \frac{dz}{d\tau} = w_0; \\ \frac{dv_0}{d\tau} &= bw_0 \sin \varphi; \quad \frac{dw_0}{d\tau} = -bv_0 \sin \varphi. \end{aligned} \quad (6)$$

Если с помощью констант  $\varphi_{00}$ ,  $z_{00}$ ,  $v_{00}$ ,  $w_{00}$  ( $0 \leq \varphi \leq 2\pi$ ) для системы (6) задать следующие начальные условия:

$$\begin{aligned} t|_{\tau=0} &= 0, \quad \varphi|_{\tau=0} = \varphi_{00}, \quad z|_{\tau=0} = z_{00}, \\ v_0|_{\tau=0} &= v_{00}, \quad w_0|_{\tau=0} = w_{00}, \end{aligned} \quad (7)$$

то задача (6), (7) имеет по теореме Ковалевской [13] единственное аналитическое решение в окрестности точки ( $\tau = 0$ ,  $\varphi = \varphi_{00}$ ,  $z = z_{00}$ ,  $v = v_{00}$ ,  $w = w_{00}$ ).

Следовательно, из необходимых условий разрешимости характеристической задачи Коши (1), (2), то есть из задачи (6), (7), функции  $v_0$ ,  $w_0$ , входящие в условия (2), определяются однозначно и являются аналитическими в некоторой окрестности точки ( $t = 0$ ,  $\varphi = \varphi_{00}$ ,  $z = z_{00}$ ).

Пусть для задачи (1), (2) с функциями  $v_0$ ,  $w_0$ , определенными выше при решении задачи (6), (7), заданы два дополнительных условия

$$\begin{aligned} v(t, r, \varphi, z)|_{t=0} &= v^0(r, \varphi, z), \\ w(t, r, \varphi, z)|_{t=0} &= w^0(r, \varphi, z) \end{aligned} \quad (8)$$

с аналитическими в окрестности точки ( $r = r_{00}$ ,  $\varphi = \varphi_{00}$ ,  $z = z_{00}$ ) функциями  $v^0(r, \varphi, z)$ ,  $w^0(r, \varphi, z)$ , которые удовлетворяют условиям согласования

$$\begin{aligned} v^0(r, \varphi, z)|_{r=r_{00}} &= v_0(t, \varphi, z)|_{t=0}, \\ w^0(r, \varphi, z)|_{r=r_{00}} &= w_0(t, \varphi, z)|_{t=0}. \end{aligned} \quad (9)$$

Тогда справедлива следующая

**Теорема.** Задача (1), (2), (8), (9) имеет в некоторой окрестности точки ( $t = 0$ ,  $r = r_{00}$ ,  $\varphi = \varphi_{00}$ ,  $z = z_{00}$ ) единственное аналитическое решение.

Доказательство теоремы проводится сведением задачи (1), (2), (8), (9) к характеристической задаче Коши стандартного вида, для которой справедлив соответствующий аналог теоремы Ковалевской [13]. Непосредственные выкладки по подобному сведению проводятся по схеме из книги [6] и здесь не приводятся.



### Об одном свойстве решений задачи (1), (2), (8), (9)

Если в системе (6) поделить четвертое уравнение на пятое, естественно, при условии, что  $v_{00} \neq 0$ , то получится дифференциальное уравнение

$$\frac{dv_0}{dw_0} = -\frac{w_0}{v_0}, \quad (10)$$

которое имеет общее решение, удовлетворяющее следующему равенству:

$$v_0^2 + w_0^2 = C^2; \quad (11)$$

$$C^2 = \text{const} = v_{00}^2 + w_{00}^2.$$

Если в системе (6) поделить пятое уравнение на четвертое, естественно, при условии, что  $w_{00} \neq 0$ , то получится следующее дифференциальное уравнение:

$$\frac{dw_0}{dv_0} = -\frac{v_0}{w_0}, \quad (12)$$

общее решение которого также удовлетворяет равенству (11).

Следовательно, для восходящих закрученных течений газа на контактной поверхности  $r = r_{00}$  имеет место

**Закон сохранения.** Квадрат модуля вектора скорости газа на контактной поверхности есть величина постоянная. Если уменьшается (увеличивается) модуль вертикальной составляющей вектора скорости газа, то увеличивается (уменьшается) модуль окружной составляющей вектора скорости газа в соответствии с формулой (11).

Именно этим законом сохранения и объясняется эффект возникновения области пониженного давления (так называемой воронки) на границе торнадо и облака, в которое «упирается» торнадо [1–3]. Как известно, при достижении подобной «воронки» подстилающей поверхности начинается как стадия самоподдерживающегося функционирования торнадо, так разрушительное действие придонной части торнадо [8–10]. ■

### Литература

1. Баутин С.П. Торнадо и сила Кориолиса. Новосибирск : Наука, 2008. 92 с. ISBN 978-5-02-023266-2.
2. Баутин С.П., Обухов А.Г. Математическое моделирование разрушительных атмосферных вихрей. Новосибирск : Наука, 2012. 152 с. ISBN 978-5-02-019072-6.
3. Баутин С.П., Крутова И.Ю., Обухов А.Г., Баутин К.В. Разрушительные атмосферные вихри: теоремы, расчеты, эксперименты. Новосибирск : Наука; Екатеринбург : Изд-во УрГУПС, 2013. 215 с. ISBN 978-5-02-019149-5.
4. Дерябин С.Л., Мезенцев А.В. Эволюция газовых течений, примыкающих к вакууму, в условиях действия сил тяготения и Кориолиса // Труды института математики и механики / Екатеринбург : УрО РАН, 2010. Т.16. С. 63–74. ISBN 0134–4889.
5. Дерябин С.Л., Мезенцев А.В. Математическое моделирование восходящих закрученных потоков, примыкающих к вакууму, в вырожденном случае // Вестник УрГУПС. 2013. № 4(20). С. 11–17. ISBN 2079-0392.
6. Крутова И.Ю. Задача о движении газа в условиях действия сил тяжести и Кориолиса в окрестности непроницаемой горизонтальной плоскости // Вестник УрГУПС. 2012. № 1(13). С. 14–21. ISBN 2079-0392.
7. Крутова И.Ю. Трехмерный стационарный поток газа в условиях действия сил тяжести и Кориолиса в окрестности непроницаемой горизонтальной плоскости // Вестник УрГУПС. 2012. № 3(15). С. 16–24. ISBN 2079-0392.
8. Наливкин Д.В. Ураганы, бури и смерчи. Географические особенности и геологическая деятельность. Л. : Наука, 1969. 487 с.
9. Наливкин Д.В. Смерчи. М. : Наука, 1984. 112 с.
10. Варакин А.Ю., Ромаш М.Э., Копейцев В.Н. Торнадо. М. : Физматлит, 2011. 312 с. ISBN 978-5-9221-1249-9.
11. Кочин Н.Е., Кибель И.А., Розе Н.В. Теоретическая гидродинамика. Ч. 2. М. : Физматгиз, 1963. 728 с.



12. Баутин С.П. Характеристическая задача Коши и ее приложения в газовой динамике. Новосибирск : Наука, 2009. 368 с. ISBN 978-5-02-023309-6.
13. Курант Р. Уравнения с частными производными. М. : Мир, 1964. 830 с.

#### References

1. Bautin S.P. Tornado i sila Koriolisa [Tornado and Coriolis force]. Novosibirsk : Nauka, 2008. 92 s. ISBN 978-5-02-023266-2.
2. Bautin S.P., Obukhov A.G. Matematicheskoye modelirovaniye razrushitelnykh atmosferynykh vikhrey [Mathematical modelling of destructive atmospheric vortexes]. Novosibirsk : Nauka, 2012. 152 s. ISBN 978-5-02-019072-6.
3. Bautin S.P., Krutova I.Yu., Obukhov A.G., Bautin K.V. Razrushitelnye atmosferynye vikhri: teoremy, raschety, eksperimenty [Destructive atmospheric vortexes: theorems, calculations, experiments]. Novosibirsk : Nauka; Ekaterinburg: Izd-vo UrGUPS, 2013. 215 s. ISBN 978-5-02-019149-5.
4. Deryabin S.L., Mezentsev A.V. Evolutsiya gazovykh techeny, primykayushchikh k vakuumu, v usloviyakh deystviya sil tyagoteniya i Koriolisa [Evolution of gas flows, adjacent to vacuum, exposed to gravity and Coriolis force] // Trudy instituta matematiki i mekhaniki / Ekaterinburg : UrO RAN, 2010. T. 16. S. 63–74. ISBN 0134–4889.
5. Deryabin S.L., Mezentsev A.V. Matematicheskoye modelirovaniye voskhodyashchikh zakruchennykh potokov, primykayushchikh k vakuumu, v vyrozhdennom sluchae [Mathematical modelling of upward vortex flows adjacent to vacuum in degenerate case] // Vestnik UrGUPS. 2013. № 4(20). S. 11–17. ISBN 2079-0392.
6. Krutova I.Yu. Zadacha o dvizhenii gaza v usloviyakh deystviya sil tyazhesty i Koriolisa v okrestnosti nepronitsayemoy gorizontальной ploskosti [Problem of gas flow under impact of forces of gravity and Coriolis in the neighbourhood of impervious horizontal plane] // Vestnik UrGUPS. 2012. № 1(13). S. 14–21. ISBN 2079-0392.
7. Krutova I.Yu. Trekhmerny stazionarny potok gaza v usloviyakh deystviya sil tyazhesti i Koriolisa v okrestnosti nepronitsayemoy gorizontальной ploskosti [Three-dimensional stationary gas flow under impact of forces of gravity and Coriolis in the neighbourhood of impervious horizontal plane] // Vestnik UrGUPS. 2012. № 3(15). S. 16–24. ISBN 2079-0392.
8. Nalivkin D.V. Uragany, buri i smerchi. Geograficheskiye osobennosti i geologicheskaya deyatel'nost' [Hurricanes, storms and atmospheric vortexes. Geographical features and geological activity]. L. : Nauka, 1969. 487 s.
9. Nalivkin D.V. Smerchi [Atmospheric vortexes]. M. : Nauka, 1984. 112 s.
10. Varaksin A.Yu., Romash M.E., Kopeytsev V.N. Tornado [Tornado]. M. : Fizmatlit, 2011. 312 s. ISBN 978-5-9221-1249-9.
11. Kochin N.Ye., Kibel I.A., Roze N.V. Teoreticheskaya gidrodinamika [Theoretical hydrodynamics]. Ch. 2. M. : Fizmatgiz, 1963. 728 s.
12. Bautin S.P. Kharakteristicheskaya zadacha Koshi i eyo prilozheniya v gazovoy dinamike [Characteristic Cauchy problem and its applications in gas dynamics]. Novosibirsk : Nauka, 2009. 368 s. ISBN 978-5-02-023309-6.
13. Kurant R. Uravneniya s chastnymi proizvodnymi [Partial differential equations]. M. : Mir, 1964. 830 s.

*Статья сдана в редакцию 23 марта 2016 года*

*Е. А. Бахарева*

## К расчету ударного спектра оборудования при импульсном виброускорении

*Ye. A. Bakhareva*

## To calculation of shock spectrum of the equipment during impulsive vibration acceleration

### Аннотация

Для безаварийной работы оборудования, зачастую подверженного в процессе эксплуатации ударным нагрузкам, необходимо решить задачу развития как теоретических, так и опытных методов оценки предполагаемого отклика оборудования на внешнее воздействие. При динамических испытаниях электронных приборов и деталей машин на ударостойкость импульсное воздействие традиционно задают временным сигналом (зависимость нагрузки от времени), однако это приводит к трудностям в реализации экспериментов из-за ограничений, накладываемых испытательным оборудованием. Намного удобнее использовать связывающие нагрузку и частоту ударные спектры, которые отличаются стабильностью и воспроизводимостью. Отсюда возникает необходимость создания методики расчета ударного спектра системы по известному временному сигналу с целью спрогнозировать отклик оборудования во время опытных испытаний.

В данной статье задача сформулирована в традиционной постановке: оборудование моделируется простой одномассовой системой (осциллятором), нагруженной непрерывным временным сигналом в виде импульсного виброускорения. Предложена поэтапная процедура расчета ударного отклика системы под действием ударного импульса. Методика основана на решении уравнения движения механической системы посредством интеграла Дюамеля. Алгоритм проиллюстрирован на примере расчета ударного спектра отклика осциллятора при воздействии на него совокупности из четырех полусинусоидальных импульсов с разной длительностью и амплитудой.

**Ключевые слова:** ударный спектр, виброускорение, полусинусоидальный импульс, временной сигнал, интеграл Дюамеля, осциллятор.

DOI:10.20291/2079-0392-2016-2-10-18

### Summary

For failure-free operation of the equipment which is often exposed to shock loads during operation, it is necessary to solve the problem of development of both theoretical and experimental methods for evaluation of equipment's expected response to external loads. During dynamic testing of electronic devices and machine parts for impact resistance the impulsive action is traditionally given as time signal (load function of time), however this leads to difficulties in implementation of experiments due to restrictions imposed by the testing equipment. It is much more convenient to use shock spectra binding the load and frequency which are stable and reproducible. Hence the need arises to establish a methodology for calculating shock spectrum of the system based on the known time signal to predict equipment response during experimental tests.

In this article, the problem is formulated in a traditional setting: the equipment is represented by a simple single-mass system (oscillator), loaded with continuous time signal in the form of impulsive acceleration. We offer a multi-stage procedure of system shock response calculation under the action of a shock pulse. The method is based on solving the equation of motion of a mechanical system using Duhamel's integral. The algorithm is illustrated by an example of calculation of the shock response spectrum of an oscillator exposed to an aggregate of four half-sine pulse varying in duration and amplitude.

**Keywords:** shock spectrum, vibration acceleration, half-sine pulse, time signal, Duhamel's integral, oscillator.

DOI:10.20291/2079-0392-2016-2-10-18

Елена Александровна Бахарева, канд. техн. наук, инженер-конструктор; АО «Опытное конструкторское бюро «Новатор» (АО ОКБ «Новатор»); Екатеринбург, Россия. E-mail: bahareva.e.a@mail.ru.

Yelena Aleksandrovna Bakhareva, PhD in Engineering, Design Engineer; JSC Experimental Design Bureau «Novator» (AO OKB Novator); Ekaterinburg, Russia. E-mail: bahareva.e.a@mail.ru.

В процессе производства и эксплуатации машин, приборов и агрегатов в различных областях промышленности необходимо обеспечить безаварийность работы оборудования (особенно электронного) под воздействием различных динамических нагрузок, в том числе ударов. Ударные воздействия на оборудование обусловлены как естественными, природными факторами (например, землетрясения), так и искусственными, аварийными. К последним – наиболее частым – можно отнести приземление самолета, столкновение различных транспортных средств (соударение морских судов, железнодорожных вагонов) или пиротехнические взрывы на промышленных горно-шахтных объектах. При динамических испытаниях электронного оборудования на воздействие ударных нагрузок на вибростенде наиболее удобный способ задать исследуемому прибору импульсную ударную нагрузку – классический полусинусоидальный временной сигнал по известной амплитуде и длительности. Однако воспроизведение на вибростенде импульса классической формы нередко затруднено из-за ограничений, накладываемых испытательным оборудованием [1]. Намного удобнее альтернативный способ задания внешней нагрузки посредством ударного спектра, отличающегося стабильностью и воспроизводимостью. В отличие от временных сигналов, ударный спектр позволяет величины максимальных значений реакции системы представить в виде зависимости максимальных абсолютных ускорений или относительных перемещений от частоты колебаний  $f$  при различных значениях добротности  $Q$ .

Отсюда возникает задача о развитии и адаптации математических методов для расчета ударного спектра по известному временному сигналу, посылаемому оборудованию, с целью верификации получаемых в испытаниях результатов. В традиционно применяемых методах спектрального анализа используются достаточно громоздкие спектры Фурье [2–4] для расчета

ударного отклика оборудования, зачастую представляя ударное воздействие  $\delta$ -функцией Дирака [5].

Цель данной работы – создать универсальную и рациональную расчетную схему ударного спектра отклика оборудования, подверженного ударным нагрузкам, зависящим от времени. Нами предлагается методика вычисления ударного спектра для заданного непрерывного временного сигнала, в частности в классическом полусинусоидальном виде, с использованием интеграла Дюамеля. Причем, опираясь на основы теоретической механики и теории колебаний [6], исследуемое оборудование моделируется простой одномассовой системой – осциллятором.

### Основные соотношения и методика расчета ударного спектра

В основе методики лежат следующие основополагающие соотношения для вычисления ударного спектра осциллятора, характеризующегося добротностью  $Q$  (иногда называемого субструктурой [7]), при заданной непрерывной зависимости виброускорения  $a(t)$  на временном промежутке  $t \in [0; T]$ , где  $T$  – длительность воздействия. Уравнение движения осциллятора, возбужденного временным сигналом  $a(t)$ , имеет вид [2]

$$\ddot{x} + 2\xi\omega\dot{x} + \omega^2x = -a(t), \quad (1)$$

где  $x(t)$  – относительное перемещение осциллятора (рис. 1) (относительно своей опоры);  $\xi = 1/(2Q)$  – коэффициент

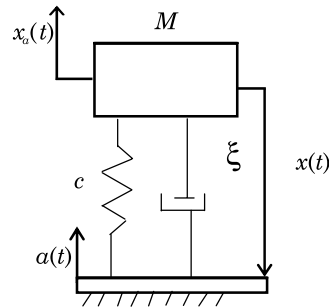


Рис. 1. Схема, реакция которой используется для анализа ударного движения  $x_0(t)$  – абсолютное смещение осциллятора;  $c$  – жесткость;  $M$  – масса осциллятора

демпфирования;  $\omega = 2\pi f$  – круговая частота системы без демпфирования. Выбор знаков при соответствующих коэффициентах в уравнении (1) произведен в соответствии с рис. 1.

Уравнение (1) дополняется начальными условиями, то есть значениями относительного перемещения и относительной скорости в начальный момент времени:  $x_0 = x(0)$  и  $\dot{x}_0 = \dot{x}(0)$ . Решение (1) представимо в виде интеграла Дюамеля [8], который в случае нулевых начальных условий ( $x_0 = 0$ ,  $\dot{x}_0 = 0$ ) принимает вид

$$x(t) = -\frac{1}{\omega_d} \int_0^t e^{-\xi\omega(t-\tau)} \sin(\omega_d(t-\tau)) a(\tau) d\tau, \quad (2)$$

где  $\omega_d = \omega\sqrt{1-\xi^2}$  – скорректированная круговая частота с учетом демпфирования системы.

Относительная скорость осциллятора получается в результате дифференцирования правой части формулы (2):

$$\begin{aligned} \dot{x}(t) &= \frac{dx}{dt} = \\ &= -\frac{1}{\omega_d} \frac{d}{dt} \left( \int_0^t e^{-\xi\omega(t-\tau)} \sin(\omega_d(t-\tau)) a(\tau) d\tau \right) = \\ &= -\int_0^t e^{-\xi\omega(t-\tau)} \left[ \cos(\omega_d(t-\tau)) - \right. \\ &\quad \left. -\frac{\xi}{\sqrt{1-\xi^2}} \sin(\omega_d(t-\tau)) \right] a(\tau) d\tau. \end{aligned} \quad (3)$$

Зная  $x$  и  $\dot{x}$ , из (1) можно найти относительное ускорение системы:

$$\ddot{x} = -a(t) - 2\xi\omega\dot{x} - \omega^2x. \quad (4)$$

Тогда абсолютное ускорение вычисляется как сумма относительного ускорения и ускорения основания  $a(t)$ :

$$\ddot{x}_a = \ddot{x} + a. \quad (5)$$

Процедура расчета ударного спектра осциллятора при данных  $Q$  и  $a(t)$  состоит из следующих этапов:

1) предполагаемую частотную область  $[0; F]$  делим на  $k$  участков с каким-либо начальным шагом;

2) для некоторой начальной собственной частоты  $f$  из промежутка  $[0; F]$

решаем интеграл (2) и из множества возможных относительных перемещений  $x(t)$  на интервале  $[0; F]$  выбираем наибольшее значение  $x_{\max}$ ;

3) решаем интеграл (3) и находим максимальное значение относительной скорости  $\dot{x}_{\max}$  на области  $[0; T]$ ;

4) наибольшую абсолютную перегрузку, учитывая (4) и (5), определяем по формуле

$$\ddot{x}_{\max} = \frac{1}{g} \left| -2\xi\omega\dot{x}_{\max} - \omega^2x_{\max} \right|, \quad (6)$$

где  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$  – ускорение свободного падения, и на графике ударного спектра отмечаем точку  $(f, \ddot{x}_{\max})$ ;

5) задаем следующую собственную частоту из промежутка  $[0; F]$  и повторяем п.п. 2–4.

Если начальные условия задачи ненулевые ( $x_0 \neq 0$ ,  $\dot{x}_0 \neq 0$ ), то относительное перемещение осциллятора, определяемое интегралом Дюамеля, принимает вид

$$\begin{aligned} x(t) &= e^{-\xi\omega t} \left[ x_0 \left( \cos \omega_d t + \right. \right. \\ &\quad \left. \left. + \frac{\xi}{\sqrt{1-\xi^2}} \sin \omega_d t \right) + \frac{\dot{x}_0}{\omega_d} \sin \omega_d t \right] - \\ &\quad - \frac{1}{\omega_d} \int_0^t e^{-\xi\omega(t-\tau)} \sin(\omega_d(t-\tau)) a(\tau) d\tau. \end{aligned}$$

Относительная скорость в этом случае будет

$$\begin{aligned} \dot{x}(t) &= e^{-\xi\omega t} \left[ -x_0 \frac{\omega}{\sqrt{1-\xi^2}} \sin \omega_d t + \right. \\ &\quad \left. + \dot{x}_0 \left( \cos \omega_d t + \frac{\xi}{\sqrt{1-\xi^2}} \sin \omega_d t \right) \right] - \\ &\quad - \int_0^t e^{-\xi\omega(t-\tau)} \left[ \cos(\omega_d(t-\tau)) - \right. \\ &\quad \left. - \frac{\xi}{\sqrt{1-\xi^2}} \sin(\omega_d(t-\tau)) \right] a(\tau) d\tau. \end{aligned}$$

Методика расчета ударного спектра отклика системы при ненулевых начальных условиях аналогична представленной выше.

### Пример расчета ударного спектра

В качестве модельного примера найдем ударный спектр отклика некоторой системы с добротностью  $Q = 10$  и подверженной набору импульсов ускорений с амплитудами,  $g$ : 25, 40, 50 и длительностями, мс: 10, 5, 2,5 и 1,7 соответственно. Первые три спектра построим на промежутке от 0 до 450 Гц, а четвертый – от 0 до 1000 Гц.

Аналитически представим данный набор импульсов в виде непрерывных полусинусоидальных временных сигналов:

$$a_1(t) = \begin{cases} 245 \cdot \sin(314t), & t \in [0; 0,01]; \\ 0, & t \in (0,01; +\infty), \end{cases}$$

$$a_2(t) = \begin{cases} 390 \cdot \sin(628t), & t \in [0; 0,005]; \\ 0, & t \in (0,005; +\infty), \end{cases}$$

$$a_3(t) = \begin{cases} 490 \cdot \sin(1256t), & t \in [0; 0,0025]; \\ 0, & t \in (0,0025; +\infty), \end{cases}$$

$$a_4(t) = \begin{cases} 490 \cdot \sin(1884t), & t \in [0; 0,0017]; \\ 0, & t \in (0,0017; +\infty), \end{cases}$$

изображенных на рис. 2, где они обозначены индексом соответствующей зависимости.

Начальные условия для простоты расчетов принимаем нулевыми.

Данную систему смоделируем осциллятором и применим рассмотренную ранее методику расчета ударного спектра для каждого типа возбуждения  $a_1(t)$ ,  $a_2(t)$ ,  $a_3(t)$  и  $a_4(t)$ .

Так, при первом воздействии  $a_1(t)$  относительные перемещения и относительные скорости, учитывая (2) и (3), будут рассчитываться по формулам

$$x_1(t) = -\frac{245}{0,9987\omega} \times \int_0^t e^{-0,05\omega(t-\tau)} \sin(0,9987\omega(t-\tau)) \times \sin(314\tau) d\tau \quad (7)$$

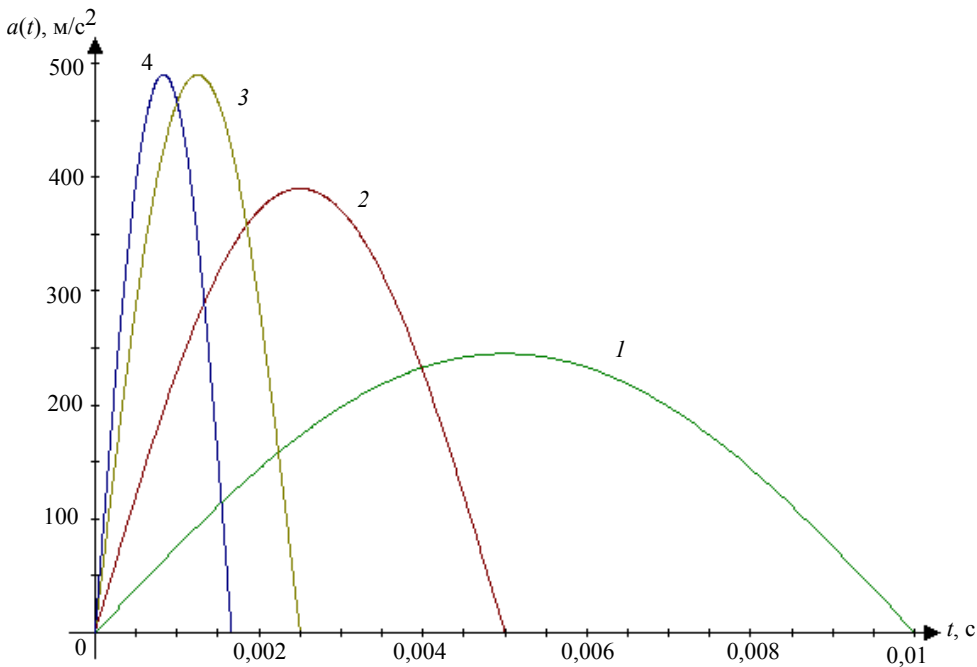


Рис. 2. Набор импульсных виброускорений

и

$$\begin{aligned} \dot{x}_1(t) = & -245 \times \\ & \times \int_0^t e^{-0,05\omega(t-\tau)} \left[ \cos(0,9987\omega(t-\tau)) - \right. \\ & \left. - 0,05 \cdot \sin(0,9987\omega(t-\tau)) \right] \times \\ & \times \sin(314\tau) d\tau, \end{aligned} \quad (8)$$

которые удобно вычислять в таких математических программных пакетах, как MathCAD, Matlab и др. Там же можно запрограммировать предложенную процедуру расчета и выбора максимальных значений абсолютных ускорений системы в зависимости от частоты.

Более подробно рассмотрим нахождение перегрузки при собственной частоте  $f = 100$  Гц. В этом случае  $\omega = 628$  рад/с и  $\xi = 0,05$ . Множество всех возможных относительных перемещений  $x_1(t)$ , определяемых соотношением (7), графически представляет собой затухающие периодические колебания с переходным процессом на первом периоде (рис. 3). Нас интересует лишь значения  $x_1(t)$  на временной области, когда

действуют виброускорения, то есть на полупериоде  $t \in [0; 0,01]$ . На остальной области нагрузка нулевая. Наибольшее по абсолютной величине значение относительных перемещений составляет  $x_{\max}^1 = 0,001$  м при частоте  $f = 100$  Гц.

Далее из соотношения (8) находим относительную скорость, изображенную на рис. 4. Отметим, что в данном случае характер колебаний аналогичен относительным перемещениям, однако переходный процесс длится в два раза дольше. Наибольшее по абсолютной величине значение относительной скорости равно  $\dot{x}_{\max}^1 = 0,447$  м/с.

Отсюда, для полученных величин  $x_{\max}^1$  и  $\dot{x}_{\max}^1$  по формуле (6) вычисляем максимальную перегрузку  $\ddot{x}_{\max}^1 = 43,1 g$ .

Графики ударных спектров для каждого из четырех типов возбуждения представлены на рис. 5, где кривая 1 соответствует импульсу  $a_1(t)$ , кривая 2 – импульсу  $a_2(t)$ , 3 –  $a_3(t)$  и 4 –  $a_4(t)$ .

В качестве результирующего ударного спектра используют огибающую совокупности четырех спектров (рис. 6).

Если необходимо преобразовать в ударный спектр единичный временной сигнал, например, зависимость

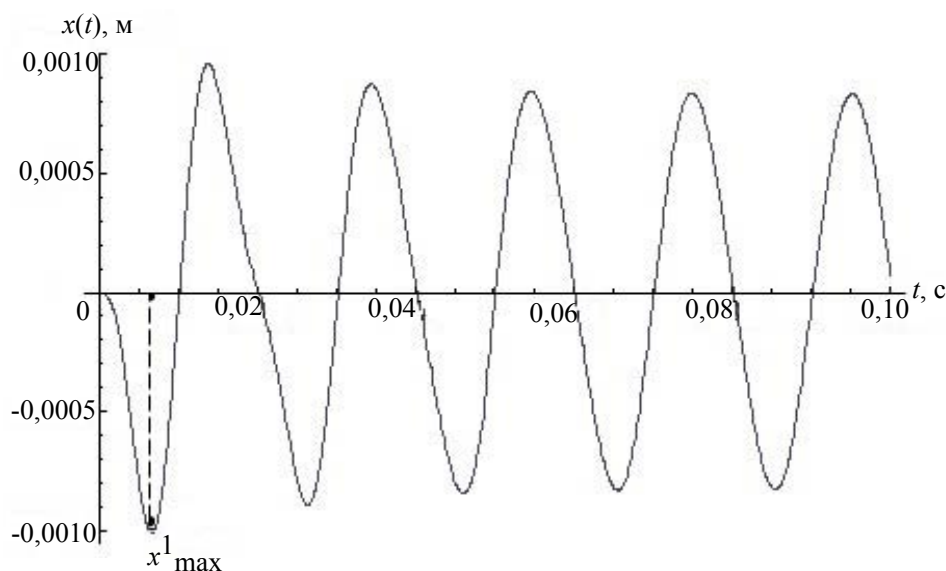


Рис. 3. График относительных перемещений осциллятора под действием виброускорений  $a_1(t)$  и частоте 100 Гц



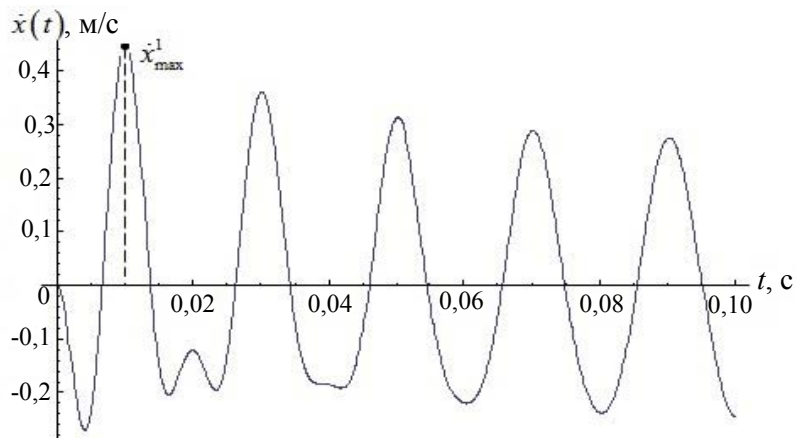


Рис. 4. График относительных скоростей осциллятора под воздействием  $a_1(t)$  и частоте 100 Гц

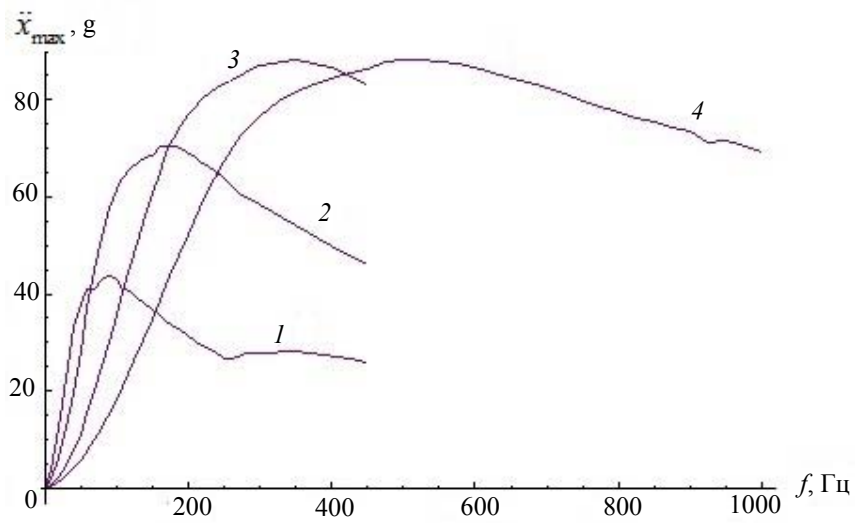


Рис. 5. Ударный спектр системы для полусинусоидальных импульсов

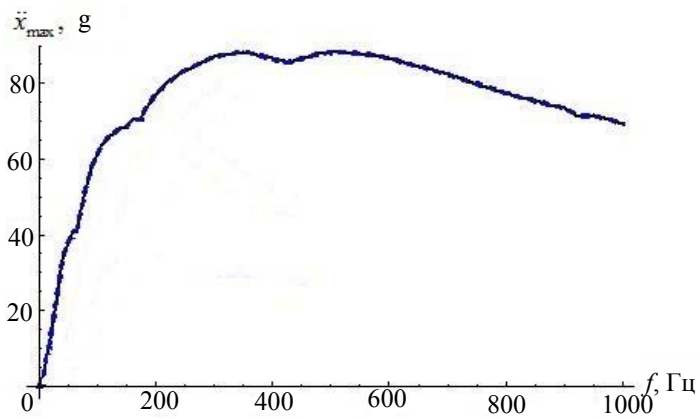


Рис. 6. Огибающая ударного спектра

$\alpha_1(t)$ , тогда результатом расчетов можно считать график ударного спектра 1 (см. рис. 5).

На практике при динамических испытаниях оборудования параметры нагружения можно подбирать, учитывая полученный в результате расчетов спектр, например, кривую 1 на рис. 5. Если спектр от одиночного воздействия не покрывает заданный, то необходимо ввести дополнительные импульсы с разной амплитудой и длительностью, как продемонстрировано в вышеприведенном примере, рассчитать для каждого сигнала ударные спектры и построить их огибающую.

Требуемый для испытательного оборудования спектр представлен на рис. 7.

Задать необходимый спектр в процессе испытаний удобно точно, в виде таблицы результатов расчетов приведенной методикой. Если шаг по частоте не имеет большого значения, то используются координаты точек пересечения ближайших спектров (см. рис. 6). Тогда в первом приближении ударный спектр становится графиком  $A(f)$  кусочно-линейной функции (см. рис. 7) и задается испытательному оборудованию в виде набора точек. В рассматриваемом примере набор точек  $\{(A_i, f_i), i = 1, \dots, 4\}$ ,

определяющий ударный спектр, будет иметь вид  $\{(A_i, f_i)\} = \{(65, 7; 41, 7), (175; 71), (420; 86), (1000; 69, 5)\}$ . Пример использования таких мультилинейных спектров продемонстрирован в работе [9]. Для верификации методики полученные результаты сравнивались с расчетами ударных спектров отклика динамических систем под действием аналогичных импульсных полусинусоидальных воздействий, изложенных в работах [7] и [10]. В первой из них расчеты модельной динамической системы проводились на основании преобразования Лапласа. Во второй статье использовалось преобразование Фурье в задаче об исследовании ударных спектров масс горных пород при сейсмической активности. Качественно графики ударных спектров совпали.

Методика, предложенная в статье, может стать частью предварительной подготовки к испытаниям электронного оборудования на устойчивость к импульсной ударной нагрузке для прогнозирования результатов физических экспериментов. В случае невозможности испытаний прибора по каким-либо причинам, например, его высокая стоимость, приведенная методика позволит оценить реакцию оборудования

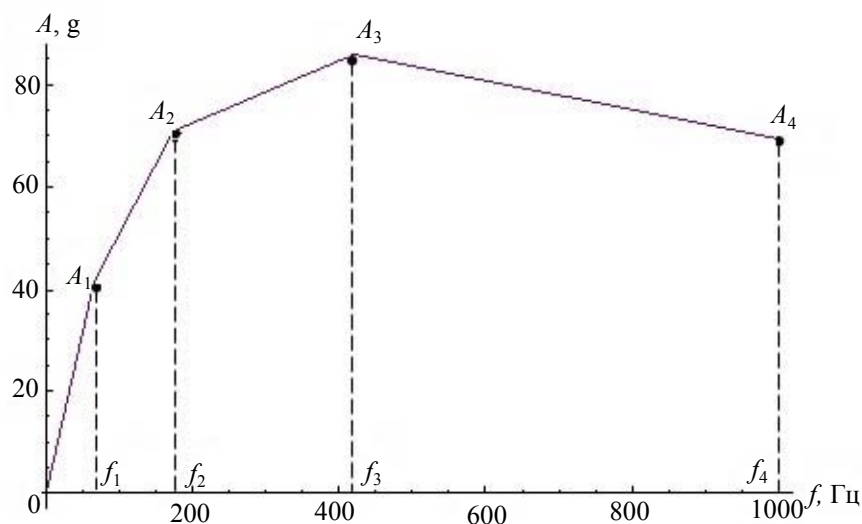


Рис. 7. Требуемый ударный спектр

на удары в процессе его эксплуатации. Применение рассмотренной методики существенно повысит срок службы прибора и защитит его от непредвиденных поломок.

В работе приведен алгоритм расчета ударного спектра отклика системы, подверженной непрерывной нагрузке, зависящей от времени. Методика основана на решении уравнения движения системы посредством интеграла Дюамеля, который в случае аналитического задания внешнего воздействия можно вычислить достаточно точно с помощью прикладных пакетов. Предложенная процедура проиллюстрирована на примере нахождения ударного спектра оборудования с заданной добротностью,

подверженного воздействию четырех полусинусоидальных ударных импульсов. Отметим, что алгоритм расчета применим для изучения отклика приборов при любых непрерывных временных сигналах.

Предложенный аналитический метод определения реакции системы от импульсных нагрузок позволит определить надежность функционирования и повысить стойкость к ударным воздействиям разрабатываемых электронных приборов. Кроме того, методика применима для регулярного контроля отклика уже эксплуатируемого оборудования на возможные аварийные ситуации, связанные с быстропротекающими процессами. ■

#### Литература

1. ГОСТ 53190–2008. Методы испытаний на стойкость к механическим внешним воздействующим факторам машин, приборов и других технических изделий. Испытания на удар с воспроизведением ударного спектра. М. : Стандартинформ, 2010. 33 с.
2. Харрис С.М., Крид Ч.И. Справочник по ударным нагрузкам. Л. : Судостроение, 1980. 360 с.
3. Субботин С.Г., Мельникова А.Ю. Спектральные характеристики для сравнения и идентификации ударных нагружений // Заводская лаборатория. Диагностика материалов, 2009. № 12(75). С. 53–56. ISSN 1028-6861.
4. Каразин В.И., Колесников С.В., Литвинов С.Д., Суханов А.А., Хлебосолов И.О. Особенности моделирования и воспроизведения виброударных воздействий // Теория механизмов и машин. 2013. № 2(11). С. 55–64. ISSN 0236-3941.
5. Крупенин В.Л. Прогнозирование режимов движения виброударных систем // XVII Международн. симпозиум «Динамика виброударных (сильно нелинейных) систем» : сб. тр. – М. : ИМАШ РАН, 2015. С. 140–148. ISBN 978-5-9042-8202-8.
6. Карпушин В.Б. Вибрации и удары в радиоаппаратуре. М. : Изд-во «Советское радио», 1971. 344 с.
7. Tuma J., Babiuch M., Koci P. Calculation of a Shock Response Spectra // Acta Montanistica Slovaca, 2011. № 1(16). Pp 66–73. ISSN 1335-1788.
8. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. М. : Наука, 1970. 720 с.
9. J. Edward Alexander. Shock Response Spectrum – A Primer // J. Sound and Vibration, June 2009. Pp 6–14. ISSN 002-460X.
10. E. Balmes. Methods for vibration design and validation. Course notes ENSAM/Ecole Centrale Paris, 1997–2012. 190 p. URL: <http://www.sdtools.com/pdf/PolyId.pdf> (дата обращения: 20.03.2016).

#### References

1. GOST 53190–2008. Test methods for resistance to mechanical external effects of machines, instruments, and other industrial products. Shock tests with shock spectrum reproduction. M. : Standartinform, 2010. 33 s.
2. Harris S.M., Creed Ch.I. Spravochnik po udarnym nagruzkam [Shock and vibration handbook]. L. : Sudostroyeniye, 1980. 360 s.
3. Subbotin S.G., Melnikova A. Yu. Spektralnye kharakteristiki dlya sravneniya i identifikatsii udarnykh nagruzheny [Spectral characteristics for comparison and identification of shock

- loading] // Zavodskaya laboratoria. Diagnostika materialov, 2009. № 12(75). S. 53–56. ISSN 1028-6861.
4. Karazin V. I., Kolesnikov S. V., Litvinov S. D., Sukhanov A. A., Khlebosolov I. O. Osobennosti modelirovaniya i vosproizvedeniya vibroudarnykh vozdeystvy [Features of simulation and reproduction of vibratory impact actions] // Teoriya mekhanizmov i mashin. 2013. № 2(11). S. 55–64. ISSN 0236-3941.
  5. Krupenin V. L. Prognozirovaniye rezhimov dvizheniya vibroudarnykh system [Prediction of movement modes of vibratory impact systems] // XVII Mezhdunar. simpozium «Dinamika vibroudarnykh (silno nelineynykh) system» : sb. tr. – M. : IMASH RAN, 2015. S. 140–148. ISBN 978-5-9042-8202-8.
  6. Karpushin V. B. Vibratsii i udary v radioappature [Vibrations and shocks in radio equipment]. M. : Izd-vo Sovetskoye Radio, 1971. 344 s.
  7. Tuma J., Babiuch M., Koci P. Calculation of a Shock Response Spectra // Acta Montanistica Slovaca, 2011. № 1(16). Pp 66–73. ISSN 1335-1788.
  8. Korn G., Korn T. Spravochnik po matematike dlya nauchnykh rabotnikov i inzhenerov [Mathematics Reference Book for Scientists and Engineers]. M. : Nauka, 1970. 720 s.
  9. J. Edward Alexander. Shock Response Spectrum – A Primer // J. Sound and Vibration, June 2009. Pp. 6–14. ISSN 002-460X.
  10. E. Balmes. Methods for vibration design and validation. Course notes ENSAM/Ecole Centrale Paris, 1997–2012. 190 p. URL: <http://www.sdtools.com/pdf/PolyId.pdf> (inquiry date: 20.03.2016).

*Статья сдана в редакцию 15 апреля 2016 года*

*Ю. М. Кравченко, М. М. Мыльников*

## Оценка стабильности криволинейных участков пути в программном комплексе Pathcurve

UDC 625.04:004.942

*Yu.M. Kravchenko, M.M. Mylnikov*

## Evaluation of stability of curved track sections using Pathcurve Software System

### Аннотация

В рамках настоящей работы подготовлена теоретическая основа, позволяющая математически описать поведение рельсошпальной решетки под воздействием нагрузок от подвижного состава при различных условиях эксплуатации, численно оценить возможное изменение планового положения пути на конкретном участке, предоставить рекомендации по предупреждению развития неисправностей рельсовой колеи.

В ходе разработки программы проанализирован действующий нормативный аппарат, используемый ОАО «РЖД».

Подпрограммные процессы, необходимые для полноценного функционирования программы, разбиты на группы и составляют отдельные модули («Ввод данных», «Расчет», «Вывод результатов»).

Подготовлена физико-математическая модель поведения рельсошпальной решетки, которая позволяет определить сдвигающую силу от колес подвижного состава и удерживающую силу балласта, поперечные температурные силы, влияющие на устойчивость рельсовой колеи бесстыкового пути, величины мгновенной и остаточной сдвижек (рихтовок) пути.

Графическая оболочка программы позволяет визуализировать процессы расчета с использованием удобного интерфейса и получением результатов расчетов в наглядной интерактивной форме.

**Ключевые слова:** криволинейные участки пути, оценка стабильности рельсовой колеи, силовое взаимодействие колеса и рельса, поперечная сдвижка пути, неисправности рельсовой колеи, стабилизирующие устройства.

DOI:10.20291/2079-0392-2016-2-19-28

### Summary

As part of this work we have prepared theoretical basis that allows to mathematically describe the behavior of track panels under load from rolling stock under different operating conditions, to numerically estimate the possible change in the planned position of the path at a specific site, to provide recommendations concerning prevention of development of track malfunctions.

Program development process included analysis of applicable regulatory instruments used by Russian Railways JSC.

Subroutine processes required for proper operation of the program are divided into groups and form separate modules («Data Input», «Computation», «Post-run Output»).

Physical and mathematical model of track panel behavior, which allows to determine shearing force of rolling wheels and holding force of ballast, transverse thermal powers affecting stability of the continuous welded railroad track, instantaneous and residual track alignment, is prepared.

Graphic program shell helps visualise the calculation processes using user-friendly interface and obtaining the results of calculations in an interactive visual form.

**Keywords:** curved track sections, evaluation of track stability, wheel and rail interference, transverse shifting of track, track malfunctions, stabilising devices.

DOI:10.20291/2079-0392-2016-2-19-28

**Юрий Михайлович Кравченко**, старший преподаватель; кафедра «Путь и железнодорожное строительство» Уральского государственного университета путей сообщения; Екатеринбург, Россия. E-mail: kravchenko2003@list.ru.

**Максим Михайлович Мыльников**, студент; кафедра «Путь и железнодорожное строительство» Уральского государственного университета путей сообщения; Екатеринбург, Россия. E-mail: maxicorp@yandex.ru.

**Yury Mikhaylovich Kravchenko**, Senior Lecturer; Railway Construction and Railway Track Department, Ural State University of Railway Transport; Ekaterinburg, Russia. E-mail: kravchenko2003@list.ru.

**Maksim Mikhaylovich Mylnikov**, Student; Railway Construction and Railway Track Department, Ural State University of Railway Transport; Ekaterinburg, Russia. E-mail: maxicorp@yandex.ru.

Криволинейные участки железнодорожного пути под влиянием различных факторов изменяют плановое положение относительно заданного проектом, поэтому они нуждаются в дополнительных мероприятиях по их стабилизации.

Для оценки стабильности криволинейных участков пути и последующей выдачи рекомендаций по предупреждению развития неисправностей рельсовой колеи авторами разработан программный комплекс (ПК) Pathcurve\*.

Его основная задача – оценка потенциально опасных сечений, в которых возможны изменения положения рельсошпальной решетки (РШР) в плане. Некоторые аспекты, затрагиваемые в ПК Pathcurve на стадии разработки, изложены в [1]. Принципиальная схема работы ПК Pathcurve представлена на рис. 1.

Программный комплекс состоит из блоков, рассчитывающих модели пути одиночным или множественным методом отдельными (специальными) подпрограммами. Одиночный метод

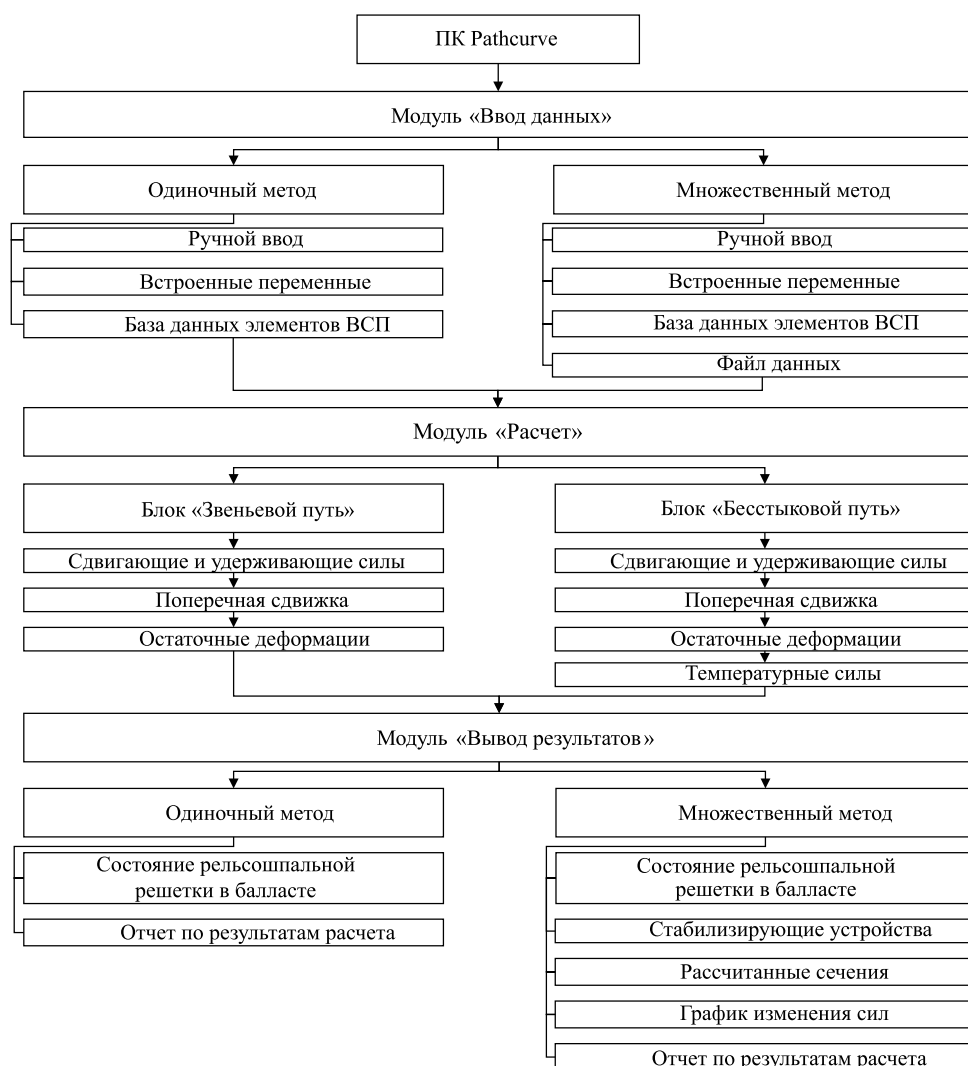


Рис. 1. Принципиальная схема работы ПК Pathcurve

\* Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016615288 / 19 мая 2016.



предполагает расчет элементарного участка, на который влияет отдельно взятая колесная пара в предполагаемом потенциально опасном сечении шпалы. Этот метод удобен, когда пользователю необходимо проанализировать рассматриваемое сечение для предотвращения возможного развития неисправностей планового положения РПП. Множественный метод заимствует данные силового взаимодействия из результатов промежуточного моделирования участка пути такими программными комплексами, как «Универсальный механизм», MSC ADAMS/Rail и др. Подготовка исходных данных для них учитывает реализуемые скорости движения, типы подвижного состава, макро- и микрогеометрические неровности рельсовой колеи по итогам прохода вагонов-путеизмерителей с шагом, достаточным для оценки стабильности рассматриваемого участка пути в целом, зависящим от технических характеристик последних, но не менее 20 см. Можно выделить четыре направления расчета: одиночный расчет элементарного участка звеньевого пути (ЗО); одиночный расчет элементарного участка бесстыкового пути (БО); множественный расчет участка звеньевого пути (ЗМ); множественный расчет участка бесстыкового пути (БМ).

Для всех расчетов обязательна подпрограмма «Расчет сдвигающих

и удерживающих сил», которая позволяет оценить стабильность состояния РПП, используя систему «колесо-рельс». Схема приложения сил в системе «колесо-рельс» применительно к отдельно взятой колесной паре представлена на рис. 2.

На рельсошпальную решетку действует сдвигающая горизонтальная сила от оси колесной пары экипажа, определяемая из выражения:

$$F_{sd\_bok} = F_{d\_bok} \cdot K_1 \times \cos(\alpha) + (F_{vert1} + F_{vert2}) \times K_2 \cdot \sin(\alpha), \text{ кН},$$

где  $F_{d\_bok}$  – горизонтальная результирующая осевая сила, кН;  $F_{vert1}$ ,  $F_{vert2}$  – вертикальная сила от левого и правого колеса колесной пары, кН;  $K_1$  – коэффициент перераспределения результирующей боковой силы от колесной пары экипажа в горизонтальной плоскости;  $K_2$  – коэффициент перераспределения вертикальной нагрузки от колесной пары экипажа между шпалами в вертикальной плоскости.

$$\alpha = \arcsin\left(\frac{h_{vozv}}{S}\right),$$

где  $h_{vozv}$  – возвышение рельса в кривой, м;  $S$  – расстояние между опорными точками колес колесной пары, м.

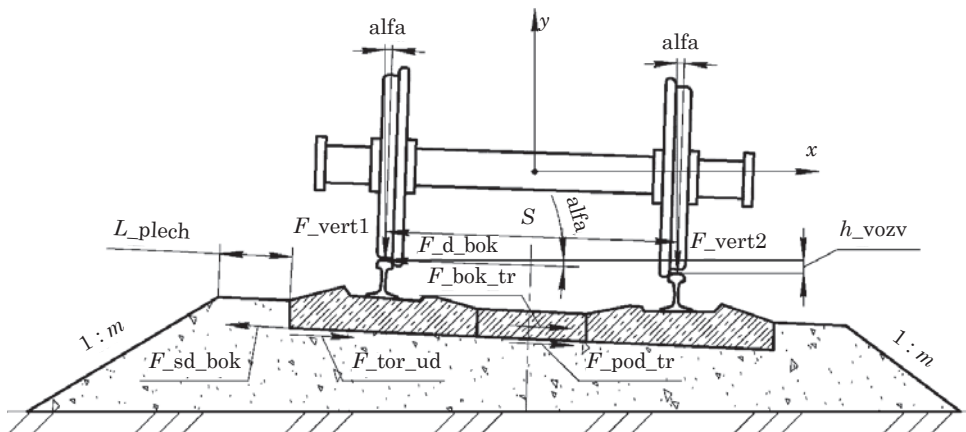


Рис. 2. Схема приложения сил в системе «колесо-рельс» применительно к отдельно взятой колесной паре

В рельсошпальной решетке, которая расположена в балластной призме, происходит перераспределение нагрузки от колесной пары экипажа между пятью шпалами [2].

Наиболее неблагоприятное нагружение будет в том случае, когда ось колесной пары будет совпадать с осью шпалы. В этом случае нагрузка от веса подвижного состава распределится между пятью соседними шпалами следующим образом. В вертикальной плоскости: на шпалу, находящуюся под осью колесной пары (расчетная), приходится  $0,4 F_{\text{vert}}$ ; на соседние с расчетной шпалой –  $0,23 F_{\text{vert}}$ ; на крайние шпалы (вторые по счету от расчетной) –  $0,07 F_{\text{vert}}$ . В горизонтальной плоскости:  $0,45 F_{\text{d\_bok}}$ ,  $0,21 F_{\text{d\_bok}}$  и  $0,065 F_{\text{d\_bok}}$  соответственно. В остальных случаях, когда ось колесной пары будет находиться между осями шпал, нагрузка распределится между соседними шпалами с меньшими коэффициентами. Такое распределение нагружения справедливо при работе пути в нормальных эксплуатационных условиях и зависит от значений вертикальной и боковой жесткости пути.

Условие, обеспечивающее устойчивость рельсошпальной решетки в поперечном направлении, можно описать следующим выражением:

$$F_{\text{sd\_bok}} \leq F_{\text{ud}}, \quad (2)$$

где  $F_{\text{sd\_bok}}$  – результирующая горизонтальная сдвигающая сила, кН;  $F_{\text{ud}}$  – результирующая удерживающая сила, кН.

При детализации силы неравенства (2) можно разложить на составляющие:

$$F_{\text{sd\_bok}} \leq F_{\text{pod\_tr}} + 2 \cdot F_{\text{bok\_tr}} + F_{\text{tor\_ud}}, \quad \text{кН}, \quad (3)$$

где  $F_{\text{pod\_tr}}$  – сила трения подошвы шпалы о балласт, кН;  $F_{\text{bok\_tr}}$  – сила трения боковой поверхности шпалы о балласт, кН;  $F_{\text{tor\_ud}}$  – сила торцевого сопротивления сдвигу рельсошпальной решетки в балласте, кН.

Сила трения подошвы шпалы о балласт:

$$F_{\text{pod\_tr}} = \mu_{\text{u\_1}} \cdot (R_{\text{rshr}} + (F_{\text{vert1}} + F_{\text{vert2}}) \cdot K_2) \times \cos(\alpha) - F_{\text{d\_bok}} \cdot \sin(\alpha), \quad \text{кН}, \quad (4)$$

где  $\mu_{\text{u\_1}}$  – коэффициент трения шпалы о балласт;  $R_{\text{rshr}}$  – вес рельсошпальной решетки, приходящийся на одну шпалу, кН.

Вес рельсошпальной решетки:

$$R_{\text{rshr}} = g \cdot (m_{\text{sh}} + 2 \cdot m_{\text{sk}} + 2m_{\text{r}}), \quad \text{кН}, \quad (5)$$

где  $g$  – ускорение свободного падения,  $\text{м/с}^2$ ;  $m_{\text{sh}}$  – масса шпалы, кг;  $m_{\text{sk}}$  – масса промежуточных рельсовых скреплений, кг;  $m_{\text{r}}$  – масса рельса, которая приходится на одну шпалу, кг.

При расстоянии между осями шпал  $r$ :

$$2m_{\text{r}} = 2 \cdot r \cdot m_{\text{r}}, \quad \text{кг}.$$

Согласно теории предельного равновесия сыпучей среды, предлагается адаптировать зависимость активного давления, оказываемого балластом на боковые поверхности шпал. Тогда классическая теория давления грунта дает точное решение для определения силы трения боковой поверхности шпалы о балласт:

$$F_{\text{bok\_tr}} = 0,5 \cdot \mu_{\text{u\_1}} \cdot S_{\text{bok}} \times k_{\text{b}} \cdot \gamma_{\text{bal}} \cdot h_{\text{sh}}, \quad \text{кН}, \quad (6)$$

где  $0,5$  – коэффициент, учитывающий эпюру бокового давления на шпалу;  $S_{\text{bok}}$  – площадь боковой поверхности шпалы,  $\text{м}^2$ ;  $k_{\text{b}}$  – коэффициент бокового давления, зависящий от загрязненности балласта,  $0-8$ ;  $\gamma_{\text{bal}}$  – удельный вес балласта,  $\text{Н/м}^3$ ;  $h_{\text{sh}}$  – высота засышки шпалы балластом, м.

Выражение (6) справедливо только для силы трения одной боковой поверхности шпалы о балласт, поэтому для получения полной композиции необходимо его удвоить.

Сила торцевого сопротивления сдвигу от плеча балластной призмы  $F_{\text{bok\_tr}}$  рельсошпальной решетки в балласте:

$$F_{\text{tor\_ud}} = F_{\text{pr}} + F_{\text{tr}}, \text{ кН}, \quad (7)$$

где  $F_{\text{pr}}$  – сила сопротивления от перемещения торцом шпалы плеча балластной призмы, кН;  $F_{\text{tr}}$  – сила сопротивления от трения балласта при перемещении плеча вверх под углом  $\alpha$ , кН.

Сила сопротивления от перемещения торцом шпалы плеча балластной призмы  $F_{\text{pr}}$  определится следующей зависимостью:

$$\begin{aligned} F_{\text{pr}} &= G_{\text{pr}} \cdot \mu_{\text{u}_2} \cdot \cos(\alpha) = \\ &= q_{\text{pr}} \cdot g \cdot r_{\text{o\_bal}} \cdot \mu_{\text{u}_2} \times \\ &\times \cos(\alpha), \text{ кН}, \end{aligned} \quad (8)$$

где  $\mu_{\text{u}_2}$  – коэффициент трения балласта о балласт.

Объем балласта в призме волочения  $q_{\text{pr}}$ , зависящий от величины плеча балластной призмы и рода балласта:

$$q_{\text{pr}} = S_{\text{pr}} \cdot B_{\text{shp}} / K_r, \text{ м}^3, \quad (9)$$

где  $K_r$  – коэффициент разрыхления балласта в призме волочения;  $B_{\text{shp}}$  – ширина шпалы в средней ее части, м;  $S_{\text{pr}}$  – площадь поперечного сечения призмы,  $\text{м}^2$ .

Тогда площадь поперечного сечения призмы у торца шпалы в нормальном рабочем состоянии системы «рельсошпальная решетка – балластная призма» будет равна площади трапеции:

$$\begin{aligned} S_{\text{pr}} &= \frac{(L_{\text{plecha}} + L_{\text{plecha}} + m \cdot H_{\text{pr}}) \cdot H_{\text{pr}}}{2} = \\ &= \frac{(2 \cdot L_{\text{plecha}} + m \cdot H_{\text{pr}}) \cdot H_{\text{pr}}}{2} = \\ &= L_{\text{plecha}} \cdot H_{\text{pr}} + 0,5 \cdot m \cdot H_{\text{pr}}^2, \text{ м}^2, \end{aligned} \quad (10)$$

где  $L_{\text{plecha}}$  – ширина плеча балластной призмы, м;  $H_{\text{pr}}$  – расстояние от верха балласта до нижней постели у торца шпалы, м;  $m$  – показатель заложения крутизны откоса балластной призмы.

При потере устойчивости рельсошпальной решетки в балластной призме или при капитальном ремонте пути, а также других прочих условиях, когда нет или не сформировано плечо балластной призмы, площадь поперечного сечения призмы у торца шпалы определится:

$$S_{\text{pr}} = \frac{L \cdot H_{\text{pr}}}{2} = \frac{H_{\text{pr}}^2}{2 \cdot \tan(\phi)}, \text{ м}^2, \quad (11)$$

где  $L$  – ширина балласта у торца шпалы в плоскости ее нижней постели, м;  $\phi$  – угол естественного откоса балласта, град.

Тогда для полноценного плеча балластной призмы:

$$q_{\text{pr}} = \frac{(L_{\text{plecha}} \cdot H_{\text{pr}} + 0,5 \cdot m \cdot H_{\text{pr}}^2) \cdot B_{\text{shp}}}{K_r},$$

а для несформированного плеча балластной призмы

$$q_{\text{pr}} = \frac{H_{\text{pr}}^2 \cdot B_{\text{shp}}}{2 \cdot \tan(\phi) \cdot K_r}.$$

Сила сопротивления от трения балласта при перемещении плеча вверх под углом  $\alpha$  определится следующим выражением:

$$\begin{aligned} F_{\text{tr}} &= G_{\text{pr}} \cdot \mu_{\text{u}_2} \times \\ &\times \cos^2(\alpha), \text{ кН}. \end{aligned} \quad (12)$$

Для направлений расчета 30 и 3М текущие расчеты предполагают наличие номинальной величины стыковых зазоров, принятых на всем протяжении расчетного участка звеньевых пути [3].

Блок-схема подпрограммы с основными расчетными формулами на машинно-ориентированном языке, используемом при кодировании настоящего ПК, представлена на рис. 3.

По окончании расчетов оценка стабильности РШР для блока «Звеньевой путь» считается завершенной. При расчете бесстыкового пути (направления расчета БО и БМ) производятся дополнительные вычисления в пределах подпрограммы «Расчет температурных сил», которая позволяет рассчитывать поперечные составляющие температурных сил, возникающих в криволинейных участках бесстыкового пути. Эти горизонтальные силы также влияют на устойчивость РШР в поперечном направлении.

Чтобы учесть продольные температурные силы, возникающие в прямых

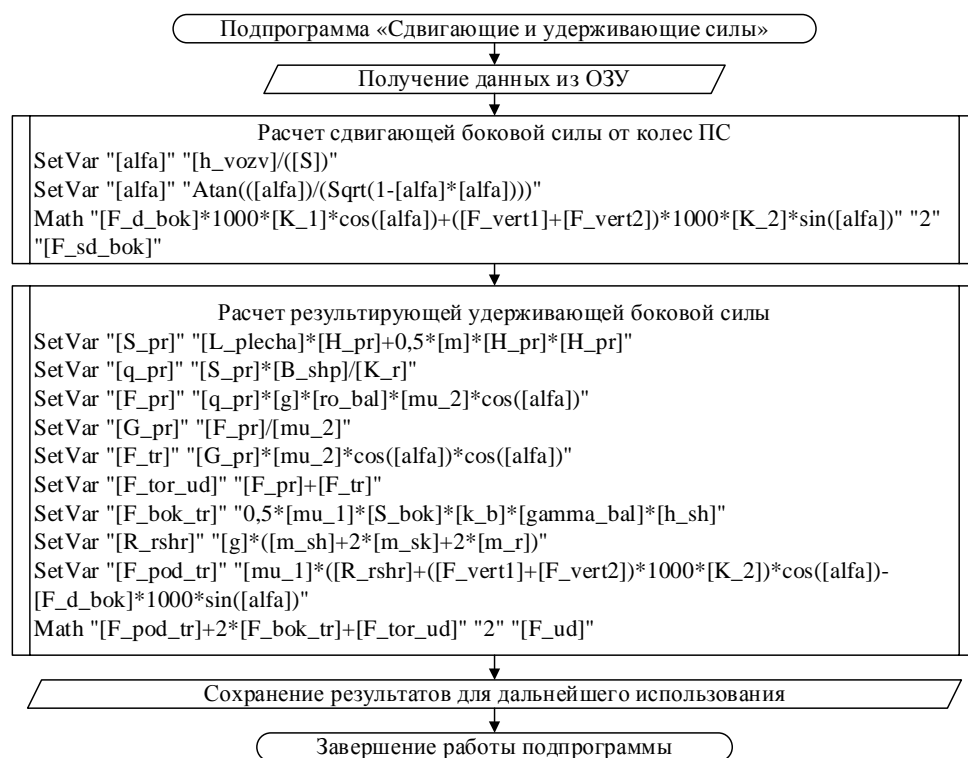


Рис. 3. Блок-схема подпрограммы «Расчет сдвигающих и удерживающих сил» с учетом [4]

участках бесстыкового пути в каждой рельсовой нити, воспользуемся зависимостью [5]:

$$N_t = \alpha \cdot E \cdot F_r \cdot \Delta t, \text{ кН}, \quad (13)$$

где  $\alpha$  – коэффициент линейного расширения рельсовой стали,  $0,0000118, \text{ град}^{-1}$ ;  $E$  – модуль упругости рельсовой стали,  $2,1 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ ;  $F_r$  – площадь поперечного сечения рельса,  $\text{см}^2$ ;  $\Delta t$  – величина изменения температуры рельса, град.

В кривых участках продольная температурная сила будет иметь поперечные составляющие, поэтому железнодорожный путь работает в состоянии возможной потери устойчивости. Схема определения поперечных сил в кривой, возникающих под действием продольной сжимающей температурной силы, представлена на рис. 4.

Для нахождения радиальной составляющей температурной силы выделим элементарный участок, соответ-

ствующий одной шпале. Необходимым и достаточным условием элементарного участка будет зона силового восприятия, приходящаяся на эту шпалу. В расчете приняты следующие допущения: сечение рельса – постоянное, радиус кривой – постоянный на всем протяжении.

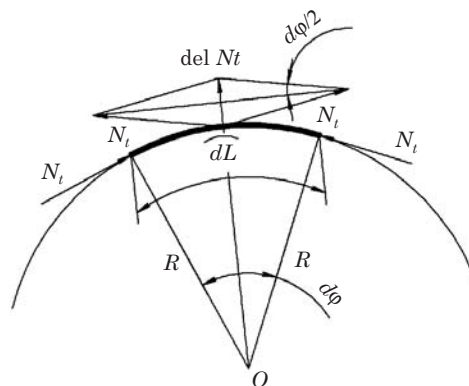


Рис. 4. Расчетная схема определения температурных сил

Горизонтальная составляющая температурных сил  $\text{del\_}Nt$  на каждом элементарном участке  $dL$ :

$$\text{del\_}Nt = N_t \cdot \sin \frac{d\varphi}{2}, \text{ кН}, \quad (14)$$

где  $N_t$  – продольная температурная сила, кН;  $d\varphi$  – угол поворота на элементарном участке  $dL$ .

После подстановки постоянных величин и уравнения (13) в (14) выражение приобретает вид

$$\begin{aligned} \text{del\_}Nt &= \alpha \cdot E \cdot F_r \times \\ &\times \Delta t \cdot \sin \frac{T_l}{2 \cdot R} \Rightarrow \text{del\_}Nt = \\ &= 0,248 \cdot F_r \cdot (2 \cdot T_{tf} - \\ &- T_{tz1} - T_{tz2}) \cdot \sin \frac{T_l}{2 \cdot R}, \text{ кН}, \end{aligned} \quad (15)$$

где  $R$  – радиус кривой, м;  $T_{tf}$  – фактическая температура рельсов, град;  $T_{tz1}$ ,  $T_{tz2}$  – температуры закрепления рельсов, град;  $T_l$  – длина элементарного участка, м;

$$T_l = \frac{1000}{\text{epura}}, \text{ м},$$

где  $\text{epura}$  – эпюра шпал, шт./км.

На рис. 5 приведена блок-схема подпрограммы «Расчет температурных сил».

После того как расчеты по определению сдвигающих  $F_{sd\_bok}$ , удержи-

вающих  $F_{ud}$  и температурных  $\text{del\_}Nt$  сил будут завершены, модуль «Расчет» перейдет в режим проверки условия устойчивости РШР в балласте:

$$F_{sd\_bok} \pm \text{del\_}Nt < F_{ud}, \quad (17)$$

Если текущее условие выполняется, то модуль «Расчет» прекращает свою работу. В противном случае активируется подпрограмма «Поперечная сдвижка», предназначенная для определения мгновенных перемещений рельсошпальной решетки  $X_{mgn\_ft}$ , мм, при прохождении подвижного состава по кривым участкам пути. Расчет описывается теоремой об изменении количества движения при условии, что ось шпалы в нижней ее постели при совпадении осей колесной пары и шпалы в момент прохождения подвижного состава в рассматриваемом элементарном сечении принята за материальную точку. Количество движения материальной точки характеризуется деформацией РШР в плане и в профиле, вызванной воздействием импульса силы, который возникает от действия результирующей силы  $s\_delF$ , кН, представляющей собой алгебраическую разность сдвигающей  $F_{sd\_bok}$ , кН и удерживающей  $F_{ud}$ , кН, сил (в случае расчета бесстыкового пути в сдвигающей силе  $F_{sd\_bok}$ , кН, учитывается наличие температурной силы  $\text{del\_}Nt$ , кН); временем воздействия  $t$ , с, колесной пары подвижного состава



Рис. 5. Блок-схема подпрограммы «Расчет температурных сил»

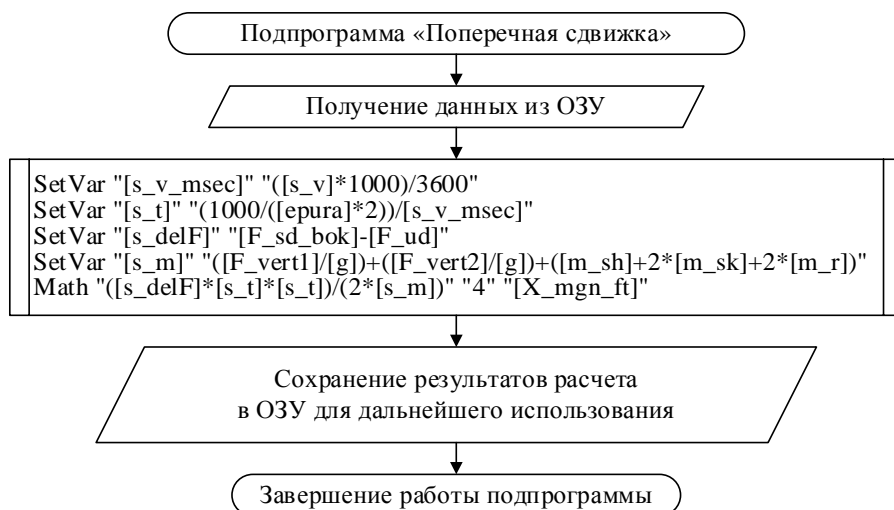


Рис. 6. Блок-схема подпрограммы «Поперечная сдвигка»

на элементарный участок, ограниченный одной шпалой; приведенной массой  $m$ , кг, осевой нагрузки подвижного состава и РШР на элементарном участке. Блок-схема текущей подпрограммы представлена на рис. 6.

После выполнения подпрограммы «Поперечная сдвигка» активируется подпрограмма «Остаточные деформации», благодаря которой пользователь может получить остаточные перемещения РШР, т.е. величину фактической сдвигки в поперечном направлении при прохождении подвижного состава по участку пути.

База расчета настоящей подпрограммы – гипотеза винклеровского основа-

ния. Величина фактической сдвигки пути, т.е. остаточных перемещений РШР  $S_{ost\_ft}$ , мм, зависит прямо пропорционально от полученных в предыдущих расчетах мгновенных перемещений РШР  $X_{mgn\_ft}$ , мм, приращения сдвигающей и удерживающей сил  $s_{delF}$ , Н, коэффициента постели плеча балластной призмы в горизонтальной плоскости  $k_{ft}$ , Н/м<sup>3</sup>, ширины подошвы торца шпалы  $b_{ft}$ , м, высоты торца шпалы  $h_{ft}$ , м, и находится в обратно пропорциональной зависимости от площади торца шпалы  $A_{ft}$ , м<sup>2</sup>, и модуля общей деформации балластной призмы в горизонтальной плоскости  $E_{ft}$ , Па (рис. 7).



Рис. 7. Блок-схема подпрограммы «Фактическая сдвигка»



Модуль «Вывод результатов» оснащен подпрограммой «Стабилизирующие устройства». Настоящая подпрограмма имеет рекомендательный характер и позволяет в случае обнаружения потенциально опасных сечений криволинейных участков пути порекомендовать пользователю меры по устранению последних посредством применения «Стабилизирующих устройств» [6], эффективность которых доказана в результате экспериментальных исследований. Детали проведения натурного эксперимента представлены в [7].

Разработанный программный комплекс решает поставленную задачу в полной мере и имеет потенциал для дальнейшего развития. Использование настоящего продукта на предприятиях железнодорожной отрасли является перспективным направлением в области стабилизации криволинейных

участков пути и предупреждения неисправностей пути, связанных с изменением положения рельсошпальной решетки в плане.

ПК Pathcurve позволяет: 1) оценить стабильность криволинейного участка звеньевое или бесстыкового пути при различных эксплуатационных условиях; 2) определить потенциально опасные сечения с численным значением возможного фактического поперечного перемещения на рассматриваемом участке пути; 3) получить рекомендации по устранению потенциально опасных участков за счет применения инновационных разработок в сфере железнодорожного транспорта.

Применение настоящего ПК позволит повысить безопасность железнодорожных перевозок и снизить стоимость текущего содержания пути, предупреждая развитие неисправностей. ■

#### Литература

1. Мыльников М.М. Разработка программного комплекса моделирования поведения криволинейных участков пути в зависимости от эксплуатационных условий // Перспектива : сб. науч. тр. / [под науч. ред. С.В. Бушуева, канд. техн. наук]. – Екатеринбург : УрГУПС, 2015. – Вып. 5 (210). – С. 115–134.
2. Профиллидис В. Исследование поведения шпал в пути // Железные дороги мира. 2001. № 7. С. 57–63. ISSN 0321-1495.
3. ЦП-774. Инструкция по текущему содержанию железнодорожного пути, утвержденная распоряжением ОАО «РЖД» от 21.12.2012 № 2791р. М., 2012. 54 с.
4. ГОСТ 19.701–90. Единая система программной документации. Схемы алгоритмов, программ, данных и систем. Обозначения условные и правила выполнения. М. : Стандартинформ, 2010. 25 с.
5. Инструкция по устройству, укладке, содержанию и ремонту бесстыкового пути, утвержденной ОАО «РЖД» распоряжением №2788р от 18.12.2012 г. М., 2012. 137 с.
6. Устройство для повышения поперечной устойчивости рельсошпальной решетки в балласте (варианты) : пат. 2339756 Рос. Федерации.
7. Кравченко Ю.М. Исследование поперечной устойчивости пути в кривых // Путь и путевое хозяйство. 2009. №8, С. 13–15. ISSN 0033-4715.

#### References

1. Mylnikov M.M. Razrabotka programmnoho kompleksa modelirovaniya povedeniya krivolineynykh uchastkov puti v zavisimosti ot ekspluatatsionnykh uslovy [Development of software system for modelling the behavior of curved paths depending on operating conditions] // Perspektiva: sb. nauch. tr. / [pod nauch. red. S.V. Bushuyeva, kand. tekhn. nauk]. – Ekaterinburg : UrGUPS, 2015. – Vyp. 5 (210). – S. 115–134.
2. Profillidis V. Issledovanie povedeniya shpal v puti [Research of sleepers under way] // Zheleznye dorogi mira. 2001. № 7. S. 57–63. ISSN 0321-1495.
3. TsP-774. Instructions for current maintenance of railway track, approved by the order of Russian Railways JSC dated 21.12.2012 № 2791r. M., 2012. 54 s.

4. GOST 19.701–90. Unified software documentation system. Diagrams of algorithms, programs, data and systems. Symbols and execution rules. M. : Standartinform, 2010. 25 s.
5. Guidelines for arrangement, track laying, maintenance and repair of jointless track, approved by decree of Russian Railways JSC № 2788r on 18.12.2012, M., 2012. 137 s.
6. Device intended for enhancing transverse stability of rail and sleeper grating in the ballast (options): Pat. 2339756 of Rus. Federation.
7. Kravchenko Yu.M. Issledovaniye poperechnoy ustoychivosti puti v krivyykh [Analysis of transverse stability of track in curves] // Put i putevoye khozyaystvo. 2009, № 8. S. 13–15. ISSN 0033-4715.

*Статья сдана в редакцию 13 апреля 2016 года*

# Механика машин и роботов

УДК 656.21.001.2

*Х. Т. Туранов, А. А. Гордиенко, И. С. Плехотич*

## Исследование движения вагона на парковой механизированной тормозной позиции сортировочной горки при воздействии попутного ветра

UDC 656.21.001.2

*Kh. T. Turanov, A. A. Gordiyenko, I. S. Plakhotich*

## Study of car movement on braking position of the hump yard under the impact of fair wind

### Аннотация

Впервые приведены силовые соотношения, которые имеют место в системе «вагон-путь» на парковой механизированной тормозной позиции сортировочной горки при воздействии попутного ветра малой величины. Эти силовые соотношения включают в себя сдвигающие (т. е. проекции силы тяжести вагона с грузом и попутного ветра на направление движения вагона) и удерживающие силы. К удерживающим силам относятся: сила трения скольжения от проекции силы тяжести вагона с грузом на вертикальное направление; сила трения, возникающая между ободами колёсных пар

и сжатými тормозными шинами вагонного замедлителя; сила сопротивления движению вагона от среды, снега и инея; сила трения скольжения гребней колёс о боковые поверхности рельсовых нитей с учётом воздействия проекции попутного ветра на боковую сторону вагона. Полученные значения разности сдвигающей и удерживающей сил, массы вагона без учёта инерции вращающихся частей (колёсных пар) с использованием основного закона динамики тела с неидеальными связями (принцип Даламбера) позволяют вычислить ускорение вагона при движении на парковой механизированной тормозной позиции горки при

воздействии проекции попутного ветра с учётом сопротивления среды, снега и инея, а также одновременного воздействия проекции попутного ветра на боковую сторону вагона, сопротивления среды, снега и инея. Время торможения и скорость скольжения вагона относительно рельсовых нитей и тормозных шин вагонного замедлителя определяют по классической формуле пути и скорости при равнозамедленном движении тела. С использованием полученных данных впервые изложены результаты исследований движения вагона с ускорением на парковой механизированной тормозной позиции сортировочной горки.

**Хабибулла Туранович Туранов**, д-р техн. наук, профессор; кафедра «Станции, узлы и грузовая работа» Уральского государственного университета путей сообщения; Екатеринбург, Россия. E-mail: khturanov@yandex.ru.

**Андрей Александрович Гордиенко**, канд. техн. наук, ассистент; кафедра «Станции, узлы и грузовая работа» Уральского государственного университета путей сообщения; Екатеринбург, Россия. E-mail: gordiii89@yandex.ru.

**Плехотич Ирина Сергеевна**, старший преподаватель; кафедра «Станции, узлы и грузовая работа» Уральского государственного университета путей сообщения; Екатеринбург, Россия. E-mail: isfrolova@yandex.ru.

**Habibulla Turanovich Turanov**, DSc in Engineering, Professor; Stations, Junctions and Freight Operation Department, Ural State University of Railway Transport; Ekaterinburg, Russia. E-mail: khturanov@yandex.ru.

**Andrey Aleksandrovich Gordiyenko**, PhD in Engineering, Assistant; Stations, Junctions and Freight Operation Department, Ural State University of Railway Transport; Ekaterinburg, Russia. E-mail: gordiii89@yandex.ru.

**Irina Sergeyevna Plakhotich**, Senior Lecturer; Stations, Junctions and Freight Operation Department, Ural State University of Railway Transport; Ekaterinburg, Russia. E-mail: isfrolova@yandex.ru.

Построены графические зависимости скорости и пути торможения вагона от времени движения. С помощью объединенных графических зависимостей найдены рациональные значения времени, скорости скольжения и пути торможения вагона.

**Ключевые слова:** сортировочная горка, вагон, попутный ветер, парковая механизированная тормозная позиция, время, скорость и путь торможения вагона, движение вагона с ускорением, остановка вагона.

DOI:10.20291/2079-0392-2016-2-29-40

### Summary

For the first time relation of forces in the «car -to-track» system on park mechanical brake position of the hump yard under the impact of light fair wind is provided. This relation of forces includes shear (i.e. projection of force of gravity of a loaded car and fair wind in the direction of movement

of the car) and restraining forces. Restraining forces include: sliding friction force from the vertical projection of the gravity force of a loaded wagon; friction force arising between the rims of mounted wheels and compressed braking clubs; rollability resistance force caused by environment, snow and frost; friction force of wheel flanges against side surfaces of rail lines taking into account the impact of fair wind projection on the side of the car. Resulting values of difference between shear and restraining forces, the train car weight excluding inertia of rotating parts (wheel sets) using the basic law of dynamics for a body with non-ideal constraints (d'Alembert's principle) allow us to calculate the acceleration of the car when driving on a park mechanical brake position humps under the impact of fair wind projection considering environmental resistance, snow and frost, as

well as simultaneous impact of fair wind projection on the side of the car, environment resistance, snow and frost. Deceleration time and sliding speed of the wagon relative to rail lines and brake tires of the car retarder are worked out from a classical formula of path and speed of decelerated motion of the body. These data helped for the first time state the results of study of accelerated car movement on park mechanical brake position of marshalling hump. We have constructed curves for speed and path of braking movement of the car based on time of movement. Merged curves helped find rational values for time, sliding speed and braking path of a wagon.

**Keywords:** hump yard, car, fair wind, park braking position, time, speed and path of car braking action, accelerated wagon movement, wagon stopping.

DOI:10.20291/2079-0392-2016-2-29-40

Разработанные нами программы расчёта и проектирования профиля сортировочной горки по всей её длине при воздействии попутного ветра малой величины в [1–13] впервые применены в исследовании движения вагона на скоростных участках, участке первой тормозной позиции, промежуточном участке, второй тормозной позиции, стрелочной зоне и первом участке сортировочного пути. При этом сила аэродинамического сопротивления  $F_{\text{в}}$  принята зависящей только от площади наветренной поверхности вагона с грузом  $A_{\text{нав}}$ , где удельное давление на  $1 \text{ м}^2$  площади равно  $0,5 \text{ кН/м}^2$  [14, 15].

Однако до сих пор не исследованы движения вагона на участке парковой механизированной тормозной позиции (ЗТП горки) при воздействии попутного ветра малой величины с учётом

сопротивления среды и проекции ветра с боковой стороны вагона.

Для общего представления о движении вагона по всей длине сортировочной горки очень важны такие параметры движения на каждом её участке, как время и скорость скатывания, а на тормозных позициях – ещё и путь торможения. Поэтому результаты вычислительных экспериментов по расчёту времени, скорости и пути торможения вагона на участке ЗТП при воздействии попутного ветра малой величины представляют собой актуальную задачу.

Настоящая статья является продолжением серии статей по динамике скатывания вагона по уклону сортировочной горки [1–13, 16–19].

По заданной величине начальной скорости  $v_{0\text{ЗТ}}$  (которая известна по результатам разработанной нами программы расчёта и проектирования

предыдущих участков горки) и вычисленным значениям ускорения вагона  $a_{3т}$  следует привести пример расчёта времени  $t_{3т}$ , скорости  $v_{e3т}(t_{3т})$  и пути торможения вагона  $x_{3т}(t_{3т}) = l_{3т}$  на участке ЗТП горки. Полученные параметры движения вагона в последующем позволят более точно проектировать сортировочные горки.

Общий подход к решению задачи при движении вагона на участке ЗТП горки при воздействии попутного ветра аналогичен [8–11] и заключается в следующем.

1. Пусть вагон после промежуточного участка сортировочной горки входит на участок ЗТП горки с заданной начальной скоростью  $v_{03т}$ . При скатывании одиночного вагона на участок ЗТП горки считаем, что вагон будет испытывать воздействие внешних сил в виде силы тяжести вагона с грузом  $G$ , проекции силы аэродинамического сопротивления попутного ветра малой величины (например, юго-западного или северо-западного направления)  $F_{гв}$  по

продольной оси  $Ox$  и поперечной оси  $Oy$  в виде  $F_{гвх}$  и  $F_{гвy}$ , т. е.  $(\bar{F}_{гвх}, \bar{F}_{гвy}) \in \bar{F}_{гв}$ .

2. При формировании расчётной модели движения вагона на участке ЗТП горки с торможением допускаем, что при включении вагонного замедлителя появляется трение скольжения колесных пар вагона относительно поверхности катания рельсовых нитей  $F_{\tau} = F_{\tau.ск}$ , силы сопротивления всякого рода (среды, снега и инея)  $F_c$ , трения скольжения обода колёс о сжатые тормозные шины вагонного замедлителя  $F_{торм}$  и трения скольжения гребней колёс о боковую поверхность рельсовых нитей  $F_{трб}$  при учёте воздействия проекции попутного ветра на боковую сторону вагона  $F_{гвy} = F_{гвb}$ , т. е. в общем случае  $F_{тр.x} = F_{\tau} = F_{\tau.ск} + F_c + F_{торм}$  либо  $F_{тр.x} = F_{\tau.ск} + F_c + F_{торм} + F_{трб}$ .

Упрощённая расчётная модель движения вагона на участке ЗТП горки, согласно принципу освобождаемости от связей теоретической механики [20], представлена на рис. 1.

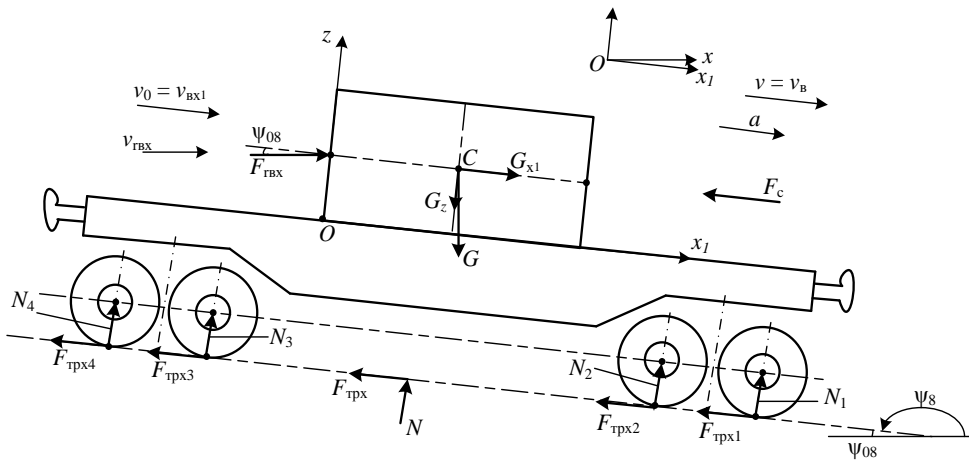


Рис. 1. Упрощённая расчётная модель движения вагона по профилю ЗТП при воздействии попутного ветра

$O$  – начала подвижной системы координат  $Ox_1, yz$ , жёстко связанной с вагоном;  $Ox$  – ось по горизонтали;  $\psi_{08}$  – угол уклона (спуска) участка ЗТП горки;  $v_{гвх}$  – относительная скорость воздуха;  $v_0 = v_{вх1} = v_{01т}$  – начальная скорость вагона;  $v_в$  – скорость вагона;  $G$  и  $G_{x1}$ ,  $G_z$  – сила тяжести вагона с грузом и её проекции на оси  $Ox_1$  и  $Oz$ ;  $F_c$  – сила сопротивления среды (среды, снега и инея);  $N$  и  $F_{тр.x}$  – нормальная и касательная составляющие реакции связей (рельсовых нитей). Причём  $N = N_1 + N_2 + N_3 + N_4$  и  $F_{тр.x} = F_{тр.x1} + F_{тр.x2} + F_{тр.x3} + F_{тр.x4}$  – как параллельные силы

Исследуем случай проектирования горочной горловины на 24 пути и горку повышенной и большой мощности, поскольку в программе расчёта и проектирования горки, разработанной нами, начальная скорость (скорость надвига) вагона, согласно таблице 4.6 [21], принята равной 1,7 м/с. Исходные данные задачи: угол уклона участка ЗТП горки –  $\psi_{08} = 1,5\%$ , или 0,0015 рад; длина участка ЗТП горки –  $l_{3т} = 14,5$  м [22]; масса вагона с грузом без учёта инерции вращающихся масс –  $M_0 = 8,094 \cdot 10^4$  (а с учётом инерции этих масс  $M = 9,256 \cdot 10^4$ ), кг; сила тяжести вагона с грузом без учёта инерции вращающихся масс  $G = 794$  кН (с учётом инерции этих масс  $G = 908$  кН); начальная скорость вагона (скорость входа вагона на участок ЗТП горки) с учётом только сопротивления среды  $F_c - v_{03т} = 6,05$  м/с, а при одновременном воздействии  $F_c$  и проекции ветра на боковую сторону вагона  $F_{гву}$ ,  $v_{03т1} = 4,715$  м/с.

Последовательность расчёта времени, скорости скольжения и пути торможения вагона на участке ЗТП при воздействии попутного ветра аналогично [8–11] опишем в следующем виде.

1. При проектировании сортировочной горки исходя из практики эксплуатации вагонных замедлителей время торможения  $t_{3т}$  принимают  $t_{3т} > t_{вк}$ , т.е. больше, чем время срабатывания вагонного замедлителя  $t_{вк}$ , например, для КЗ-3, КЗ-5, ВЗГП-5  $t_{вк} = 0,8$  с [23].

2. Находят проекции силы воздействия попутного ветра на вагон, направленного, например, с юго-запада по продольной  $Ox$  и поперечной  $Oy_1$  оси в виде (см. (1) [11]), кН:

$$F_{гвх} = 0,5A_t, F_{гвб} = 0,5A_6, \quad (1)$$

где 0,5 – удельное давление на 1 м<sup>2</sup> площади, кН/м<sup>2</sup> [14, 15];  $A_t$  и  $A_6$  – площади торцевых и боковых поверхностей вагона с грузом, м<sup>2</sup>.

Например, если  $A_t = 6,384$  и  $A_6 = 27,36$  м<sup>2</sup>, то  $F_{гвх} = 3,192$  и  $F_{гву} = 13,68$  кН.

3. Определяют силу трения скольжения  $F_{тр.ск}$  от проекции силы тяжести

вагона с грузом  $G_z$  на направление оси  $Oz$  (см. рис. 1) как касательную составляющую реакции связи (рельсовых нитей)  $F_\tau$  (см. (2) [11]):

$$F_{тр.ск} = f_{ск}(G \cos(\psi_{08}) + F_{гвх} \sin(\psi_{08})), \quad (2)$$

где  $F_{тр.ск} = F_\tau$  – касательная составляющая реакции связи (рельсовых нитей), которая по закону Кулона равна  $F_\tau = f_{ск}N = f_{ск}G_z = f_{ск}G \cos \psi_{08}$  с учётом того, что  $f_{ск}$  – коэффициент трения скольжения колёс о рельсовые нити («металл по металлу» –  $f_{ск} = 0,15–0,25$ , который зависит ещё и от погодных условий). Например, если  $f_{ск} = 0,15$ ,  $G = 794$  кН,  $\cos \psi_{08} = 1$ ,  $F_{гвх} = 3,192$  кН,  $\sin \psi_{08} = 0,0015$ , то  $F_{тр.ск} = 119,1$  кН.

4. Подсчитывают силу трения  $F_{т0} = F_{торм}$ , которая появляется между ободами колёсных пар и сжатыми тормозными шинами вагонного замедлителя в виде (см. (3) [11]):

$$F_{торм} = F_{т0} = f_{тп} F_{тк}, \quad (3)$$

где  $f_{тп} = 0,14–0,20$  – коэффициент трения скольжения обода колёс о тормозные шины балок замедлителя (по данным [23]);  $F_{тк}$  – сила прижатия обода колёс к тормозным шинам замедлителя вагона или средняя нагрузка на ось вагона (обычно при скорости входа менее 8,5 м/с принимают 90, 100 кН в зависимости от типа замедлителей и давления воздуха) [23].

Например, если  $f_{тп} = 0,2$  и  $F_{тк} = 95$  кН, то  $F_{торм} = 19$  кН.

5. Определяют силы сопротивления движению вагона от среды, снега и инея  $F_c$ :

$$F_c = (k_{ср} + k_{с.и})G, \quad (4)$$

где  $k_{ср}$  – коэффициент, учитывающий долю силы тяжести  $G$  с учётом сопротивления среды (обычно его можно принять в пределах 0,0005–0,00011 при скорости встречного ветра от 4 до 6 м/с) [24, с. 182];  $k_{с.и}$  – коэффициент, учитывающий долю силы тяжести  $G$  с учётом сопротивления от снега и инея (обычно его можно принять в пределах 0,00015);

Например, если  $k_{ср} = 0,00025$ ,  $k_{с.и} = 0,00015$ ,  $G = 794$  кН, то  $F_c = 0,318$  кН.



6. С учётом воздействия проекции ветра на боковую сторону вагона  $F_{гвб}$  рассчитывают силу трения скольжения гребней колёс о боковые поверхности рельсовой нити (см. (5) [11]), кН:

$$F_{тр.б} = f_{ск0} F_{гвб}, \quad (5)$$

где  $f_{ск0}$  – коэффициент трения скольжения гребней колёс о боковые поверхности рельсовой нити (обычно принимают равным до 0,25 [4–6, 10]).

Например, если  $f_{ск0} = 0,2$ ,  $F_{гвб} = F_{гвб} = 13,68$  кН, то  $F_{тр.б} = 2,736$  кН.

7. Рассчитывают силу сопротивления движению вагона  $F_{тр.х}$  при его прохождении по длине ЗТП горки:

$$F_{тр8.x1} = F_{тр.ск} + F_c + F_{торм}, \quad (6)$$

$$F_{тр81.x1} = F_{тр.ск} + F_c + F_{торм} + F_{трб}. \quad (6, a)$$

Например, если  $F_{тр.ск} = 119,1$ ,  $F_c = 0,318$ ,  $F_{торм} = 19$  кН, то  $F_{тр8.x1} = 138,418$  и  $F_{тр81.x1} = 141,154$  кН.

8. Находят все силы, действующие на вагон при воздействии попутного ветра, кН:

– сдвигающие силы  $F_{сд.x1}$  (т.е. проекции силы тяжести вагона с грузом ( $G_{x1} = G \sin \psi_{08}$ ) и попутного ветра  $F_{гвх}$  на направление движения вагона, т.е. по оси  $Ox_1$  (см. рис. 2 и формулу (7) [11]):

$$F_{сд.x1} = G \sin(\psi_{08}) + F_{гвх} \cos(\psi_{08}). \quad (7)$$

Например, если  $G = 794$  кН,  $\sin \psi_{08} = 0,0015$ ,  $F_{гвх} = 3,192$  кН,  $\cos \psi_{08} = 1$ , то  $F_{сд.x1} = 4,383$  кН;

– удерживающие силы  $F_{уд.x1}$  (т.е. силы сопротивления движению вагона в виде силы трения скольжения на участке ЗТП горки  $F_{тр.x1}$  и сопротивления вследствие воздействия среды  $F_c$ , а также проекции попутного ветра на боковую сторону вагона в виде  $F_{трб}$ ):

$$F_{уд8.x1} = F_{тр8.x1}, \quad F_{уд81.x1} = F_{тр81.x1}. \quad (8)$$

С учётом формул (6) и (6, a) имеем:  $F_{уд8.x1} = 138,418$  кН, то  $F_{уд81.x1} = 141,154$  кН.

Как видно, в данном случае сдвигающая сила  $F_{сд.x1}$  является силой, способствующей движению вагона с заданной начальной скоростью входа

$v_{03т}$  на участок ЗТП горки (например,  $v_{08т} = 2,163$  м/с), однако не имеющей возможности преодолевать все возможные сопротивления в виде силы трения  $F_{тр.x1}$ , сопротивление среды  $F_c$  и силы трения скольжения  $F_{тр.б}$  от воздействия проекции попутного ветра на боковую сторону вагона  $F_{гвб} = F_{гвб}$ .

9. Рассчитывают разность сдвигающей  $F_{сд.x1}$  и удерживающей  $F_{уд.x1}$  сил как сил, оказывающих тормозящий эффект, в виде  $F_{3т}$  (см. формулу (9) [12]), кН:

$$F_{3т} = F_{сд.x1} - F_{уд8.x1}; \quad (9)$$

$$F_{3т1} = F_{сд.x1} - F_{уд81.x1}. \quad (9, a)$$

Например, если  $F_{сд.x1} = 4,383$ ,  $F_{уд8.x1} = 138,418$ ,  $F_{уд81.x1} = 141,154$  кН, то  $F_{3т} = -134,0$  и  $F_{3т1} = -136,77$  кН.

При этом, естественно, что  $F_{3т} < 0$  и  $F_{3т1} < 0$ , поскольку сдвигающая сила  $F_{сд.x1}$  как сила воздействия проекции силы тяжести вагона с грузом на направления скатывания вагона  $G_{x1} = G \sin \psi_{08}$  и попутного ветра  $F_{гвх}$  имеет малую величину, однако вагон продолжает своё движение согласно закону инерции с заданной начальной скоростью входа  $v_{03т}$  на участок ЗТП горки, преодолевая силы трения скольжения  $F_{тр8.x1}$  и  $F_{тр81.x1}$ .

10. По значению силы  $F_{3т}$ ,  $F_{3т1}$  и массы вагона  $M_0$  без учёта инерции вращающихся частей вычисляют ускорение вагона  $a_{3т}$  и  $a_{3т1}$  при движении на участке ЗТП горки с замедлением при воздействии попутного ветра, кН (см. формулу (10) [11]), м/с<sup>2</sup>:

$$a_{3т} = \frac{|F_{3т}| \cdot 10^{-3}}{M_0}, \quad a_{3т1} = \frac{|F_{3т1}| \cdot 10^{-3}}{M_0}. \quad (10)$$

Например, если  $F_{3т} = -134,0$  и  $F_{3т1} = -136,77$  кН,  $M_0 = 8,094 \cdot 10^4$  – масса вагона с грузом без учёта инерции вращающихся масс при  $G_0 = 794$  кН (а с учётом инерции этих масс  $M = 9,256 \cdot 10^4$ ), кг, то  $a_{3т} = 1,656$  и  $a_{3т1} = 1,69$  м/с<sup>2</sup>.

11. Изменяя время торможения вагона  $t_{3т}$  (например, до  $t_{3т} = 1,0$  с), вычисляют скорость скольжения вагона при выходе из участка ЗТП горки  $v_e(t_{3т}) = v_e(t_{3т})$

по классической формуле скорости при равнозамедленном движении тела, м/с:

$$v_e(t_{\text{т}}) = v_{03\text{т}} - a_{3\text{т}} t_{\text{т}}, \quad (11)$$

где  $v_{03\text{т}}$  – начальная скорость вагона (скорость входа вагона на участок ЗТП горки (например,  $v_{03\text{т}} = 6,05$ ), м/с.

Если  $v_{03\text{т}} = 6,05$  и  $v_{031\text{т}} = 4,715$  м/с – начальные скорости вагона с учётом сопротивления среды  $F_c$  и при одновременном учёте  $F_c$  и  $F_{\text{рв},y}$ ,  $M_0 = 8,094 \cdot 10^4$  – масса вагона с грузом без учёта инерции вращающихся масс, кг;  $a_{3\text{т}} = 1,656$  и  $a_{31\text{т}} = 1,69$  м/с<sup>2</sup>,  $t_{3\text{т}} = 1,0$  с, то  $v_{e3\text{т}}(t_{3\text{т}}) = 4,394$  м/с (15,8 км/ч) и  $v_{e31\text{т}}(t_{3\text{т}}) = 3,0$  м/с (10,9 км/ч).

Отметим, что с использованием выражения (11) можно построить графическую зависимость скорости  $v_{e3\text{т}}(t)$  от времени движения вагона  $t_{\text{т}}$ .

12. Находят путь торможения вагона  $x_{3\text{т}}(t_{3\text{т}}) = l_{3\text{т}} = l_{\text{т}}$  в момент времени  $t_{3\text{т}} = 1,0$  с по классической формуле пути при равнозамедленном движении тела, м:

$$l_{\text{т}} = v_{03\text{т}} t_{\text{т}} - \frac{1}{2} a_{3\text{т}} t_{\text{т}}^2. \quad (12)$$

Если  $v_{03\text{т}} = 6,05$  и  $v_{031\text{т}} = 4,715$  м/с,  $a_{3\text{т}} = 1,656$  и  $a_{31\text{т}} = 1,69$  м/с<sup>2</sup>,  $t_{3\text{т}} = 1,0$  с, то путь торможения  $x_{3\text{т}}(t_{3\text{т}}) = l_{3\text{т}} = 5,222$  и  $l_{31\text{т}} = 3,87$  м.

13. При необходимости рассчитывают скорость скольжения вагона в зависимости от пути торможения  $l_{\text{т}}$  в момент времени  $t_{3\text{т}}$ , с, как результат совместного решения формул (11) и (12), м/с:

$$v_{e3\text{т}}(l_{\text{т}}) = \sqrt{v_{03\text{т}}^2 - 2a_{3\text{т}} l_{\text{т}}}. \quad (13)$$

Например, если  $v_{03\text{т}} = 6,05$  и  $v_{03\text{т}} = 4,715$  м/с,  $a_{3\text{т}} = 1,656$  и  $a_{3\text{т}} = 1,69$  м/с<sup>2</sup>,  $l_{3\text{т}} = 5,222$  и  $l_{31\text{т}} = 3,87$  м, то  $v_{3\text{т}} = 4,394$  и  $v_{31\text{т}} = 3,0$  м/с. Полученные результаты полностью совпадают с полученными по формуле (11).

Далее представлены результаты вычислений времени, скорости скольжения и пути торможения вагона от времени на участке ЗТП, полученные в программе MathCAD [25].

На основе формул (11) и (12) построим графические зависимости скорости и пути торможения вагона на участке ЗТП от времени торможения:

$t := 0, 0,1 \dots 1,0$  – изменение времени торможения вагона  $t$  на участке ЗТП, с;

$v_{e3}(t) := v_{03\text{т}} - a_{3\text{т}} \cdot t$  – скорость вагона  $v(t)$  в любой момент времени  $t$  на участке ЗТП при учёте воздействия только сопротивления среды  $F_c$ , м/с;

$v_{e31}(t) := v_{031\text{т}} - a_{31\text{т}} \cdot t$  – скорость вагона  $v(t)$  в любой момент времени  $t$  на участке ЗТП при одновременном учёте воздействия сопротивления среды  $F_c$  и проекции попутного ветра на боковую сторону вагона  $F_{\text{рв},y}$ , м/с (рис. 2);

$x_{3\text{т}}(t) := v_{03\text{т}} \cdot t - (1/2) a_{3\text{т}} \cdot t^2$  – путь торможения вагона  $x(t)$  в любой момент времени  $t$  на участке ЗТП при воздействии только сопротивления среды  $F_c$ , м;

$x_{31\text{т}}(t) := v_{031\text{т}} \cdot t - (1/2) a_{31\text{т}} \cdot t^2$  – путь торможения вагона  $x(t)$  в любой момент времени  $t$  на участке ЗТП при одновременном учёте воздействия сопротивления среды  $F_c$  и проекции попутного ветра на боковую сторону вагона  $F_{\text{рв},y}$ , м (рис. 3).

Из рис. 2 и 3 ясно, что графические зависимости  $v(t)$  носят линейно убывающий, а  $x(t)$  – нелинейный характер в соответствии с формулами (11) и (12).

Анализ графической зависимости  $v(t)$  показывает, что в течение времени  $t_{3\text{т}} = 1,0$  с скорость вагона с учётом только воздействия сопротивления среды  $F_c$  (рис. 2) уменьшается с 6,05 м/с (это скорость входа вагона на участок ЗТП горки при учёте сопротивления среды) до 4,39 м/с (это скорость входа вагона на второй участок сортировочного пути), а при одновременном учёте воздействия сопротивления среды  $F_c$  и проекции попутного ветра на боковую сторону вагона  $F_{\text{рв},y}$  – с 4,715 м/с до 3 м/с.

Анализ графической зависимости  $x(t)$  также показывает, что в течение времени  $t_{3\text{т}} = 1,0$  с (рис. 3) путь торможения вагона с учётом только воздействия сопротивления среды  $F_c$  составляет  $l_{3\text{т}} = 5,22$  м, а при одновременном учёте воздействия сопротивления среды  $F_c$  и проекции попутного

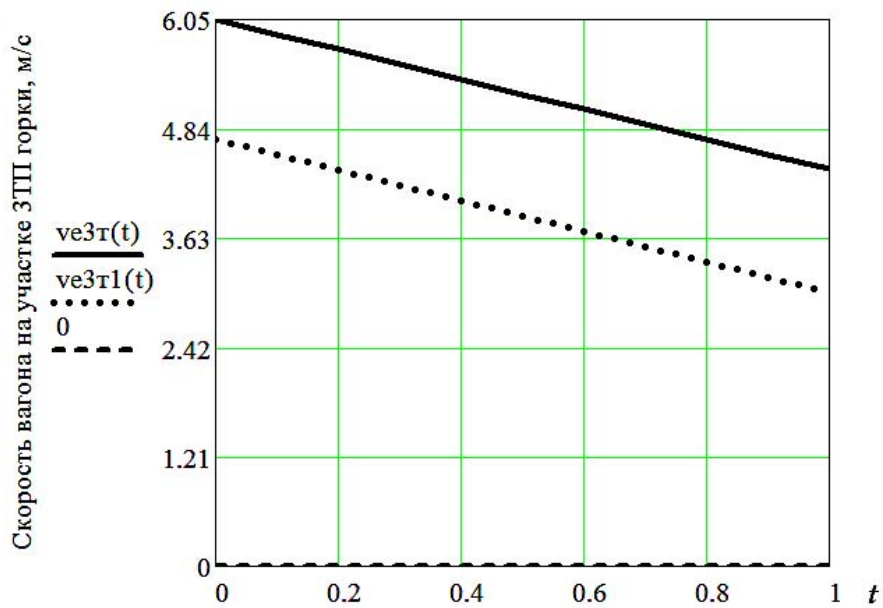


Рис. 2. Графическая зависимость скорости скольжения вагона на участке ЗТП от времени движения

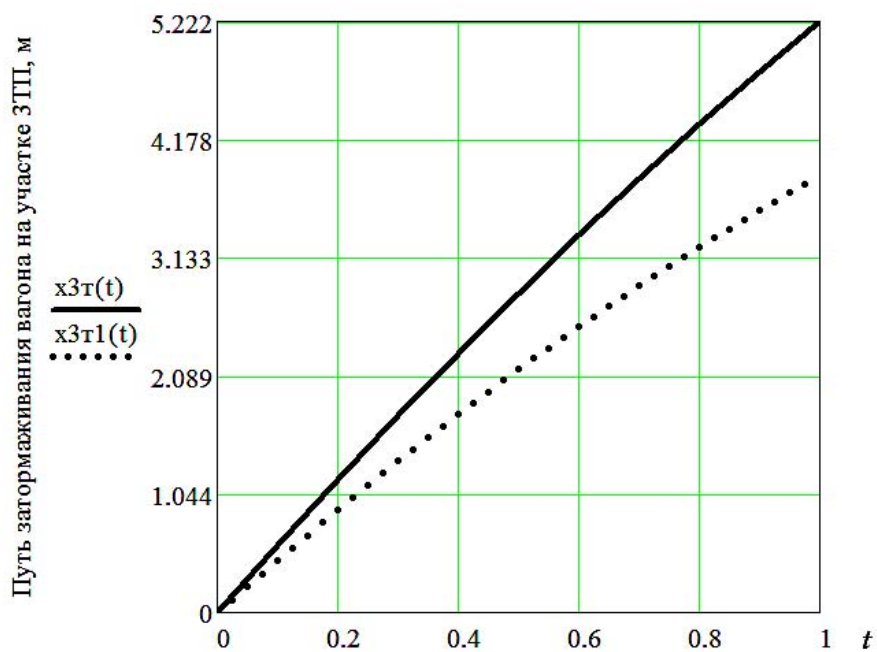


Рис. 3. Графическая зависимость пути торможения вагона по участку ЗТП от времени

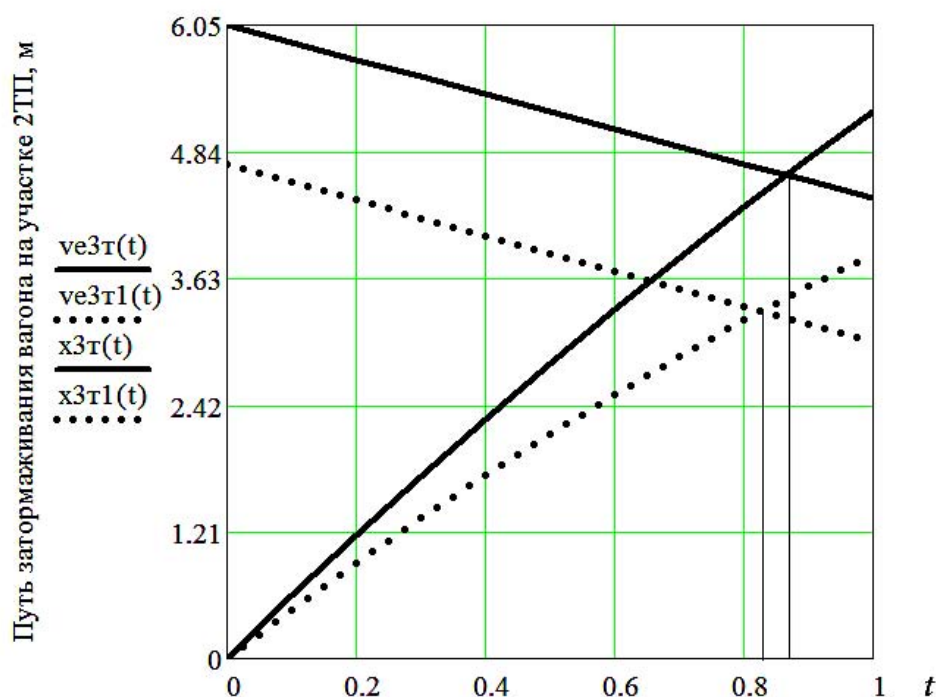


Рис. 4. Совмещенные графические зависимости скорости (рис. 2) и пути торможения вагона (рис. 3) на участке 3ТП от времени

ветра на боковую сторону вагона  $F_{рв,у}$ , —  $l_{31T} = 3,87$  м.

Особо оговоримся, что используя графические зависимости скорости  $v_e(t)$  и пути торможения вагона  $x(t)$  от времени  $t$ , приведенные на рис. 2 и 3, и объединяя их, можно найти рациональное значение времени торможения вагона  $t_T$  на участке 3ТП (рис. 4).

Анализ построенных графических зависимостей (рис. 4) показывает, что, например, с учётом только сопротивления среды  $F_c$  при  $t_{3T} = 0,87$  с:  $v_{3T}(t_{3T}) = 4,6$  м/с и  $x_{3T}(t_{3T}) = l_{3T} = 4,63$  м, а при одновременном учёте воздействия сопротивления среды  $F_c$  и проекции попутного ветра на боковую сторону вагона  $F_{рв,у}$  при  $t_{31T} = 0,83$  с:  $v_{31T}(t_{31T}) = 3,31$  м/с и  $l_{31T} = 3,33$  м. При этом значения скорости и пути торможения как различных физических параметров при  $t_{3T} = 0,87$  и  $t_{31T} = 0,83$  с по величине практически совпадают, хотя имеют разные единицы измерения.

Построим графические зависимости скорости скольжения вагона  $v_{e3T}(l_{3T})$  и  $v_{e31T}(l_{3T})$  от длины пройденного пути на 3ТП  $l_8 = l_{3T}$ , построенные на основе формулы (13) (рис. 5).

Как видно, при движении вагона на участке 3ТП скорость его скольжения уменьшается с увеличением пути торможения  $l_{3T}$  в соответствии с формулой (13).

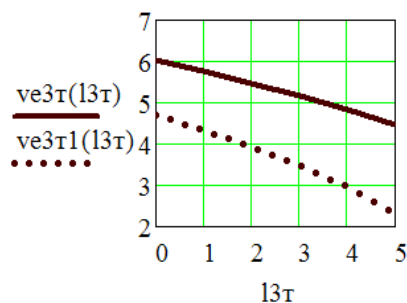


Рис. 5. Графические зависимости  $v_{e3T}(l_{3T})$  и  $v_{e31T}(l_{3T})$

Таким образом, для заданных исходных данных задачи, если время срабатывания вагонного замедлителя  $t_{\text{вк}} = 0,8$  с [23], то с момента его включения время торможения равно  $t_{\text{зат}} = t_{\text{вк}} + t_{\text{тЗТ}} = 0,8 + 0,87 = 1,67$  и  $t_{\text{зат1}} = t_{\text{вк}} + t_{\text{тЗ1Т}} = 0,8 + 0,83 = 1,63$  с.

Обобщая результаты проведённых исследований, отметим, что при воздействии попутного ветра малой величины с учётом сопротивления среды, снега и инея  $F_c$  при  $t_t = 1,0$  с скорость скольжения вагона по ЗТП при заданных исходных данных задачи уменьшается с 6,05 до 4,39 м/с, а с учетом одновременного воздействия сопротивления среды  $F_c$  и проекции попутного ветра на боковую сторону вагона  $F_{\text{гву}}$  — с 4,715 до 3 м/с. При этом путь торможения вагона соответственно составляет  $l_{\text{ЗТ}} = 5,2$  и  $l_{\text{З1Т}} = 3,87$  м.

### Выводы

1. Силовые соотношения в системе «вагон-путь», присущие только участку ЗТП сортировочной горки при воздей-

ствии попутного ветра малой величины, позволили вычислить ускорение вагона с замедлением  $a_{\text{ЗТ}}$ . С использованием классических формул пути и скорости тела определены неизвестные значения кинематических параметров движения вагона — времени, скорости скольжения и пути торможения вагона на участке ЗТП горки.

2. Зависимости скорости скольжения  $v(t_t)$  и пути торможения вагона  $x(t_t)$  от времени торможения  $t_t$  после их объединения позволили определить рациональное значение времени торможения вагона  $t_{\text{зат}}$  на участке ЗТП горки с учётом времени срабатывания вагонного замедлителя  $t_{\text{вк}}$ .

Представленные результаты исследований могут быть использованы при вычислении времени движения и скорости скатывания вагона на последующих участках горки, а в дальнейшем для разработки программы расчёта профиля сортировочной горки — от её вершины до расчётной точки. ■

### Литература

1. Туранов Х.Т. Математическая модель времени скатывания вагона на первом скоростном участке сортировочной горки при воздействии попутного ветра малой величины / Х.Т. Туранов, А.А. Гордиенко // Бюллетень транспортной информации. 2015. № 6 (240). — С. 17–23. ISSN 2072-8115.
2. Туранов Х.Т. Аналитическое определение времени скатывания вагона на втором скоростном участке сортировочной горки при воздействии попутного ветра малой величины / Х.Т. Туранов, А.А. Гордиенко // Наука и техника транспорта. 2015. № 2. — С. 73–81. ISSN 2074-9325.
3. Туранов Х.Т. Новая методика расчёта времени и скорости скатывания вагона на первом скоростном участке сортировочной горки / Х.Т. Туранов, А.А. Гордиенко // Бюллетень транспортной информации. 2015. № 8 (242). С. 37–43. ISSN 2072-8115.
4. Туранов Х.Т. Результаты расчётов времени и скорости скатывания вагона на втором скоростном участке сортировочной горки при воздействии попутного ветра малой величины по новой методике / Х.Т. Туранов, А.А. Гордиенко // Наука и техника транспорта. 2015. № 3. С. 63–70. ISSN 2074-9325.
5. Туранов Х.Т. Новая методика расчёта времени и скорости вагона при его движении на участке первой тормозной позиции сортировочной горки при воздействии попутного ветра / Х.Т. Туранов, А.А. Гордиенко, И.С. Плахотич // Транспорт: наука, техника, управление. 2015. № 11. С. 26–30. ISSN 0236-1914.
6. Turanov Kh., Gordienko A., Myagkova A. Analytical Description of Wagon Motion on the Second Speed Section of the Marshalling Hump with Switch Zone under the Impact of Fair Wind // Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology (JMEST). Vol. 2. 2015. ISSN 3159-0040 (Online).
7. Туранов Х.Т. Уточнённые результаты вычислений времени движения и скорости вагона на втором скоростном участке сортировочной горки при воздействии попутного ветра / Х.Т. Туранов, А.А. Гордиенко, А.В. Мягкова // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2016. № 1 (45). С. 24–29. ISSN 1815-588 X.

8. Туранов Х. Т. Математическое описание движения вагона с торможением на участке первой тормозной позиции сортировочной горки при воздействии попутного ветра малой величины / Х. Т. Туранов, А. А. Гордиенко, И. С. Плахотич // Транспорт Урала. 2015. № 4 (47). С. 10–15. ISSN 1815-9400.
9. Turanov Kh., Gordienko A., Plakhotich I. Simplified Analytical Description of Wagon Movement with Braking Action on the Marshalling Hump Section of the First Braking Position under the Impact of Fair Wind // Science and Technology. Vol. 5 № 4. 2015. Pp. 57–62. ISSN 2163-2677.
10. Туранов Х. Т. Пример расчёта скорости вагона на участке первой тормозной позиции сортировочной горки с затормаживанием при воздействии попутного ветра / Х. Т. Туранов, А. А. Гордиенко, И. С. Плахотич // Бюллетень транспортной информации. 2015. № 12 (246). С. 29–35. ISSN 2072-8115.
11. Туранов Х. Т. Вычислительные эксперименты по определению времени, скорости и пути торможения вагона на участке второй тормозной позиции сортировочной горки при воздействии попутного ветра малой величины / Х. Т. Туранов, А. А. Гордиенко, И. С. Плахотич // Наука и техника транспорта. 2016. № 1. С. 3–6. ISSN 2074-9325.
12. Туранов Х. Т. Аналитическое описание движения вагона на промежуточном участке сортировочной горки при воздействии попутного ветра / Х. Т. Туранов, А. А. Гордиенко // Мир транспорта. 2015. № 6 (23). С. 24–29. ISSN 1992-3252.
13. Туранов Х. Т. Пример вычислений времени движения и скорости вагона в стрелочной зоне сортировочной горки при воздействии попутного ветра / Х. Т. Туранов, А. А. Гордиенко, Л. А. Рыкова // Транспорт: наука, техника, управление. 2016. № 5. С. 17–23. ISSN 0236-1914.
14. Приложение 3 к СМГС «Технические условия размещения и крепления грузов» [Электронный ресурс]. – URL: <http://osjd.org/doco/public/ru>. (дата обращения: 15.02.2016).
15. Туранов Х. Теория крепления твёрдотельного груза на открытом подвижном составе : монография / Х. Туранов. – Saarbrücken, Deutschland : Palmarium academic publishing, 2015. 259 с. ISBN 978-3-639-86052-8.
16. Кобзев В. А. Особенности расчёта спускной части сортировочных горок методом поординатного спуска / В. А. Кобзев, С. Н. Шмаль // Наука и техника транспорта. 2014. С. 17–20. ISSN 2074-9325.
17. Рудановский В. М. Об определении удельных сопротивлений движению вагонов на путях с переменным уклоном // Вестник Всесоюзного научно-исследовательского ин-та ж.-д. транспорта. 1969. № 1. С. 46–50. ISSN 2223-9731.
18. Старшов И. П. Определение воздушного сопротивления движению вагонов на сортировочных горках // Вестник Всесоюзного научно-исследовательского ин-та ж.-д. транспорта, 1970. № 6. С. 16–20. ISSN 2223-9731.
19. Сопротивление движению грузовых вагонов при скатывании с горок / под ред. Е. А. Сотникова. – М. : «Транспорт», 1975. 104 с.
20. Лойцянский Л. Г. Курс теоретической механики. Т. II. Динамика / Л. Г. Лойцянский, А. И. Лурье. – М. : Наука, 1983. 640 с.
21. Правила и нормы проектирования сортировочных устройств на железных дорогах колеи 1520 мм. – М. : Техинформ, 2003. – 168 с.
22. Земблинов С. В. Альбом схем элементов станций и узлов / С. В. Земблинов, И. И. Страковский. – М. : Всесоюз. изд.-полиграфич. объедин. МПС, 1963. 89 с.
23. Кобзев В. А. Технические средства сортировочных горок, обеспечивающие безопасность движения : учебное пособие; Ч. 1. – М. : МИИТ, 2009. – 92 с.
24. Образцов В. Н. Станции и узлы. – М. : Трансжелдориздат, 1938. 492 с.
25. Кирьянов Д. В. MathCAD 15. СПб.: БХВ-Петербург, 2012. – 432 с.

## References

1. Turanov Kh. T. Matematicheskaya model vremeni skatvaniya vagona na pervom skorostnom uchastke sortirovochnoy gorki pri vozdeystvii poputnogo vetra maloy velichiny [Mathematical model of wagon rolling-down time on the first speed section of the marshalling hump exposed to small tailwind] / Kh. T. Turanov, A. A. Gordiyenko // Byulleten transportnoy informatsii. 2015, № 6 (240). – S. 17–23. ISSN 2072-8115.
2. Turanov Kh. T. Analiticheskoye opredeleniye vremeni skatvaniya vagona na vtorom skorostnom uchastke sortirovochnoy gorki pri vozdeystvii poputnogo vetra maloy velichiny /



- Kh. T. Turanov, A. A. Gordiyenko // *Nauka i tekhnika transporta*. 2015. № 2. S. 73–81. ISSN 2074-9325.
3. Turanov Kh. T. Novaya metodika raschyota vremeny i skorosti skatyvaniya vagona na pervom skorostnom uchastke sortirovochnoy gorki [New method for computing time and speed of wagon rolling-down on the first speed section of the marshalling hump] / Kh. T. Turanov, A. A. Gordiyenko // *Byulleten transportnoy informatsii*. 2015. № 8 (242). S. 37–43. ISSN 2072-8115.
  4. Turanov Kh. T. Rezultaty raschyotov vremeni i skorosti skatyvaniya vagona na vtorom skorostnom uchastke sortirovochnoy gorki pri vozdeystvii poputnogo vetra maloy velichiny po novoy metodike / Kh. T. Turanov, A. A. Gordiyenko // *Nauka i tekhnika transporta*. 2015, № 3. S. 63–70. ISSN 2074-9325.
  5. Turanov Kh. T. Novaya metodika raschyota vremeny i skorosti vagona pri yego dvizhenii na uchastke pervoy tormoznoy pozitsii sortirovochnoy gorki pri vozdeystvii poputnogo vetra [New method for computing time and speed of wagon rolling-down on the section of first braking position of marshalling hump under the impact of fair wind] / Kh. T. Turanov, A. A. Gordiyenko, I. S. Plakhotich // *Transport: nauka, tekhnika, upravleniye*. 2015. № 11. S. 26–30. ISSN 0236-1914.
  6. Turanov Kh., Gordienko A., Myagkova A. Analytical Description of Wagon Motion on the Second Speed Section of the Marshalling Hump with Switch Zone under the Impact of Fair Wind // *Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology (JMEST)*. Vol. 2. 2015. ISSN 3159-0040 (Online).
  7. Turanov Kh. T. Utochnonnye rezultaty vychisleniy vremeni dvizheniya i skorosti vagona na vtorom skorostnom uchastke sortirovochnoy gorki pri vozdeystvii poputnogo vetra [Sharper results of computations of wagon travel time and speed on the second speed section of the marshalling hump under the impact of fair wind] / Kh. T. Turanov, A. A. Gordiyenko, A. V. Myagkova // *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putey soobshcheniya*. 2016, № 1 (45). S. 24–29. ISSN 1815-588 X.
  8. Turanov Kh. T. Matematicheskoye opisaniye dvizheniya vagona s tormozheniyem na uchastke pervoy tormoznoy pozitsii sortirovochnoy gorki pri vozdeystvii poputnogo vetra maloy velichiny [Mathematical description of wagon braking movement on the section of first braking position of marshalling hump under the impact of light fair wind] / Kh. T. Turanov, A. A. Gordiyenko, I. S. Plakhotich // *Transport Urala*. 2015. № 4 (47). S. 10–15. ISSN 1815-9400.
  9. Turanov Kh., Gordienko A., Plakhotich I. Simplified Analytical Description of Wagon Movement with Braking Action on the Marshalling Hump Section of the First Braking Position under the Impact of Fair Wind // *Science and Technology*. Vol. 5. № 4. 2015. Pp. 57–62. ISSN 2163-2677.
  10. Turanov Kh. T. Primer raschyota skorosti vagona na uchastke pervoy tormoznoy pozitsii sortirovochnoy gorki s zatormazhivaniyem pri vozdeystvii poputnogo vetra [Example computing of wagon speed on the section of first braking position of marshalling hump with braking under the impact of fair wind] / Kh. T. Turanov, A. A. Gordiyenko, I. S. Plakhotich // *Byulleten transportnoy informatsii*. 2015. № 12 (246). S. 29–35. ISSN 2072-8115.
  11. Turanov Kh. T. Vychislitelnye eksperimenty po opredeleniyu vremeni, skorosti i puti tormozheniya vagona na uchastke vtoroy tormoznoy pozitsii sortirovochnoy gorki pri vozdeystvii poputnogo vetra maloy velichiny [Computational experiments to determine the time, speed and braking path of the wagon on the section of the second braking position of the marshalling hump under the impact of light fair wind] / Kh. T. Turanov, A. A. Gordiyenko, I. S. Plakhotich // *Nauka i tekhnika transporta*. 2016. № 1. S. 3–6. ISSN 2074-9325.
  12. Turanov Kh. T. Analiticheskoye opisaniye dvizheniya vagona na promezhutochnom uchastke sortirovochnoy gorki pri vozdeystvii poputnogo vetra [Analytical description of wagon movement on the intermediate section of marshalling hump under the impact of fair wind] / Kh. T. Turanov, A. A. Gordiyenko // *Mir transporta*. 2015, № 6 (23). S. 24–29. ISSN 1992-3252.
  13. Turanov Kh. T. Primer vychisleniy vremeni dvizheniya i skorosti vagona v strelochnoy zone sortirovochnoy gorki pri vozdeystvii poputnogo vetra [Example of computations of travel time and speed of the wagon in the switching area of the marshalling hump under the impact of fair wind] / Kh. T. Turanov, A. A. Gordiyenko, L. A. Rykova // *Transport: nauka, tekhnika, upravleniye*. 2016. № 5. S. 17–23. ISSN 0236-1914.



14. Annex 3 to SMGS «Technical Conditions for arrangement and securing of loads» [Electronic resource]. – URL: <http://osjd.org/doco/public/ru>. (date of reference: 15.02.2016).
15. Turanov Kh. Teoriya krepleniya tvyordotelnogo gruzha na otkrytom podvizhnom sostave: monografiya [Theory of securing solid-state cargo on open rolling stock: monograph] / Kh. Turanov. – Saarbrücken, Deutschland : Palmarium academic publishing, 2015. 259 s. ISBN 978-3-639-86052-8.
16. Kobzev V.A. Osobennosti raschyota spusknoy chasti sortirovochnykh gorok metodom pokoorinatnogo spuska [Specific features of calculation of escape part of gravity humps using coordinate-wise descent] / V.A. Kobzev, S.N. Shmal // Nauka i tekhnika transporta. 2014. S. 17–20. ISSN 2074-9325.
17. Rudanovsky V.M. Ob opredelenii udelnykh soprotivleniy dvizheniyu vagonov na putyakh s peremennym uklonom [Evaluation of specific resistance to movement of wagons on tracks with variable gradient]. // Vestnik Vsesoyuznogo nauchno-issledovatel'skogo in-ta zh.-d. transporta. 1969. № 1. S. 46–50. ISSN 2223-9731.
18. Starshov I.P. Opredeleniye vozdušnogo soprotivleniya dvizheniyu vagonov na sortirovochnykh gorkakh [Evaluating air resistance to movement of wagons on humps] // Vestnik Vsesoyuznogo nauchno-issledovatel'skogo in-ta zh.-d. transporta. 1970. № 6. S. 16–20. ISSN 2223-9731.
19. Soprotivleniye dvizheniyu gruzovykh vagonov pri skatyvanii s gorok / pod red. Ye.A. Sotnikova [Resistance to movement of freight wagons during rolling-down / Edited by Ye.A. Sotnikov]. – M. : Transport, 1975. 104 s.
20. Loytsyansky L.G. Kurs teoreticheskoy mekhaniki. T. II. Dinamika [Theoretical Mechanics. Vol. II. Dynamic] / L.G. Loytsyansky, A.I. Lurye. – M. : Nauka, 1983. 640 s.
21. Pravila i normy proektirovaniya sortirovochnykh ustroystv na zheleznykh dorogakh kolei 1520 mm [Rules and regulations for design of sorting devices on 1520 mm railways tracks]. – M. : Tekhninform, 2003. – 168 s.
22. Zemblinov S.V. Albom skhem elementov stantsy i uzlov [Album of diagrams of elements of stations and junctions] / S.V. Zemblinov, I.I. Strakovsky. – M. : Vsesoyuz. izd.-poligrafich. ob'yedin. MPS, 1963. 89 s.
23. Kobzev V.A. Tekhnicheskiye sredstva sortirovochnykh gorok, obespechivayushchiye bezopasnost dvizheniya: uchebnoye posobiye; Ch. 1 [Technical means of gravity humps, ensuring traffic safety: training material; Part 1]. – M. : MIIT, 2009. – 92 s.
24. Obratstov V.N. Stantsii i uzly. M. : Transzheldorizdat, 1938. 492 s.
25. Kiryanov D.V. MathCAD 15. SPb : BKhV-Peterburg, 2012. – 432 s.

*Статья сдана в редакцию 22 февраля 2016 года*

---

*В. С. Паршин, Н. В. Семенова*

## Механика деформирования и расчет поврежденности металла при изготовлении гнутых профилей

---

UDC 621.771.63.08

*V. S. Parshin, N. V. Semyonova*

## Mechanics of deformation and calculation of damage to metal during curved profile manufacture

---

### Аннотация

Применение гнутых профилей в транспортных машинах позволяет значительно повысить их эксплуатационные свойства. В статье приводится разработка методики расчета поврежденности металла при изготовлении гнутых профилей. Особенностью методики является учет упрочнения материала, а также линейное суммирование поврежденности по клетям профилегибочного стана.

Рассмотрены особые случаи приложения рабочих нагрузок, в частности, подпор или растяжение в калибре. Приведена схема алгоритма расчета и зависимости для поврежденности в указанных выше случаях как для низкоуглеродистой стали, так и для сплава титана.

В результате на стадии проектирования процесса гибки возможно прогнозировать вероятность появления трещин в изделии как для простого процесса гибки, так и при наличии особых случаев, позволяющих расширить возможности технологических процессов.

**Ключевые слова:** напряжения, деформации, поврежденность, алгоритм расчета, пример профилирования.

DOI:10.20291/2079-0392-2016-2-41-46

### Summary

Application of curved profiles in transportation vehicles helps significantly improve their performance. The article provides development of the calculation method for metal damage during manufacture of curved profiles. Characteristic feature of the technique is accounting for material hardening, as well as linear summation of damage by repeaters of the roll stand.

Special cases of workload application, such as support or stretching in calibre. Scheme of algorithm for calculation and functions for damage in the above cases, for low carbon steel or titanium alloy are provided.

As a result, at the design stage of the bending process it becomes possible to predict the probability of cracking in the product both for the simple bending process, and in the presence of special circumstances, that allow for extending the possibilities of technological processes.

**Keywords:** stresses, deformations, damage, algorithm for calculation, example of profiling.

DOI:10.20291/2079-0392-2016-2-41-46

---

Владимир Сергеевич Паршин, д-р техн. наук, профессор; кафедра «Металлургические и роторные машины» Уральского федерального университета; Екатеринбург, Россия. E-mail: s.v.parshin@urfu.ru.

Наталья Владимировна Семенова, канд. техн. наук, доцент; кафедра «Инженерная графика» Уральского федерального университета; Екатеринбург, Россия. E-mail: n.v.semenova@urfu.ru.

Vladimir Sergeyevich Parshin, DSc in Engineering, Professor of Metallurgic and Rotor Machines Department, Ural Federal University; Ekaterinburg, Russia. E-mail: s.v.parshin@urfu.ru.

Natalia Vladimirovna Semyonova, PhD in Engineering, Associate Professor; Engineering Graphics Department, Ural Federal University; Ekaterinburg, Russia. E-mail: n.v.semenova@urfu.ru.

Основные элементы, составляющие транспортные средства, включают активные (двигатель, трансмиссия и др.) и пассивные элементы, которые обеспечивают связь как между активными узлами, так и предназначенными для размещения грузов, пассажиров и т.п. Пассивные элементы имеют в своем составе раму, кузов и др. Рама транспортных средств может представлять собой плоскую либо объемную конструкцию, нагруженную чаще всего в направлении, перпендикулярном плоскости рамы. Это обстоятельство приводит к тому, что для создания рамы выгодно применять профили, размеры которых развиты в направлении действия максимальных нагрузок.

Момент сопротивления изгибу, например, квадратного профиля, на 30–40 % больше, чем у круглой трубы одинакового с ним погонного веса при действии нагрузки в направлении грани квадрата. Значит, применение профилей или профильных труб позволяет снизить вес конструкции в целом при сохранении ее надежности при сохранении заданного веса [1].

Снизить стоимость производства профильных труб можно несколькими способами. Например, дальше развивать технологии, позволяющие получать профильные трубы непосредственно

из листовой заготовки, гнутых и гнутосварных профилей.

Повышение эксплуатационных требований к транспортным машинам приводит к необходимости применения для таких профилей материалов с повышенными механическими свойствами – вплоть до использования титана и его сплавов. Однако пластичность этих материалов при операциях холодного деформирования понижена в сравнении с низкоуглеродистыми сталями. Поэтому задача разработки методики расчета поврежденности материала в процессе холодной гибки для особых случаев приложения рабочих усилий крайне актуальна.

Допустимую деформацию при формовке из условия отсутствия трещин обычно находят по испытаниям материала на растяжение [2]. Но в реальных условиях не учитываются особенности напряженного состояния при приложении напряжений сжатия или растяжения в калибре (рис. 1).

В данной работе на основе теории разрушения [3] предложена методика расчета поврежденности металла при многопереходной формовке с учетом наложения растяжения или сжатия в калибре.

Поврежденность металла  $\omega_z$  за несколько переходов находят с использо-

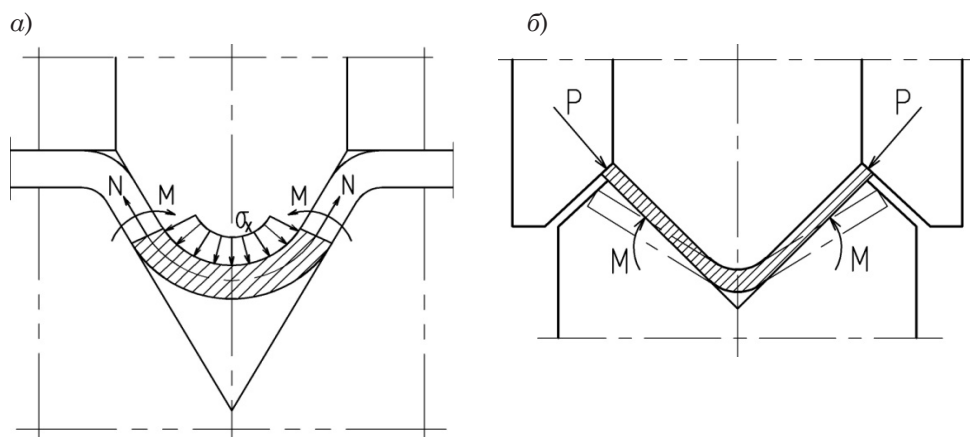


Рис. 1 Схемы подгибки с применением тангенциально направленных сил  
а – растяжение, б – сжатие

ванием линейной модели суммирования поврежденности:

$$\omega_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n \omega_i, \quad (1)$$

где  $n$  – число переходов при формовке.

В свою очередь,

$$\omega_i = \int_0^{\lambda_i} \frac{d\lambda}{\lambda_p}, \quad (2)$$

где  $\lambda_i$  – степень деформации сдвига в  $i$ -м переходе;  $\lambda_p = f(\sigma/t, \mu_{\sigma})$  – степень деформации сдвига до разрушения [3], причем  $\sigma/t$  – отношение гидростатического давления к интенсивности касательных напряжений,  $\mu_{\sigma}$  – коэффициент Лоде.

Модель деформации полосы толщиной  $S$  при профилировании примем как ее изгиб с наружным  $R_n$  и внутренним  $R_b$  радиусами изгиба с нейтральным  $\rho_n$  и текущим радиусом  $\rho$  произвольной точки. Используем формулу для упрочнения металла в виде степенной зависимости [4], причем учтем, что процесс подгибки протекает в нескольких клетях с небольшими деформациями. Поэтому можно принять линейную модель упрочнения среды в каждом отдельном переходе:

$$\sigma_S = \sigma_{0,2} + \Pi \lambda_i, \quad (3)$$

где  $\Pi = d\sigma_S/d\lambda_i$ .

В этом случае на основе работы [5] получаем формулы для радиальных  $\sigma_p$  и окружных напряжений  $\sigma_{\theta}$  в виде для зоны растяжения:

$$\sigma_p = -(\sigma_{SO} + A \cdot B)C; \quad (4)$$

$$\sigma_{\theta} = \sigma_{SO}(1 - C) + A \left( 2 \ln \frac{\rho}{\rho_n} - B \cdot C \right), \quad (5)$$

где  $A = 0,5gb\lambda^{b-1}$ ;  $B = \ln \frac{\rho_{Rn}}{\rho_n^2}$ ;  $C = \ln \frac{\rho_{Rn}}{\rho}$ .

Подобные формулы получены и для зоны сжатия. Приняв, что первое, второе и третьи главные напряжения  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  и  $\sigma_3$  равны окружному  $\sigma_{\theta}$ , продольному  $\sigma_Z$  и радиальному  $\sigma_p$  напряжениям, получим по известной формуле для параметра Лоде  $\mu_{\sigma} = 0$ .

В теории профилирования принимается, что деформация полосы в направлении, перпендикулярном плоскости изгиба  $\varepsilon_Z = 0$ . Тогда следует положить, что  $d\varepsilon_Z = 0$ .

Приращения пластических деформаций связаны с напряжениями зависимостями:

$$\begin{aligned} d\varepsilon_p &= \frac{3}{2} \frac{d\varepsilon_i}{\sigma_i} (\sigma_p - \sigma); \\ d\varepsilon_{\theta} &= \frac{3}{2} \frac{d\varepsilon_i}{\sigma_i} (\sigma_{\theta} - \sigma); \\ d\varepsilon_Z &= \frac{3}{2} \frac{d\varepsilon_i}{\sigma_i} (\sigma_Z - \sigma), \end{aligned} \quad (6)$$

где  $d\varepsilon_Z$  – приращение интенсивности пластических деформаций.

В результате получим  $\sigma_Z = 0$ .

В этом случае гидростатическое давление

$$\sigma = 0,5(\sigma_{\theta} + \sigma_p), \quad (7)$$

а интенсивность напряжений

$$\sigma_i = \frac{\sqrt{3}(\sigma_{\theta} - \sigma_p)}{2}. \quad (8)$$

Учитывая (5) из условия пластичности по Мизесу ( $T = \tau_s$ ), получим для показателя напряженного состояния в зоне растяжения:

$$\begin{aligned} \left( \frac{\sigma}{T} \right)_i &= \frac{\sqrt{3}}{2} [\sigma_{si} - \ln \frac{R_n}{\rho} + \\ &+ \frac{1}{2} A \left( 2 \ln \frac{\rho}{\rho_n} - B \ln \frac{R_n}{\rho} \right) - \\ &- \left( \sigma_{si} + \frac{1}{2} A \ln \frac{R_n \rho}{\rho_n^2} \right) \ln \frac{R_n}{\rho}] \sigma_{si}^{-1}. \end{aligned} \quad (9)$$

Радиус нейтрального сечения, разделяющего эти две зоны:

$$\rho_n = \sqrt{R_n R_b}, \quad (10)$$

а при наличии подпора в калибре

$$\rho_n = \sqrt{R_n R_b \exp \frac{\sigma_{\theta} S}{\sigma_s R_n}}. \quad (11)$$

В каждом технологическом проходе наружные слои получают приращение деформации

$$\Delta \varepsilon = \ln \frac{S_n (R_H)_n \rho_{n-1}}{S_{n-1} \rho_n (R_H)_{n-1}}, \quad (12)$$

где  $S_n$  и  $S_{n-1}$  – толщина заготовки в рассматриваемом и предшествующем проходах.

Суммарная деформация определяется, например, по формуле:

$$\varepsilon = \ln \frac{2R_H}{R_H + R_B} \cdot \frac{S_0}{S}. \quad (13)$$

Известны несколько различных формул для подсчета утонения стенки  $\Delta S$  при изгибе. Можно эту величину находить, например, по формуле [4]:

$$\Delta S = 0,06 S_0 \sqrt{\frac{b \alpha^{2/3}}{r_B}}, \quad (14)$$

где  $b$  – ширина подгибаемого элемента, мм;  $\alpha$  – угол подгибки, рад.

На основе разработанной методики создан алгоритм расчета поврежденности металла. В блоке исходных данных задаются толщина полосы и ее материал. По материалу полосы определяют параметры ( $\sigma_{s0}$ ,  $g$ ,  $b$ ) кривой упрочнения. Задается число переходов профилирования  $n$ . Калибровка валков по переходам определяет радиусы изгибов полосы и углы подгибки, т.е. геометрические параметры очага деформации и, в частности, утонение стенки и радиусы нейтральной линии. Деформированное состояние полосы определяется интенсивностью деформации за переход, и накопленной степенью деформации сдвига.

По приведенной схеме рассчитывается упрочнение металла по переходам. При необходимости задается наличие тангенциального подпора  $\sigma_{\Pi}$  или натяжения  $\sigma_p$  в калибре в виде

$$\sigma_{\Pi} = - \sigma_{si} \quad (15)$$

$$\sigma_p = b \sigma_{si}, \quad (16)$$

где  $a$  и  $b$  – положительные величины, причем  $0 \leq a \leq 1$ ;  $0 \leq b \leq 1$ .

В следующем блоке расчета определяются напряжения  $\sigma_p$  и  $\sigma_{\theta}$ , гидростатическое давление и показатель напряженного состояния. На основе аппроксимирующей функции определяется при известных  $\mu_{\sigma}$  и  $\sigma/T$  степень деформации до разрушения. Далее вычисляем поврежденность за переход и за несколько переходов. В том случае, когда  $\omega_{\Sigma} < \omega^*$ , вычисления повторяются с новыми значениями параметров калибровки валков. Если разрушение металла не наступает, то расчет вышеперечисленных параметров повторяется до тех пор, пока не будут рассчитаны все переходы профилирования.

В том случае, когда будет проводиться расчет параметров напряженно-деформированного состояния при повышенных температурах, следует ввести дополнительные блоки, позволяющие задавать температуру металла по переходам, находить с учетом этого параметры упрочнения металла и напряженное состояние, а степень деформации до разрушения  $\lambda_{pi}$  определять с учетом температуры.

Поскольку процесс формовки профильных труб представляет собой изгиб листа по нескольким ребрам, то в качестве примера с использованием описанного алгоритма для конкретной схемы формовки швеллера  $105 \times 80 \times 4$  мм [2] проведен расчет. Рассчитывались геометрические параметры очага деформации, единичная степень деформации  $\lambda_p$ , накопленная степень деформации  $\lambda_{\Sigma}$ , значения сопротивления деформации, а также поврежденность металла для трех случаев: отсутствие подпора или растяжения  $\omega_{\Sigma}$ , при наличии подпора  $\omega_{\Sigma\Pi}$  и растяжения  $\omega_{\Sigma p}$ .

Расчеты показали, что в рассмотренной калибровке валков степень деформации по клетям изменяется мало, а суммарная степень деформации нарастает практически по линейной зависимости. Накопленная поврежденность также нарастает линейно, и при отсутствии подпора или натяжения меньше,

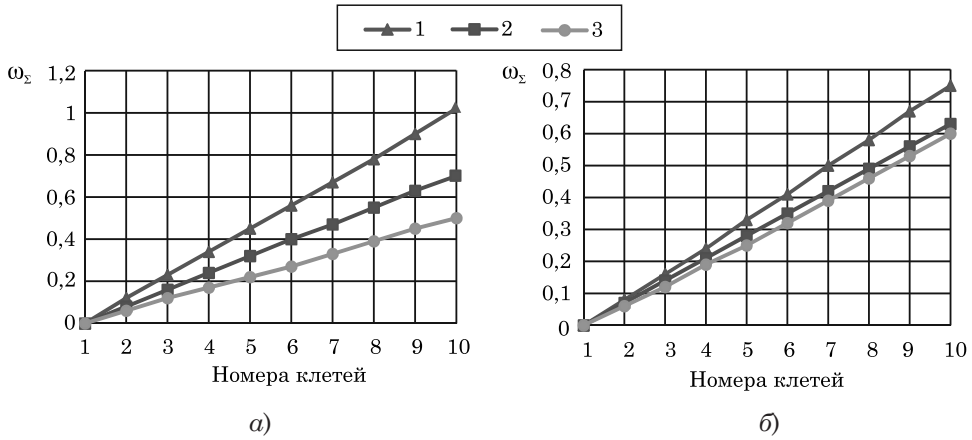


Рис. 2. Изменение поврежденности металла по клетям  
 а – сталь 10; б – сплав титана BT1-0, где 1 – при отсутствии подпора;  
 2 – значение подпора  $0,5\sigma_s$ ; 3 – при наличии растяжения величиной  $0,5\sigma_s$

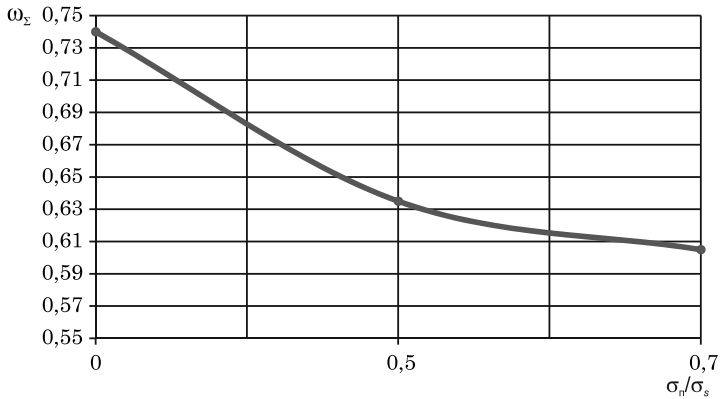


Рис. 3. Зависимость степени использования запаса пластичности  
 от величины тангенциального подпора в калибре (сплав титана BT 1-0)

чем при наличии растяжения, и больше, чем при наличии подпора (рис. 2 а, б).

С ростом величины тангенциального подпора полосы поврежденность металла снижается (рис. 3).

Аналогичный расчет для полосы из сплава титана BT1-0 показал, что подпор влияет на поврежденность менее интенсивно.

Таким образом, на основе предложенной методики и разработанного алгоритма возможен численный анализ поврежденности в процессах формовки из листа с наложением в очаге деформации тангенциального подпора или растяжения. ■

### Литература

1. Семенова Н. В. Использование профильных труб в транспортном машиностроении и направления совершенствования их производства / Молодые ученые – транспорту : труды V межвузовской научно-технической конференции. – Екатеринбург, 2004. В 2-х ч. Ч. 2. С. 210–217.

2. Тришевский И. С., Юрченко А. Б., Марьин В. С. и др. Производство гнутых профилей. М. : Metallurgiya, 1982. 384 с.
3. Богатов А. А., Мижирицкий О. И., Смирнов С. В. Ресурс пластичности при обработке металлов давлением. М. : Metallurgiya, 1984. – 144 с.
4. Полухин П. И., Гун Г. Я., Галкин А. М. Сопротивление пластической деформации металлов и сплавов. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : Metallurgiya, 1983. 351 с.
5. Малинин Н. И., Ширишов А. А. Исследование больших пластических деформаций при пластическом изгибе полосы с учетом упрочнения // Известия вузов. Машиностроение. 1965. № 2. С. 165–172.

#### References

1. Semyonova N.V. Ispolzovaniye profilnykh trub v transportnom mashinostroyenii i napravleniya sovershenstvovaniya ikh proizvodstva [Use of shaped tubes in transport engineering industry and ways to improve production] / Molodye uchyonye – transport: trudy V mezhvuzovskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. – Ekaterinburg, 2004. V 2 chastyakh. Ch. 2. S. 210–217.
2. Trishevsky I. S., Yurchenko A. B., Maryin V. S., and others. Proizvodstvo gnutykh profiley [Rollforming]. M. : Metallurgiya, 1982. 384 s.
3. Bogatov A. A., Mizhiritsky O. I., Smirnov S. V. Resurs plastichnosti pri obrabotke metallov davleniyem [Plasticity resource during metal forming]. M. : Metallurgiya, 1984. – 144 s.
4. Polukhin P. I., Gun G. Ya., Galkin A. M. Soprotivleniye plasticheskoy deformatsii metallov i spлавov [Plastic resistance of metals and alloys]. – 2<sup>nd</sup> Edition, revised and enlarged. – M. : Metallurgiya, 1983. 351 s.
5. Malinin N. I., Shirshov A. A. Issledovaniye bolshikh plasticheskikh deformatsy pri plasticheskom izgibe polosity s uchyotom uprochneniya [Study of large plastic deformation during plastic bending of the strip with allowance for hardening] // Izvestiya vuzov. Mashinostroyeniye. 1965. № 2. S. 165–172.

*Статья сдана в редакцию 16 марта 2016 года*



# Управление в технических системах

УДК 621.43.001.42

*А. В. Гриценко, К. В. Глемба, О. Н. Ларин*

## Исследование режимов работы электрических бензиновых насосов автомобилей при искусственном формировании гидравлического сопротивления

UDC 621.43.001.42

*A. V. Gritsenko, K. V. Glemba, O. N. Larin*

## Study of operation of electric fuel pumps of motor vehicles with artificial formation of hydraulic resistance

### Аннотация

Изложены исследования комплексных выходных параметров электрических насосов автомобилей при искусственном формировании гидравлического сопротивления в линии нагнетания. В результате поиска и определения неисправного элемента при диагностике системы топливоподдачи возникла необходимость в обосновании диагностических режимов и параметров. Проведен анализ возможных комплексных выходных параметров автомобильных бензонасосов. Представлены теоретические

выкладки расчетных моделей для системы топливоподдачи, позволяющие исследовать взаимосвязь изменения технического состояния отдельных элементов этой системы. Рассмотрена имитационная модель технического состояния для системы топливоподдачи с введением искусственного сопротивления в топливной магистрали в линии нагнетания, имитирующего засорение топливного фильтра или износ электрического бензинового насоса. Представлены результаты исследований. Обоснованы диагностические

режимы и параметры для диагностирования элементов системы топливоподдачи, предлагается набор приборных средств.

В результате проведения экспериментальных исследований были получены графические зависимости. Выявлено, что наибольшей чувствительностью к росту гидравлического сопротивления обладает диагностический параметр – разность величин токов при одинаковой величине напряжения питания бензонасосов. Определено, что наибольшей информативностью

**Александр Владимирович Гриценко**, д-р техн. наук, доцент; кафедра «Эксплуатация автотранспорта и производственное обучение» Южно-Уральского государственного аграрного университета; Челябинск, Россия. E-mail: alexgrits13@mail.ru.

**Константин Вячеславович Глемба**, канд. техн. наук, доцент; кафедра «Эксплуатация автомобильного транспорта» Южно-Уральского государственного университета; кафедра «Эксплуатация автотранспорта и производственное обучение» Южно-Уральского государственного аграрного университета; Челябинск, Россия. E-mail: glemba77@mail.ru.

**Олег Николаевич Ларин**, д-р техн. наук, профессор; ведущий научный сотрудник Российского института стратегических исследований; Москва, Россия. E-mail: larin\_on@mail.ru.

**Aleksandr Vladimirovich Gritsenko**, DSc in Engineering, Associate Professor; Operation of Vehicles and In-Service Training Department, South Ural State Agrarian University; Chelyabinsk, Russia. E-mail: alexgrits13@mail.ru.

**Konstantin Vyacheslavovich Glemba**, PhD in Engineering, Associate Professor; Operation of Vehicles Department, South Ural State University; Operation of Vehicles and In-Service Training Department, South Ural State Agrarian University; Chelyabinsk, Russia. E-mail: glemba77@mail.ru.

**Oleg Nikolayevich Larin**, DSc in Engineering, Professor; Leading Research Scientist of Russian Institute for Strategic Studies; Moscow, Russia. E-mail: larin\_on@mail.ru.

роста сопротивления в линии топливоподачи обла- дает зависимость вели- чины тока от напряжения пи- тания насоса.

**Ключевые слова:** система топливоподачи, электриче- ский бензиновый насос, диа- гностирование, тестирова- ние, техническое состояние, диагностический параметр.

DOI:10.20291/2079-0392-2016-2-47-55

### Summary

Presentation of studies of complex output parameters of electric pumps of motor vehicles with artificial forma- tion of hydraulic resistance in the discharge line. As a result of detection and identification of the faulty element during diagnostics of the fuel supply

system a need has arisen to justify diagnostic modes and parameters. The analysis of possible output parameters of complex automotive fuel pumps has been performed. Theoretic calculations of de- sign models for fuel supply system are presented, that help research relationship of modifications of technical state of individual elements of this system. We have stu- died a simulation model of technical state of the fuel sys- tem with the introduction of artificial resistance to the fuel line in the discharge line, imi- tating clogging of the fuel fil- ter or the wear of the elec- tric fuel pump. Research re- sults are presented. We have provided justification of diag- nostic modes and parameters

for the diagnosis of fuel sys- tem components, providing a set of instrumental resources.

As a result of experimental study graphic curves were obtained. It was revealed that the most sensitive to the increase in hydraulic resi- stance is the diagnostic pa- rameter – the difference between the current strength values given equal fuel pumps supply voltage. It was determined that the most informative in resistance growth in the fuel line is the current strenth function of pump supply vol- tage.

**Keywords:** fuel supply system, electric fuel pump, diagnostics, testing, technical state, diagnostic parameter.

DOI:10.20291/2079-0392-2016-2-47-55

**К**онструкция легковых автомо- билей – самых массовых источ- ников загрязнения окружающей среды токсичными и вредными выбросами – подвергается непрерывному совершен- ствованию [1–5]. Это, например, раз- работка и внедрение в производство эффективных технических устройств, уменьшающих выброс таких токсич- ных веществ, как CO, NO<sub>x</sub>, CH, а так- же твердых частиц сажи в составе от- работавших газов (ОГ). Современная система топливоподачи (СТ) насыщена электронными, механическими и гид- раулическими элементами. Возможны- ми причинами отказа СТ могут быть неисправности электрического бензо- насоса (ЭБН), отказ реле включения ЭБН, неисправность электропроводки цепи управления или включения ЭБН, засорение топливных фильтров и др. [1–11]. Внешне отказы СТ: двига- тель не развивает мощности, появля- ются рывки, провалы, подергивание, наступает неустойчивая работа ДВС на холостом ходу, двигатель беспри- чинно резко набирает обороты (газу- ет), невозможно выставить выброс CO [2–21]. Значительную сложность при

диагностике СТ представляет поиск и определение неисправного элемен- та, в частности, ЭБН.

Для обоснования диагностических режимов и параметров проведем ана- лиз возможных комплексных выход- ных параметров автомобильных ЭБН. Расчетная (теоретическая) произво- дительность насоса  $q$  за один оборот (ра- бочий объем) равна объему, описывае- мому его поршнями, см<sup>3</sup>/об [1–21]:

$$q = \frac{\pi \cdot d^2 h \cdot z}{4}, \quad (1)$$

где  $d$  – диаметр цилиндра, см;  $h$  – ход поршня, см;  $z$  – число поршней.

Учитывая, что ход поршня равен двойному эксцентриситету  $h = 2e$ , по- лучим выражение для объема, описы- ваемого поршнями насоса:

$$q = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot e \cdot z}{2}. \quad (2)$$

Минутная теоретическая произво- дительность будет равна, см<sup>3</sup>/об:

$$Q = q \cdot n = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot e \cdot z \cdot n}{2}, \quad (3)$$

где  $n$  – число оборотов насоса, мин<sup>-1</sup>.

Расчетная теоретическая модель для СТ, позволяющая исследовать взаимосвязь  $n_{\max}$  от изменения технического состояния отдельных элементов СТ:

$$n_{\max} = \frac{\left( \mu_{\Phi} \cdot f_{\Phi} \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho_T} (P_0 - P_K)} \right) \cdot 10^9 \cdot t_p}{8,3 \cdot t_3 \cdot K \cdot i \cdot Q_{\text{цmax}} \cdot \frac{\tau_{\max}}{T_{\min}}} - \frac{1}{10^{-3} \cdot i \cdot Q_{\text{цmax}} \cdot \frac{\tau_{\max}}{T_{\min}}}, \quad (4)$$

где  $K$  – коэффициент запаса производительности;  $i$  – число цилиндров двигателя, шт.;  $Q_{\text{цmax}}$  – максимальная цикловая подача при максимальной частоте вращения двигателя, см<sup>3</sup>;  $\tau_{\max}$  – длительность импульса при максимальной цикловой подаче, с;  $T_{\min}$  – минимальный период следования цикловых подач, с;  $n_{\max}$  – максимальная частота вращения коленчатого вала двигателя, мин<sup>-1</sup>; 30 л/ч – минимальный расход через редукционный клапан, при котором устойчиво поддерживается постоянное давление топлива в системе;  $t_p$  – время выработки топлива форсункой, с;  $t_3$  – время заполнения рампы и топливных магистралей топливом, с;  $\mu_{\Phi}$  – коэффициент расхода;  $f_{\Phi}$  – площадь сечения форсунки, м<sup>2</sup>;  $\rho_T$  – плотность топлива, кг/м<sup>3</sup>;  $P_0$  – давление топлива в рампе, МПа;  $P_K$  – противодавление впрыску, МПа.

Величина давления в топливной магистрали определится по выражению, МПа:

$$P = \frac{Q^2 \cdot \rho}{2(\mu_{\text{общ}} \cdot f_{\text{общ}})^2}. \quad (5)$$

Изменения давления и пропускной способности СТ связаны с изменением расходных характеристик электромагнитных форсунок, сопротивлением фильтров, техническим состоянием насоса. Из-за различных механизмов проявления неисправностей и изменением технического состояния СТ рассмотрим имитационную модель

этой системы. Так, например, засорение топливного фильтра можно представить последовательным сопротивлением в топливной магистрали, а износ электрического бензинового насоса – параллельным сопротивлением. Запишем данное условие для системы топливоподачи, при этом общая динамическая пропускная способность  $\mu_{\text{общ}}$  и  $f_{\text{общ}}$  всех элементов системы топливоподачи определится:

$$\frac{1}{\mu_{\text{общ}} \cdot f_{\text{общ}}} = \frac{1}{\mu_{\text{н}} \cdot f_{\text{н}}} + \frac{1}{\mu_{\text{посл}} \cdot f_{\text{посл}}}, \quad (6)$$

где  $\mu_{\text{посл}} \cdot f_{\text{посл}}$  – динамическая пропускная способность последовательных элементов, м<sup>2</sup>;  $\mu_{\text{н}} \cdot f_{\text{н}}$  – динамическая пропускная способность насоса, м<sup>2</sup>.

Динамическая пропускная способность последовательных элементов системы топливоподачи:

$$\mu_{\text{посл}} \cdot f_{\text{посл}} = \mu_{\Phi} \cdot f_{\Phi} + \mu_{i \cdot \text{ЭМФ}} \cdot f_{i \cdot \text{ЭМФ}}, \quad (7)$$

где  $\mu_{\Phi} \cdot f_{\Phi}$  – динамическая пропускная способность фильтра, м<sup>2</sup>;  $\mu_{i \cdot \text{ЭМФ}} \cdot f_{i \cdot \text{ЭМФ}}$  – динамическая пропускная способность  $i$ -х электромагнитных форсунок, м<sup>2</sup>.

При изменении сопротивления топливного фильтра будет ограничена подача ЭБН. При этом максимально возможная частота вращения коленчатого вала ДВС уменьшится. Для оценки сопротивления топливного фильтра можно записать:

$$K_{\text{сф}} = \frac{n_{\max \text{Д}}}{n_{\max \text{Э}}}, \quad (8)$$

где  $n_{\max \text{Д}}$  – максимальная частота вращения диагностируемого ДВС, мин<sup>-1</sup>;  $n_{\max \text{Э}}$  – максимальная частота вращения эталонного ДВС, мин<sup>-1</sup>.

Однако такие неисправности, как значительное сопротивление топливного фильтра и уменьшение подачи ЭБН, проявляются одинаково. Для их разделения предлагается измерять ток питания ЭБН. В этом случае можно записать условие для топливного фильтра:

$$K_{\text{сф}} = \frac{n_{\max \text{Д}}}{n_{\max \text{Э}}} \text{ при } I_{\text{д}} \gg I_{\text{Э}}, \quad (9)$$

где  $I_D$  – сила тока питания диагностируемого ЭБН, А;  $I_3$  – сила тока питания нового ЭБН, А.

По мере роста сопротивления топливного фильтра будет пропорционально возрастать сила тока питания ЭБН. Данный диагностический параметр при условии (9) чувствителен при оценке технического состояния топливного фильтра.

При чистом фильтре условие (9) примет вид

$$K_{\text{сф}} = \frac{n_{\text{max Д}}}{n_{\text{max Э}}} \text{ при } I_D = I_3. \quad (10)$$

Величина силы тока примет значение силы тока работы нового ЭБН, и это значит, что причиной снижения частоты вращения является износ ЭБН.

### Методика диагностирования

Для проведения экспериментальных исследований устанавливался ЭБН с выходными параметрами, соответствующими заводским нормам. С целью имитации изношенности ЭБН устанавливались в линию СТ жиклеры диаметров  $d = 1,2$  и  $d = 0,3$  мм. Исследования проводились на двигателе ЗМЗ-4062.

Для изменения параметров тока и напряжения питания ЭБН использовался лабораторный блок «Вымпел-55», имеющий функции корректировки сопротивления электрической цепи, изменяющий и поддерживающий ток и напряжение питания ЭБН в пределах: 0–15 А с дискретностью 0,1 А; 0–18 В с интервалами в 0,1 В. Контроль давления линии топливоподачи осуществлялся манометром марки МТ-2А.

### Результаты экспериментальных исследований

В результате проведения экспериментальных исследований получены зависимости (рис. 1–3) для трех вариантов: 1 – без жиклера с штатными параметрами ЭБН; 2 – с жиклером диаметром сечения  $d = 1,2$  мм; 3 – с жиклером диаметром сечения  $d = 0,3$  мм.

Так, по зависимости на рис. 1 видно, что для вариантов 1 (без жиклера с штатными параметрами ЭБН) и 2 (с жиклером с диаметром сечения  $d = 1,2$  мм) изменения практически идентичны. Однако при установке жиклера с диаметром сечения  $d = 0,3$  мм уже при напряжении  $U = 10$  В разница

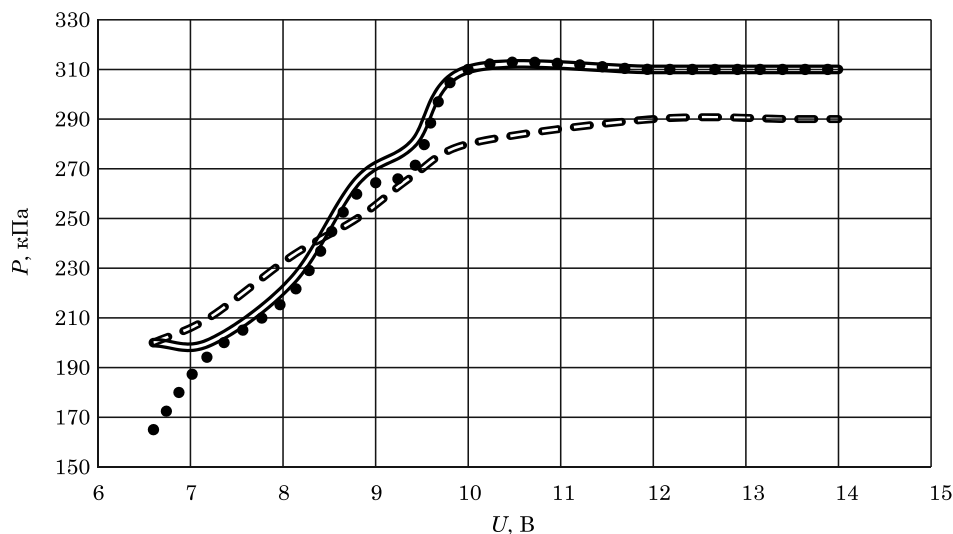


Рис. 1. Зависимость величины давления  $P$ , кПа развиваемого ЭБН от напряжения  $U$ , В его питания

● ● ● без жиклера; — жиклер  $d = 1,2$  мм; - - жиклер  $d = 0,3$  мм

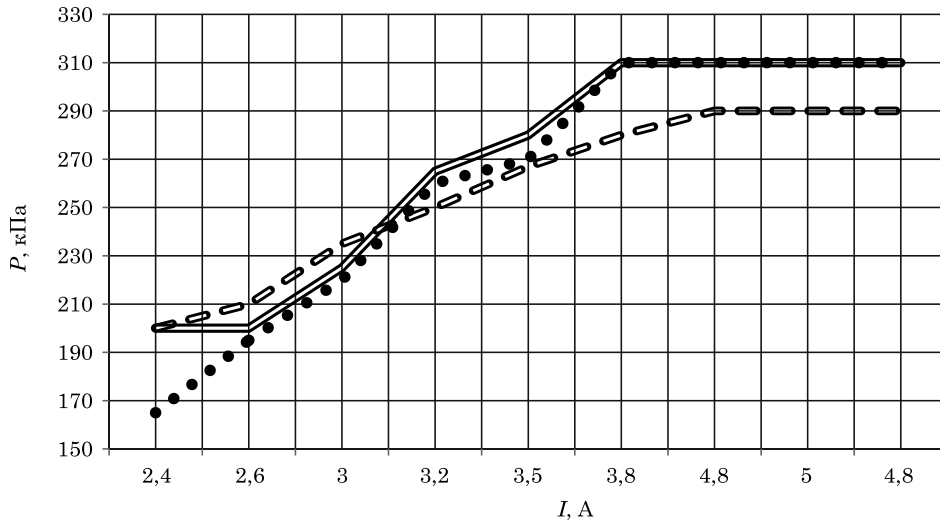


Рис. 2. Зависимость величины давления  $P$ , кПа развиваемого ЭБН от тока  $I$ , А его питания

• • • без жиклера; — жиклер  $d = 1,2$  мм; - - жиклер  $d = 0,3$  мм

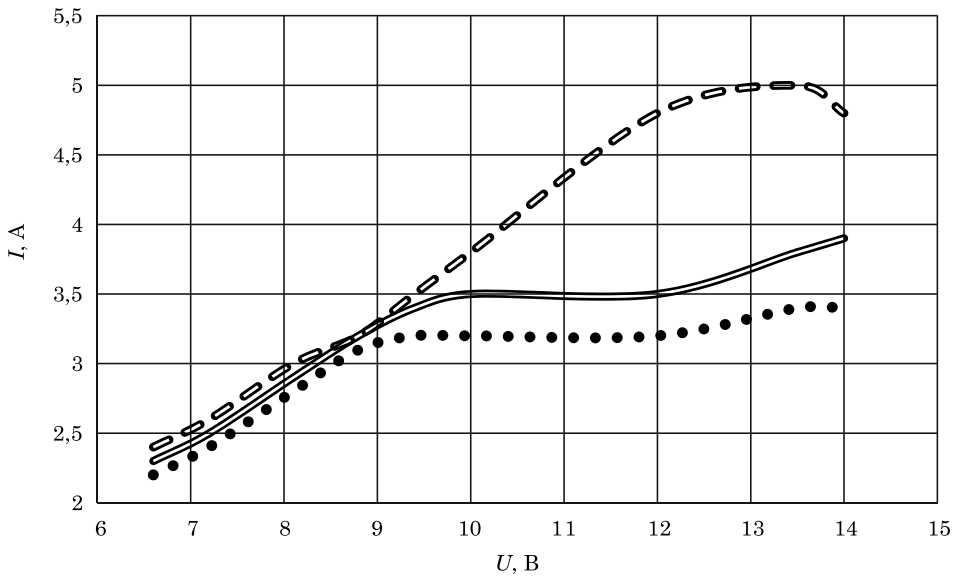


Рис. 3. Зависимость величины тока  $I$ , А от напряжения  $U$ , В его питания

• • • без жиклера; — жиклер  $d = 1,2$  мм; - - жиклер  $d = 0,3$  мм

давлений между вариантом 3 (с жиклером с диаметром сечения  $d = 0,3$  мм) и 2 (с жиклером с диаметром сечения  $d = 1,2$  мм) составляет 30 кПа. Далее, в интервале напряжения от 10 до 14 В, разница давлений сохраняется

на уровне 20–30 кПа, т.е. возникает перепад давлений, который может имитировать увеличение сопротивления топливного фильтра. Таким образом, перепад давлений в области напряжений 10–14 В может характеризовать

повышенное гидравлическое сопротивление топливного фильтра. Однако более информативным и чувствительным диагностическим параметром для определения технического состояния топливного фильтра и ЭБН является зависимость изменения уровня давления от величины тока питания насоса (рис. 2).

Разность давлений для вариантов 1 и 3 при величине тока  $I = 3,8$  А составляет 30 кПа. С увеличением тока питания насоса перепад давления сохраняется на уровне 20 кПа. Отклонение величины тока питания ЭБН от номинального характеризует рост сопротивления в линии нагнетания, что также служит чувствительным диагностическим параметром к определению технического состояния ЭБН и топливного фильтра. Наибольшей чувствительностью и информативностью к росту сопротивления в линии топливоподачи обладает зависимость величины тока  $I$ , А от напряжения  $U$ , В питания насоса (рис. 3).

Так, разность величины тока между вариантами 1 и 2 при 10 В составляет 0,3 А, между вариантами 2 и 3 – 0,3 А. Однако при 12 В эта разница уже более ощутима; так, для вариантов 1 и 2 составляет 0,3 А, а вот для вариантов 2 и 3 – 1,3 А. Таким образом, наибольшей чувствительностью к росту гидравлического сопротивления обладает

следующий диагностический параметр: разность величин токов при одинаковой величине напряжения питания ЭБН.

Отказы элементов системы топливоподачи автомобилей находятся в ряду первых, так как на их долю приходится 20–30 % отказов. Определено, что наибольшей информативностью роста сопротивления в линии топливоподачи обладает зависимость величины тока  $I$ , А от напряжения  $U$ , В питания насоса. При этом разность величины тока между вариантами 1 (без жиклера со штатными параметрами ЭБН) и 2 (с жиклером диаметром сечения  $d = 1,2$  мм) при 10 В составляет 0,3 А, между вариантами 2 (с жиклером с диаметром сечения  $d = 1,2$  мм) и 3 (с жиклером с диаметром сечения  $d = 0,3$  мм) – 0,3 А. С увеличением  $U$  разность более ощутима; так, для вариантов 1 и 2 она составляет 0,3 А, а вот для варианта 2 (с жиклером с диаметром сечения  $d = 1,2$  мм) и варианта 3 (с жиклером с диаметром сечения  $d = 0,3$  мм) – 1,3 А.

Таким образом, в результате исследований выявлен оптимальный диагностический параметр: разность величин токов при одинаковой величине напряжения питания ЭБН, который наиболее чувствительный к росту гидравлического сопротивления в линии СТ. ■

### Литература

1. Ерохов В. И. Системы впрыска бензиновых двигателей (конструкция, расчет, диагностика) : учебник для вузов. М. : Горячая линия, 2011. 552 с. ISBN 978-5-9912-0130-82.
2. Гриценко А. В., Цыганов К. А. Диагностирование электрических бензонасосов автомобилей // Механизация и электрификация сельского хозяйства, 2013. № 4. С. 22–23. ISSN 0206-572X.
3. Гриценко А. В., Плаксин А. М. Диагностирование системы питания ДВС // Механизация и электрификация сельского хозяйства, 2014. № 1. С. 24–26. ISSN 0206-572X.
4. Бакайкин Д. Д. Диагностирование электромагнитных форсунок бензиновых двигателей автомобилей, эксплуатируемых в сельском хозяйстве : дис... на соиск. уч. ст. канд. техн. наук. – Челябинск, 2013. 124 с.
5. Гриценко А. В. Разработка методов тестового диагностирования работоспособности систем питания и смазки двигателей внутреннего сгорания (экспериментальная и производственная реализация на примере ДВС автомобилей) : дис... на соиск. уч. ст. докт. техн. наук. – Челябинск, 2014. 397 с.
6. Плаксин А. М., Гриценко А. В., Глемба К. В., Бакайкин Д. Д. и др. Диагностирование электрических бензиновых насосов по комплексным выходным параметрам // Фундаментальные исследования, 2014. № 11 (ч. 12). С. 2610–2614. ISSN 1812-7339.

7. Пласин А. М., Гриценко А. В., Лукомский К. И., Волынкин В. В. Разработка методов тестового диагностирования работоспособности систем топливоподачи и смазки двигателей внутреннего сгорания // *Аграрный вестник Урала*, 2014. № 7 (125). С. 51–58. ISSN 1812-7339.
8. Пат. РФ № 2418190 RU F 02 М 65/00. Способ диагностирования системы топливоподачи двигателя / А. В. Гриценко, Д. Д. Бакайкин, С. С. Куков. № 2009123798. Заявл. 22.06.09. Оpubл. 10.05.11. Бюл. № 13.
9. Пат. РФ № 2477384 RU F 02 М 65/00. Способ диагностирования электробензонасосов системы топливоподачи автомобиля / А. В. Гриценко, С. С. Куков, Цыганов К. А., Горбунов А. В. № 2012109956. Заявл. 14.03.12. Оpubл. 10.03.13. Бюл. № 7.
10. Гриценко А. В. Диагностирование систем двигателя внутреннего сгорания бестормозным методом с перераспределением цилиндровых нагрузок. Челябинск : АПК России, 2011. Т. 58. С. 108–110. ISBN 2227-7005.
11. Гриценко А. В., Куков С. С. Разработка эффективных средств и методов диагностирования двигателей внутреннего сгорания автомобилей. Челябинск : АПК России, 2011. Т. 58. С. 111–117. ISBN 2227-7005.
12. Гриценко А. В., Бакайкин Д. Д., Куков С. С. Способ диагностирования системы топливоподачи двигателей внутреннего сгорания легковых автомобилей. Челябинск : Вестник ЧГАА, 2011. Т. 59. С. 30–32. ISBN 2227-7005.
13. Гриценко А. В., Пласин А. М., Глемба К. В., Ганиев И. Г., Лукомский К. И. Результаты исследования выходных характеристик электрических насосов автомобилей при имитации сопротивления в нагнетательном топливопроводе // *Фундаментальные исследования*, 2014. № 11 (ч. 5). С. 991–995. ISSN 1812-7339.
14. Гриценко А. В., Пласин А. М. Оптимизация процесса диагностирования авто-тракторной техники минимизацией затрат // *Вестник ЧГАА*, 2013. Т. 63. С. 42–46. ISBN 2227-7005.
15. Гриценко А. В., Глемба К. В., Ларин О. Н., Куков С. С. и др. Разработка методов и средств диагностирования элементов топливной системы бензиновых ДВС // *Контроль. Диагностика*, 2015. № 3. С. 62–67. ISSN 0201-7032.
16. Гриценко А. В., Глемба К. В., Ларин О. Н., Куков С. С., Бакайкин Д. Д. Разработка метода и средства диагностирования электробензонасосов системы топливоподачи ДВС // *Транспорт: наука, техника, управление*, 2015. № 1. С. 40–44. ISSN 0236-1914.
17. Пласин А. М., Гриценко А. В., Глемба К. В., Хвостов С. П. и др. Диагностирование электромагнитных форсунок по изменению качественного состава топливной смеси // *Фундаментальные исследования*, 2014. № 11 (ч. 11). С. 2380–2384. ISSN 1812-7339.
18. Гриценко А. В., Глемба К. В., Ларин О. Н., Куков С. С., Бакайкин Д. Д. Новый метод, средство и программная среда для тестирования ЭМФ автомобиля // *Известия ВолгГТУ*. 2014. № 6(145). Т. 18. Сер. : «Процессы преобразования энергии и энергетические установки». С. 53–56. ISSN 1990-5297.
19. Гриценко А. В., Глемба К. В., Ларин О. Н. Приборные методы и средства повышения экологической безопасности на автотранспорте / Сб. науч. трудов междун. науч.-практ. конф. Воронеж : ВГУЛТА, 2014. Т. 1. С. 200–205. ISBN 978-5-7994-0626-4.
20. Гриценко А. В., Глемба К. В., Ларин О. Н. К вопросу диагностирования элементов системы топливоподачи ДВС / Сб. науч. трудов научн.-практич. конф. «Экология и научно-технический прогресс. Урбанистика». Пермь : ПНИПУ, 2014. № 1. С. 264–270.
21. Карпенко А. Г. Глемба К. В., Белевитин В. А. Автомобильные эксплуатационные материалы : учебное пособие. Челябинск : ЧГПУ, 2014. 124 с. ISBN 978-5-906777-00-3.

## References

1. Yerokhov V. I. *Sistemy vpryska benzinovykh dvigateley (konstruktsiya, raschet, diagnostika): uchebnik dlya vuzov* [Injection systems for gasoline engines (structure, computation, diagnostics): textbook for universities]. M. : Goryachaya liniya, 2011. 552 s. ISBN 978-5-9912-0130-82.
2. Gritsenko A. V., Tsyganov K. A. *Diagnostirovaniye elektricheskikh benzonasosov avtomobiley* [Diagnostics of electric gasoline pumps for motor vehicles] // *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya selskogo khozyaystva*, 2013. № 4. S. 22–23. ISSN 0206-572X.



3. Gritsenko A.V., Plaksin A.M. Diagnostirovaniye sistemy pitaniya DVS [Diagnostics of power supply system of internal combustion engine] // Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya selskogo khozyaystva, 2014. № 1. S. 24–26. ISSN 0206-572X.
4. Bakaykin D.D. Diagnostirovaniye elektromagnitnykh forsunok benzinovykh dvigateley avtomobiley, ekspluatiruyemykh v selskom khozyaystve [Diagnosing solenoid injectors of gasoline engines of motor vehicles operating in agriculture]: dis... na soisk. uch. st. kand. tekhn. nauk. – Chelyabinsk, 2013. 124 s.
5. Gritsenko A.V. Razrabotka metodov testovogo diagnostirovaniya rabotosposobnosti sistem pitaniya i smazki dvigateley vnutrennego sgoraniya (eksperimentalnaya i proizvodstvennaya realizatsiya na primere DVS avtomobiley) [Development of methods for test diagnosis of performance of feed and lubrication systems of internal combustion engines (experimental and industrial implementation by the example of ICE of a motor vehicle)]: dis... na soisk. uch. st. dokt. tekhn. nauk. – Chelyabinsk, 2014. 397 s.
6. Plaksin A.M., Gritsenko A.V., Glemba K.V., Bakaykin D.D., and others. Diagnostirovaniye elektricheskikh benzinovykh nasosov po kompleksnym vykhodnym parametram [Diagnostics of electric fuel pumps against complex output parameters] // Fundamentalnye issledovaniya, 2014. № 11 (Ch. 12). S. 2610–2614. ISSN 1812-7339.
7. Plaksin A.M., Gritsenko A.S., Lukomsky K.I., Volynkin V.V. Razrabotka metodov testovogo diagnostirovaniya rabotosposobnosti sistem toplivopodachi i smazki dvigateley vnutrennego sgoraniya [Development of methods for test diagnosis of performance of fuel and lubrication systems of internal combustion engines] // Agrarny vestnik Urala, 2014. № 7 (125). S. 51–58. ISSN 1812-7339.
8. Pat. RF № 2418190 RU F 02 M 65/00. Sposob diagnostirovaniya sistemy toplivopodachi dvigatelya [Method for engine fuel supply system diagnosis] / Gritsenko A.V., Bakaykin D.D., Kukov S.S. № 2009123798. Rep. 22.06.09. Publ. 10.05.11. Bul. № 13.
9. Pat. RF № 2477384 RU F 02 M 65/00. Sposob diagnostirovaniya elektrobenzonasosov sistemy toplivopodachi avtomobilya [Method for diagnosis of motor vehicle fuel system electric fuel pumps] / Gritsenko A.V., Kukov S.S., Tsyganov K.A., Gorbunov A.V. № 2012109956. Rep. 14.03.12. Publ. 10.03.13. Bul. № 7.
10. Gritsenko A.V. Diagnostirovaniye sistem dvigatelya vnutrennego sgoraniya bestormoznym metodom s pereraspredeleniyem tsilindrovyykh nagruzok [Diagnosis of internal combustion engine systems using non-brake method for redistribution of cylinder loads]. Chelyabinsk : APK Rossii, 2011. T. 58. S. 108–110. ISBN 2227-7005.
11. Gritsenko A.V., Kukov S.S. Razrabotka effektivnykh sredstv i metodov diagnostirovaniya dvigateley vnutrennego sgoraniya avtomobiley [Development of effective means and methods for diagnosis of motor vehicle internal combustion engines]. Chelyabinsk : APK Rossii, 2011. T. 58. S. 111–117. ISBN 2227-7005.
12. Gritsenko A.V., Bakaykin D.D., Kukov S.S. Sposob diagnostirovaniya sistemy toplivopodachi dvigateley vnutrennego sgoraniya legkovyykh avtomobiley [Method for diagnosis of the fuel supply system for internal combustion engines of motor cars]. Chelyabinsk : Vestnik ChGAA, 2011. T. 59. S. 30–32. ISBN 2227-7005.
13. Gritsenko A.V., Plaksin A.M., Glemba K.V., Ganiyev I.G., Lukomsky K.I. Rezultaty issledovaniya vykhodnykh kharakteristik elektricheskikh nasosov avtomobiley pri imitatsii soprotivleniya v nagnetatelnom toplivoprovode [Results of study of output characteristics of an electric pumps of motor vehicles when simulating resistance in the discharge line] // Fundamentalnye issledovaniya, 2014. № 11 (Ch. 5). S. 991–995. ISSN 1812-7339.
14. Gritsenko A.V., Plaksin A.M. Optimizatsiya protsessa diagnostirovaniya avtotraktornoy tekhniki minimizatsiyey zatrat [Optimization of diagnostics process for automotive engineering through cost minimization] // Vestnik ChGAA, 2013. T. 63. S. 42–46. ISBN 2227-7005.
15. Gritsenko A.V., Glemba K.V., Larin O.N., Kukov S.S., and others. Razrabotka metodov i sredstv diagnostirovaniya elementov toplivnoy sistemy benzinovykh DVS [Development of methods and diagnostic means for fuel system components of gasoline combustion engines] // Kontrol. Diagnostika, 2015. № 3. S. 62–67. ISSN 0201-7032.
16. Gritsenko A.V., Glemba K.V., Larin O.N., Kukov S.S., Bakaykin D.D. Razrabotka metoda i sredstva diagnostirovaniya elektrobenzonasosov sistemy toplivopodachi DVS [Development of methods and diagnostic means for electric fuel pumps of the fuel supply

- system for combustion engines] // Transport: nauka, tekhnika, upravleniye, 2015. № 1. S. 40–44. ISSN 0236-1914.
17. Plaksin A.M., Gritsenko A.V., Glemba K.V., Khvostov S.P., and others. Diagnostirovaniye elektromagnitnykh forsunok po izmeneniyu kachestvennogo sostava toplivnoy smesi [Diagnosis of solenoid injectors against change in qualitative composition of the fuel mixture] // Fundamentalnye issledovaniya, 2014. № 11 (Ch. 11). S. 2380–2384. ISSN 1812-7339.
  18. Gritsenko A.V., Glemba K.V., Larin O.N., Kukov S.S., Bakaykin D.D. Novy metod, sredstvo i programmaya sreda dlya testirovaniya EMF avtomobilya [New methods, tools and software environment for testing EMF of a motor vehicle] // Izvestiya VolgGTU. 2014. № 6 (145). T. 18. Ser.: «Protssy preobrazovaniya energii i energeticheskiye ustanovki». S. 53–56. ISSN 1990-5297.
  19. Gritsenko A.V., Glemba K.V., Larin O.N. Pribornye metody i sredstva povysheniya ekologicheskoy bezopasnosti na avtotransporte [Instrumental methods and means to improve environmental safety of automobile transportation] / Sb. nauch. trudov mezhdun. nauch.-prakt. konf. Voronezh: VGLTA, 2014. T. 1. S. 200–205. ISBN 978-5-7994-0626-4.
  20. Gritsenko A.V., Glemba K.V., Larin O.N. K voprosu diagnostirovaniya elementov sistemy toplivopodachi DVS [On the problem of diagnosis of the internal combustion engine fuel system components] / Sb. nauch. trudov nauch.-praktich. konf. «Ekologiya i nauchno-tekhnichesky progress. Urbanistika». Perm : PNIPU, 2014. № 1. S. 264–270.
  21. Karpenko A. G., Glemba K.V., Belevitin V.A. Avtomobilnye ekspluatatsionnye materialy: uchebnoye posobiye [Motor Vehicle Operational Materials: training material]. Chelyabinsk : ChGPU, 2014. 124 s. ISBN 978-5-906777-00-3.

*Статья сдана в редакцию 7 февраля 2016 года*

УДК 681.518.5:004.052.32

*Д. В. Ефанов, В. В. Дмитриев, В. Г. Алексеев*

## **Повышение эффективности технологии мониторинга средствами системы АПК-ДК за счет использования при обработке диагностических данных взвешенных кодов с суммированием без переносов**

UDC 681.518.5:004.052.32

*D.V. Yefanov, V.V. Dmitriyev, V.G. Alekseyev*

## **Increasing effectiveness of monitoring technology by means of APK-DK system using diagnostic data of weighted sum codes without drifting**

### **Аннотация**

Повышение эффективности функционирования системы технического диагностирования и мониторинга «Аппаратно-программный комплекс диспетчерского контроля» (АПК-ДК) возможно за счет снижения временных затрат на обработку диагностической информации от контроллеров дискретного ввода данных. Для этого предлагается использование в драйверах программ системы АПК-ДК модифицированных взвешенных кодов с суммированием с минимальным общим количеством необнаруживаемых ошибок в информационных векторах, а также возможностью идентификации 100 % двукратных ошибок в информационных

векторах. Подразумевается изменение процедуры сравнения диагностических данных и контроля их целостности путем замены вычисления хэш-сумм для блока данных и операции побитового сравнения на операцию вычисления контрольного вектора модифицированного взвешенного кода и анализу корректности диагностической информации по значениям разрядов контрольных векторов. Такая замена позволяет увеличить быстродействие обработки диагностической информации, что, в свою очередь, дает возможность увеличения периода опроса датчиков контроллеров дискретных данных, а также улучшить работу логико-временных моделей автоматической обработки

диагностической информации. Предлагаемое техническое решение позволяет улучшить технологию мониторинга устройств железнодорожной автоматики и телемеханики и создать предпосылки к разработке высокоэффективных подсистем обработки диагностической информации в системах технического диагностирования и мониторинга. Повышение эффективности систем технического диагностирования и мониторинга снижает влияние человеческого фактора на процесс анализа данных в дистанциях сигнализации, централизации и блокировки и в ситуационных центрах мониторинга, что приближает переход к современной стратегии технического обслуживания

**Дмитрий Викторович Ефанов**, канд. техн. наук, доцент; кафедра «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I; Санкт-Петербург, Россия. E-mail: TrES-4b@yandex.ru.

**Вячеслав Владимирович Дмитриев**, ассистент; кафедра «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I; Санкт-Петербург, Россия. E-mail: webus@pisem.net.

**Валерий Геннадьевич Алексеев**, ведущий инженер; ЗАО «МГП «ИМСАТ»; Санкт-Петербург, Россия. E-mail: valerii.alexeev@gmail.com.

**Dmitry Viktorovich Yefanov**, PhD in Engineering, Associate Professor; Railway Automation, Telemechanics & Communication Department, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University; St. Petersburg, Russia. E-mail: TrES-4b@yandex.ru.

**Vyacheslav Vladimirovich Dmitriyev**, Assistant; Railway Automation and Telemechanics Department, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University; St. Petersburg, Russia. E-mail: webus@pisem.net.

**Valery Gennadyevich Alekseyev**, Lead Engineer; CJSC «MGP «IMSAT»; St. Petersburg, Russia. E-mail: valerii.alexeev@gmail.com.

устройств автоматики «по состоянию».

**Ключевые слова:** железнодорожная автоматика и телемеханика, система технического диагностирования и мониторинга, аппаратно-программный комплекс диспетчерского контроля, обработка диагностической информации, автоматизация обработки данных, повышение эффективности, взвешенный код с суммированием без переносов.

DOI:10.20291/2079-0392-2016-2-56-66

### Summary

Enhancing functional efficiency of technical diagnostics and monitoring system «Hardware and Software Complex for Supervisory Control» (APK-DK) is possible by reducing the times spent on processing the diagnostic information from the digital data input controllers. For these purposes we propose use of modified weighted sum codes with the mini-

mum total number of undetected errors in the information vectors, and a possibility of identifying 100 % of double errors in the information vectors in the software drivers of APK-DK system. We imply change in procedure for comparison of diagnostic data and control of their integrity by replacing calculations of hash sums for the data block and the operation of bit comparisons for an operation of calculating the control vector of modified weighted sum code and analysis of correctness of diagnostic information against values of bits of control vectors. Such replacement helps increase processing speed of diagnostic data, which in turn makes it possible to increase the period of sampling of discrete data controller sensors, as well as improve the performance of logic-temporal models of automatic processing of diagnostic data. Proposed technical solution makes it possible to improve monitoring of railway

automation and remote control of devices and technology and to create preconditions for development of high-performance subsystems for processing of diagnostic information in technical diagnosis and monitoring systems. Improving efficiency of technical diagnosis and monitoring systems reduces the influence of human factor on data analysis within signalling, centralisation and blocking ranges and situational monitoring centers, which advances the transition to a modern strategy of «by condition» maintenance of automation devices.

**Keywords:** railway automation and remote control, technical diagnosis and monitoring system, hardware and software complex for supervisory control, processing the diagnostic information, automation of data processing, improving efficiency, weighted sum code without transfer.

DOI:10.20291/2079-0392-2016-2-56-66

Для повышения отказоустойчивости устройств сигнализации, централизации и блокировки и совершенствования технологий их технического обслуживания используются автоматизированные средства технического диагностирования и мониторинга [1–4]. Системы технического диагностирования и мониторинга устройств сигнализации, централизации и блокировки разрабатываются с начала 1990-х гг. и совершенствуются по сей день [5]. До сих пор нерешенными являются многие задачи, в том числе такие, как выбор контрольных точек для подключения измерительных контроллеров, совершенствование технологии обработки диагностической информации, повышение уровня автоматизации обработки данных, снижение количества фиксируемых ложно

диагностических ситуаций (отказов, предотказов, фактов технического обслуживания) [6–10].

На железных дорогах страны широко используется аппаратно-программный комплекс диспетчерского контроля (АПК-ДК) [2, 5]. В настоящее время система АПК-ДК производится двумя фирмами – ООО «Компьютерные информационные технологии» и ЗАО МПТ ИМСАТ. В рамках всеобщей тенденции совершенствования технологии мониторинга сотрудниками данных предприятий с привлечением научных кадров кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» ПГУПС проводятся мероприятия по повышению уровня автоматизации обработки данных, в том числе по увеличению точности технического диагностирования и прогнозирования предотказных ситуаций. С этой

целью создаются новые измерительные контроллеры, разрабатываются методы кодирования диагностической информации, в программное обеспечение системы внедряются современные логико-временные модели [11, 12].

### Обработка дискретных данных в системе АПК-ДК

Рассмотрим технологию получения дискретной диагностической информации в системе АПК-ДК и ее обработки на примере промышленного промышленного контроллера ПИК-120 (рис. 1).

ПИК-120 предназначен для получения дискретных сигналов в информационно-управляющих системах и взаимодействия с более высокими уровнями системы АПК-ДК. Один прибор ПИК-120 позволяет получить данные о 120 дискретных состояниях и подключается, например, к лампам пульта-табло дежурных по станции или на «сухие» контакты реле. Зачастую одного прибора недостаточно, и используют установку сразу же нескольких ПИК-120. Сами контроллеры располагают в шкафу УКС-4 (устройство коммутирующее станционное). В УКС-4 помещается от одного до четырех приборов ПИК-120, блок питания (или блок питания с конвертером RS-485 для обмена) и кабель, соединяющий контроллеры ПИК-120 с блоком питания.

Функции ПИК-120: преобразование в стандартный цифровой вид постоянного напряжения от  $-36$  В до  $+36$  В или переменного напряжения до  $36$  В  $50$  Гц, поступающего на цифровые входы (наличие напряжения на входе соответствует логической единицы); передача в последовательном коде, полученного в результате преобразования массива данных в концентратор по его запросу.

Для графического отображения состояний объектов железнодорожной автоматики и телемеханики на автоматизированном рабочем месте (АРМ) используется программа «Поездное положение», для корректной работы которой требуется предварительный запуск системного приложения DrawServer, которое преобразует полученные от BoardServer данные в специальном формате системы АПК-ДК в цвета графических элементов приложения. BoardServer – одна из ключевых программ в составе АПК-ДК, в задачи которой входит взаимодействие с драйверами устройств, анализ полученной информации и дальнейшая передача данных программам-клиентам. Структура обработки данных на программном уровне от диагностических устройств ПИК-120 представлена на рис. 2.

В системе АПК-ДК существует возможность просмотра технического состояния объектов диагностирования на так называемом поездном положении как в реальном времени, так и в

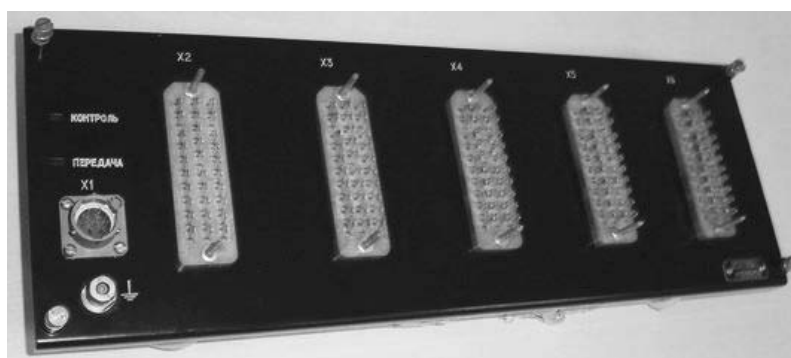


Рис. 1. Внешний вид измерительного контроллера ПИК-120

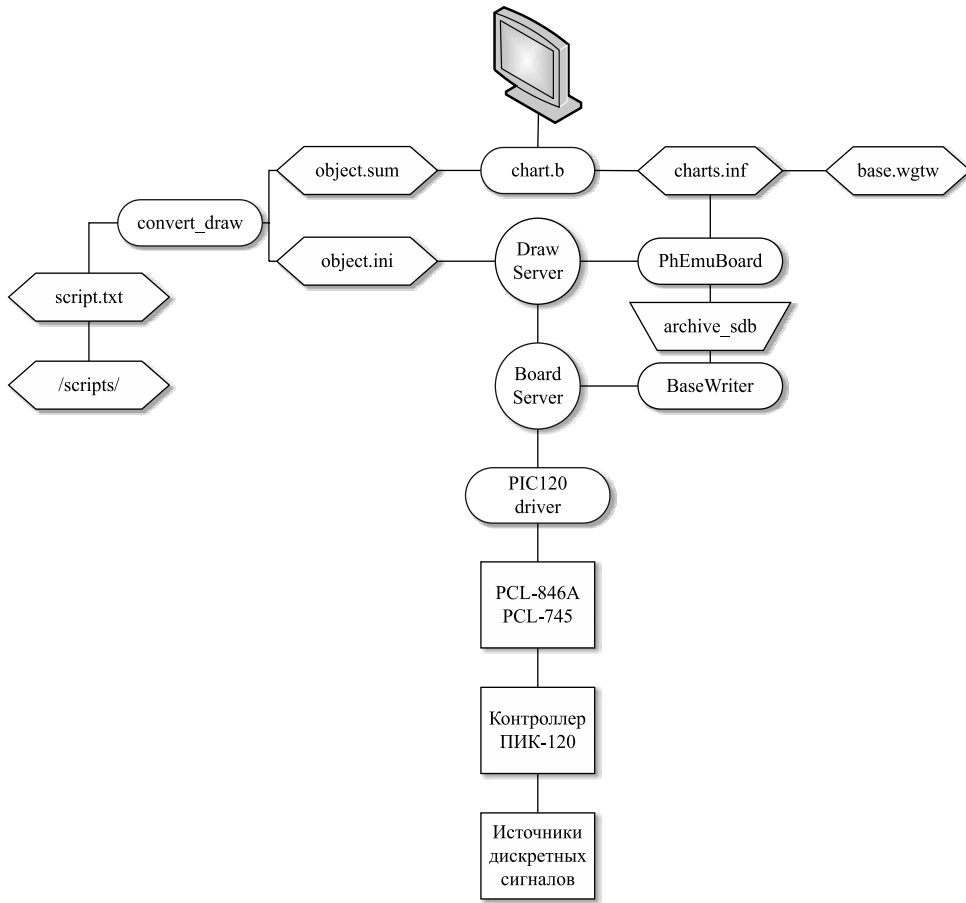


Рис. 2. Структурная схема программных средств обработки дискретной диагностической информации

архивном режиме. Это позволяет решать задачи постановки диагноза, генеза и прогноза [13]. Для каждого режима работы приложения программы мониторинга запускается программа DrawServer. Информация о цветах графических элементов приложения поступает в программу из адаптированного файла object.ini. В каталоге /scripts/ расположены файлы привязки элементов поездного положения к датчикам контроллера ПИК-120. Файл script.txt содержит ссылки только на те файлы привязки, которые нужно использовать на данной станции. Файлы object.ini и object.sum получаются в результате компиляции файла script.txt

программой Conwert\_draw. Программа отображения chart.b производит преобразование полученных от DrawServer данных о цвете элемента поездного положения и адаптированных данных из файлов object.sum и charts.in о положении элемента на экране и выводит сами данные на экран.

Для записи данных в архив запускается программа BaseWriter, формирующая файлы каталога /archive\_sdb/. Работу BoardServer в архивном режиме эмулирует программа PhEmuBoard. В обоих режимах применяются одни и те же файлы графического изображения станции base.wgtw. Файл charts.inf содержит ссылки на те путевые планы

станций и перегонов, которые нужно отобразить на конкретной станции. Количество дискретной информации для крупной станции составляет несколько сотен тысяч датчиков. Период диагностирования составляет примерно 10–100 раз в секунду.

Дискретная информация о состоянии устройств железнодорожной автоматики и телемеханики хранится в качестве массива байт в программном обеспечении АПК-ДК. Для каждого дискретного датчика используются два бита информации, что позволяет контролировать корректность данных. Контроль целостности данных осуществляется средствами файловой системы (QNX4 filesystem).

Работа алгоритмов анализа данных происходит только при изменении состояний дискретных датчиков. Из-за большого объема данных и частого опроса датчиков актуальна задача определения факта изменения данных. В настоящий момент изменение данных

определяется побайтовым сравнением старых и новых значений. Драйвер формирует массив данных в формате, представленном на рис. 3.

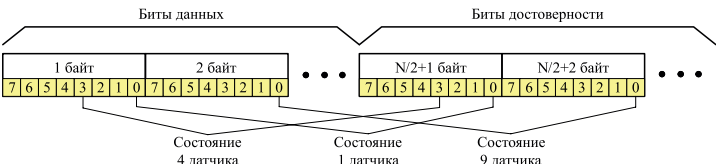
Данные о состоянии каждого датчика кодируются двумя битами информации – битом данных и битом достоверности. В таблице 1 представлена интерпретация каждого возможного состояния датчика контроллера ПИК-120.

Таблица 1

Бит данных	Бит достоверности	Значение дискретного датчика
0	0	0
0	1	Нет данных
1	0	1
1	1	Ошибка (данная комбинация не применяется)

Для отправки сообщений используется функция BoardWriteData из ста-

Передача дискретных данных от драйвера к BoardServer'у



Передача дискретных данных от BoardServer'а к клиенту

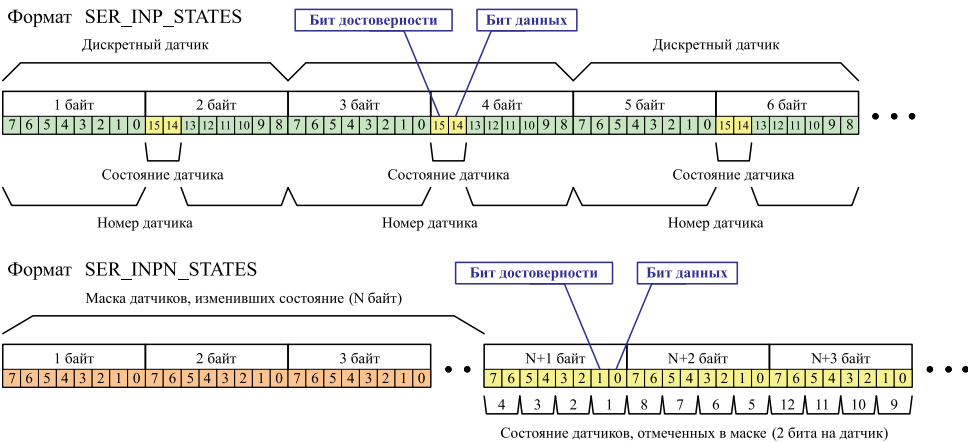


Рис. 3. Формат представления дискретных данных



тической библиотеки `msg_board_lib`. При получении данных `BoardServer` вызывает функцию `Driver_Write`, которая находит драйвер в списке и вычитывает данные во временный буфер. Далее следует вызов функции `DriverRefreshData` (в которой определяется: это первая посылка данных от драйвера или нет?) и вызывается функция `CompareBuffers`, где и происходит побайтовое сравнение старых и новых данных от драйвера.

Предлагается изменить формат передаваемых дискретных данных от драйвера к `BoardServer` и преобразовать функцию `CompareBuffers`. Для каждого блока данных вычисляется хэш-функция, которая вместе с данными образует массив, передаваемый `BoardServer`. Задача функции `CompareBuffers` – сравнение хэш-сумм для старых и новых данных с определением факта их изменения. Также хэш-функция будет брать на себя задачу контроля целостности данных.

Способы построения кодов с суммированием с улучшенными характеристиками обнаружения ошибок в информационных векторах, что используется в задачах функционального контроля, предложены в [12, 14]. Эти коды можно применять и для других актуальных задач современной автоматики, в том числе на железных дорогах. Используем взвешенный код с суммированием без переносов для задачи повышения эффективности технологии мониторинга устройств ЖАТ средствами системы АПК-ДК.

#### **Взвешенный код с суммированием без переносов**

Классические коды с суммированием, или коды Бергера [15] часто используются при разработке надежных устройств автоматики и вычислительной техники [16, 17]. Однако эти коды обладают низкими возможностями обнаружения ошибок в информационных векторах и для решения некоторых задач не подходят. Требуется модификация правил построения кодов [12]. При

построении кода с суммированием использована идея установления неравноправия между разрядами в информационном векторе путем приписывания им весовых коэффициентов  $w_i, i = \overline{1, m}$  [15]. Взвешенные коды с суммированием часто используют в задачах технической диагностики [18–23]. Их можно применить и при совершенствовании системы технического диагностирования и мониторинга АПК-ДК.

#### **Алгоритм получения разрядов контрольных векторов**

Разрядам информационного вектора, начиная с младшего, приписываются весовые коэффициенты, образующие ряд последовательно возрастающих натуральных чисел:  $[m; m-1; \dots; 2; 1]$ .

Значение каждого весового коэффициента  $w_i$  представляется в двоичном виде:  $[w_i]_2$ .

Определяется число  $[W]_2$  – сумма двоичных чисел  $[w_i]_2$  весовых коэффициентов единичных разрядов информационного вектора без переносов:

$$[W]_2 = \bigoplus_{i=1}^m [w_i]_2. \quad (1)$$

Число  $[W]_2$  записывается в разряды контрольного вектора.

Данный код обозначим как  $WSH(m, k)$ -код, где  $m$  – длина информационного вектора, а  $k$  – длина контрольного вектора. Количество разрядов в контрольном векторе определяется величиной:

$$k = \lceil \log_2 (m + 1) \rceil, \quad (2)$$

где запись  $\lceil \dots \rceil$  обозначает целое сверху от вычисляемого значения.

Действие алгоритма получения разрядов контрольных векторов  $WSH(m, k)$ -кодов иллюстрируется для байта информации в таблице 2.

$WSH(m, k)$ -код обладает смещенным в сторону большей кратности распределением необнаруживаемых ошибок и может быть эффективно применен для построения систем автоматики с обнаружением ошибок.

Таблица 2

Получение разрядов контрольного вектора  $WSH(8,4)$ -кода

Байт информации								Суммируемые коэффициенты		Контрольный вектор			
$f_7$	$f_6$	$f_5$	$f_4$	$f_3$	$f_2$	$f_1$	$f_0$	В десятичном виде	В двоичном виде	$g_3$	$g_2$	$g_1$	$g_0$
0	0	0	1	1	1	1	1	1+2+3+4	0001+0010+0011+0100	0	1	0	0
0	0	1	1	0	0	1	1	1+2+5+6	0001+0010+0101+0110	0	0	0	0
0	1	1	0	0	1	1	0	2+3+6+7	0010+0011+0110+0111	0	0	0	0
1	0	1	0	1	0	1	0	2+4+6+8	0010+0100+0110+1000	1	0	0	0
1	1	1	1	0	0	0	0	5+6+7+8	0101+0110+0111+1000	1	1	0	0
1	1	1	1	1	1	1	1	1+2+3+4+5+6+7+8	0001+0010+0011+0100+0101+0110+0111+1000	1	0	0	0

**Повышение быстродействия обработки диагностической информации**

При обработке диагностической информации в программном обеспечении АПК-ДК (на уровне PIC120driver и BoardServer) используются вычисление хэш-сумм и операция побитового сравнения данных. Для повышения быстродействия при обработке диагностической информации заменим эти две операции на побайтовое кодирование

массивов диагностической информации  $WSH(8,4)$ -кодом. Это позволит обнаруживать изменения в байтах дискретной диагностической информации для 1, 2, 5, 6 и 8 бит (исходя из свойств  $WSH(8,4)$ -кода).

Результаты экспериментов по сравнению времени выполнения операций при побайтовом сравнении данных в действующей версии программного обеспечения АПК-ДК и при предлагаемом способе приведены на рис. 4.

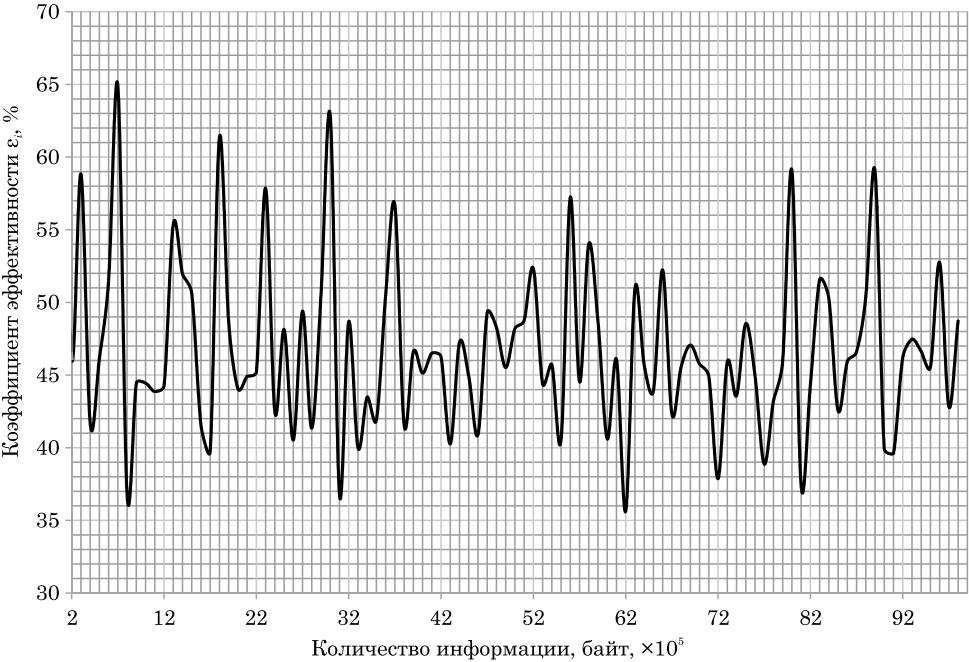


Рис. 4. Значения коэффициента  $\epsilon_i$  в зависимости от объема диагностических данных

Время измерялось с помощью класса Stopwatch из пространства имен System.Diagnostics, входящего в состав программной платформы .Net.

Поскольку оба способа выполнялись последовательно при одинаковых ресурсах и степени загруженности вычислителя, то относительный выигрыш можно считать в некотором смысле объективным. График (рис. 4) показывает значение коэффициента эффективности  $\varepsilon_I$  нового способа обработки данных в сравнении с используемым в иных версиях программного обеспечения АПК-ДК в зависимости от объема диагностических данных:

$$\varepsilon_I = \frac{t'}{t} \cdot 100\%, \quad (3)$$

где  $t$  – время выполнения побайтового сравнения данных в старой версии программного обеспечения АПК-ДК, мс;  $t'$  – время вычисления и сравнения хэш-функций по *WSH(8,4)*-коду, мс.

В зависимости от объема диагностической информации, график колеблется в диапазоне  $\varepsilon_I = 35\text{--}65\%$ . Эффективность использования *WSH(8,4)*-кода – увеличение быстродействия в два раза.

Увеличение быстродействия обработки диагностической информации актуально для системы АПК-ДК, поскольку это позволяет решить две глобальные задачи. Во-первых, на большинстве линейных пунктов, где выполняется обработка диагностической информации, установлены не самые современные персональные компьютеры, функционирование которых ограничивает период опроса датчиков измерительных контроллеров. При изменении процедуры обработки информации сокращается время вычислений, а значит, возможно уменьшение периода опроса датчиков без обновления вычислительных машин на линейных постах. Во-вторых, появляется возможность совершенствования процесса функционирования логико-временных моделей, адаптированных в программное обеспечение системы АПК-ДК [8].

Исходными данными для таких моделей служат массивы информации, передаваемые программой BoardServer. Для оценки технического состояния устройств сигнализации, централизации и блокировки используются дискретные и аналоговые диагностические данные. Их получают с различных измерительных контроллеров, обработка осуществляется различными драйверами и т.д. Для повышения точности диагностирования и прогнозирования изменений технических состояний (например, для установления причин резких изменений аналоговых величин – всплесков [7]) время реакции системы АПК-ДК на мгновенные изменения измеряемых параметров должно быть уменьшено. Это позволит устранить так называемый коммутационный эффект. Пример подобной ситуации – работа первой версии системы АПК-ДК на платформе QNX6 на станции «Парнас» Петербургского метрополитена (2012 г.) [24], где для фиксации ситуаций «Кратковременная ложная занятость рельсовой цепи» потребовалось увеличивать количество опросов датчиков измерительных контроллеров в пять раз.

Предложенный нами способ улучшения технологии мониторинга позволяет за счет экономии вычислительных ресурсов повысить точность технического диагностирования и прогнозирования изменений технических состояний устройств сигнализации, централизации и блокировки в системе АПК-ДК. При этом не требуется модернизации аппаратных средств. Совершенствование вычислительной среды системы АПК-ДК позволит не только повысить надежность средств диагностирования, но и улучшить работу логико-временных моделей автоматической обработки диагностической информации. Это повысит уровень автоматизации в системе АПК-ДК и снизит влияние человеческого фактора на процесс принятия решений при поиске предостерегающих состояний устройств обеспечения безопасности движения поездов. ■

# Литература

1. Молодцов В. П., Иванов А. А. Системы диспетчерского контроля и мониторинга устройств железнодорожной автоматики и телемеханики : учеб. пособие. СПб : Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 2010. 140 с.
2. Ефанов Д. В., Лыков А. А. Основы построения и принципы функционирования систем технического диагностирования и мониторинга устройств железнодорожной автоматики и телемеханики : учеб. пособие. СПб : Петербургский государственный университет путей сообщения, 2012. 59 с. ISBN 978-5-7641-0323-5.
3. Никитин А. Б., Болтаев С. Т. Оценка состояния инфраструктуры железнодорожной автоматики и телемеханики Узбекистана для введения высокоскоростного движения // Автоматика на транспорте. 2015. Т. 1. № 3. С. 251–270. ISSN 2412-9186.
4. Шаманов В. И. Управление процессом модернизации комплексов систем железнодорожной автоматики и телемеханики // Автоматика на транспорте. 2015. Т. 1. № 3. С. 237–250. ISSN 2412-9186.
5. Ефанов Д. В. Становление и перспективы развития систем функционального контроля и мониторинга устройств железнодорожной автоматики и телемеханики // Автоматика на транспорте. 2016. Т. 2. № 1. ISSN 2412-9186.
6. Сапожников Вл. В., Лыков А. А., Ефанов Д. В. Понятие предотказного состояния // Автоматика, связь, информатика 2011. № 12. С. 6–8. ISSN 0005-2329.
7. Бочкарев С. В., Лыков А. А., Марков Д. С. Совершенствование методов диагностирования стрелочного переводного устройства // Автоматика на транспорте. 2015. Т. 1. № 1. С. 40–50. ISSN 2412-9186.
8. Ефанов Д. В. Некоторые аспекты развития систем функционального контроля устройств железнодорожной автоматики и телемеханики // Транспорт Урала. 2015. №1. С. 35–40. ISSN 1815-9400.
9. Иванов А. А., Легоньков А. К., Молодцов В. П. Новые приборы регистрации параметров устройств железнодорожной автоматики в системе АПК-ДК (СТДМ) // Автоматика на транспорте. 2015. Т. 1. № 3. С. 282–297. ISSN 2412-9186.
10. Иванов А. А., Легоньков А. К., Молодцов В. П. Передача данных с устройств оборудования переезда аппаратурой АПК-ДК при отсутствии физической линии и круглосуточного дежурства // Автоматика на транспорте. 2016. Т. 2. № 1. – С. 65–80. ISSN 2412-9186.
11. Ефанов Д. В. Метод автоматизации проверки логики функционирования объектов диагностирования в системах удаленного контроля и мониторинга // Транспорт Урала. 2014. № 3. С. 58–62. ISSN 1815-9400.
12. Сапожников В. В., Сапожников Вл. В., Ефанов Д. В., Дмитриев В. В., Хуан Ц. Оптимальный систематический код на основе взвешивания разрядов информационных векторов и суммирования без переносов для систем функционального контроля // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2016. № 1. – С. 75–84. ISSN 1815-588X.
13. Сапожников В. В., Сапожников Вл. В. Основы технической диагностики. М. : Маршрут, 2004. 316 с. ISBN 5-89035-123-0.
14. Сапожников В. В., Сапожников Вл. В., Ефанов Д. В. Применение кодов с суммированием при синтезе систем железнодорожной автоматики и телемеханики на программируемых логических интегральных схемах // Автоматика на транспорте. 2015. Т. 1. № 1. С. 84–107. ISSN 2412-9186.
15. Berger J.M. A Note on Error Detecting Codes for Asymmetric Channels // Information and Control. 1961. Vol. 4, issue 1. Pp. 68–73.
16. Nicolaidis M., Zorian Y. On-Line Testing for VLSI A Compendium of Approaches // Journal of Electronic Testing: Theory and Applications. 1998, №12. Pp. 7–20.
17. Ubar R., Raik J., Vierhaus H.-T. Design and Test Technology for Dependable Systems-on-Chip (Premier Reference Source). Information Science Reference, Hershey New York, IGI Global, 2011. 578 p.
18. Das D., Toubia N.A. Weight-Based Codes and Their Application to Concurrent Error Detection of Multilevel Circuits // Proc. of the 17th IEEE VLSI Test Symposium, USA. CA, Dana Point. April 25–29, 1999. Pp. 370–376.
19. Das D., Toubia N.A., Seuring M., Gossel M. Low Cost Concurrent Error Detection Based on Modulo Weight-Based Codes // Proc. of the 6th IEEE International On-Line Testing Workshop (IOLTW), Spain, Palma de Mallorca. July 3–5, 2000. Pp. 171–176.

20. Ghosh S., Lai K.W., Jone W.B., Chang S.C. Scan Chain Fault Identification Using Weight-Based Codes for SoC Circuits // Proc. of the 13th Asian Test Symposium, Taiwan, Kenting. November 15–17, 2004. Pp. 210–215.
21. Сапожников В.В., Сапожников Вл.В., Ефанов Д.В. Взвешенные коды с суммированием для организации контроля логических устройств // Электронное моделирование. 2014. Т. 36. № 1. С. 59–80. ISSN 0204-3572.
22. Сапожников В.В., Сапожников Вл.В., Ефанов Д.В., Никитин Д.А. Модульно взвешенный код с суммированием для систем технического диагностирования // Информатика и системы управления. 2015. № 3. С. 53–62. ISSN 1814-2400.
23. Efanov D., Sapozhnikov V., Sapozhnikov Vl., Nikitin D. Sum Code Formation with Minimum Total Number of Undetectable Errors in Data Vectors // Proceedings of 13<sup>th</sup> IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2015), Batumi, Georgia. September 26–29, 2015. Pp. 141–148.
24. Ефанов Д.В. Техническое диагностирование и мониторинг устройств автоматики в метрополитенах // Автоматизация в промышленности. 2014. № 3. С. 4–8. ISSN 1819-5962.

### References

1. Molodtsov V.P., Ivanov A.A. Sistemy dispetcherskogo kontrolya i monitoringa ustroystv zheleznodorozhnoy avtomatiki i telemekhaniki: uchebnoye posobiye [Dispatch control and monitoring system for railway automation and remote control devices: training material]. SPb : Peterburgsky gos. un-t putej soobshcheniya, 2010. 140 s.
2. Yefanov D.V., Lykov A.A. Osnovy postroyeniya i printsipy funktsionirovaniya sistem tekhnicheskogo diagnostirovaniya i monitoringa ustroystv zheleznodorozhnoy avtomatiki i telemekhaniki: ucheb. posobiye [Construction and functional principles of technical diagnosis and monitoring systems for railway automation and remote control devices: training material]. SPb : Peterburgsky gosudarstvenny universitet putej soobshcheniya, 2012. 59 s. ISBN 978-5-7641-0323-5.
3. Nikitin A.B., Boltayev S.T. Otsenka sostoyaniya infrastruktury zheleznodorozhnoy avtomatiki i telemekhaniki Uzbekistana dlya vvedeniya vysokoskorostnogo dvizheniya [Assessment of infrastructure of railway automation and remote control of Uzbekistan for introduction of high-speed transport] // Avtomatika na transporte. 2015. T. 1. № 3. S. 251–270. ISSN 2412-9186.
4. Shamanov V.I. Upravleniye protsessom modernizatsii kompleksov sistem zheleznodorozhnoy avtomatiki i telemekhaniki [Control of modernisation process for railway automation and remote control systems] // Avtomatika na transporte. 2015. T. 1. № 3. S. 237–250. ISSN 2412-9186.
5. Yefanov D.V. Stanovleniye i perspektivy razvitiya sistem funktsionalnogo kontrolya i monitoringa ustroystv zheleznodorozhnoy avtomatiki i telemekhaniki [Formation and prospects of development of functional control and monitoring for railway automation and remote control devices] // Avtomatika na transporte. 2016. T. 2. № 1. ISSN 2412-9186.
6. Sapozhnikov Vl.V., Lykov A.A., Yefanov D.V. Ponyatie predotkaznogo sostoyaniya [Concept of pre-failure state] // Avtomatika, svyaz, informatika 2011. № 12. S. 6–8. ISSN 0005-2329.
7. Bochkarev S.V., Lykov A.A., Markov D.S. Sovershenstvovaniye metodov diagnostirovaniya strelochnogo perevodnogo ustroystva [Improving the methods of diagnosing the switch points] // Avtomatika na transporte. 2015. T. 1. № 1. S. 40–50. ISSN 2412-9186.
8. Yefanov D.V. Nekotorye aspekty razvitiya sistem funktsionalnogo kontrolya ustroystv zheleznodorozhnoy avtomatiki i telemekhaniki [Some aspects of development of functional control systems for railway automation and remote control devices] // Transport Urala. 2015. № 1. S. 35–40. ISSN 1815-9400.
9. Ivanov A.A., Legonkov A.K., Molodtsov V.P. Novyye pribory registratsii parametrov ustroystv zheleznodorozhnoy avtomatiki v sisteme APK-DK (STDM) [New recording devices for parameters of railway automation devices in APK-DK system (STDM)] // Avtomatika na transporte. 2015. T. 1. № 3. S. 282–297. ISSN 2412-9186.
10. Ivanov A.A., Legonkov A.K., Molodtsov V.P. Peredacha dannykh s ustroystv oborudovaniya pereyezda apparatury APK-DK pri otsutstvii fizicheskoy linii i kruglosutochnogo dezhurstva [Data transmission from railway crossing equipment devices by APK-DK equipment in the

- absence of physical line and twenty-four-hour alert] // *Avtomatika na transporte*. 2016. T. 2. № 1. – S. 65–80. ISSN 2412-9186.
11. Yefanov D.V. Metod avtomatizatsii proverki logiki funktsionirovaniya obyektov diagnostirovaniya v sistemakh udalennogo kontrolya i monitoringa [Methods of automated testing of functional logic of diagnosis facilities in remote control and monitoring systems] // *Transport Urala*. 2014. № 3. P. 58–62. ISSN 1815-9400
12. Sapozhnikov V.V., Sapozhnikov V.I., Yefanov D.V., Dmitriyev V.V., Khuan Ts. Optimalny sistematichesky kod na osnove vzveshivaniya razryadov informatsionnykh vektorov i summirovaniya bez perenosov dlya sistem funktsionalnogo kontrolya [Optimum systematic code based on the weighting of bits of information vectors and summation without translation for functional control systems] // *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putey soobshcheniya*. 2016. № 1. – S. 75–84. ISSN 1815-588X.
13. Sapozhnikov V.V., Sapozhnikov V.I. Osnovy tekhnicheskoy diagnostiki [Basics of technical diagnostics]. M. : Marshrut, 2004. 316 s. ISBN 5-89035-123-0.
14. Sapozhnikov V.V., Sapozhnikov V.I., Yefanov D.V. Primeneniye kodov s summirovaniyem pri sinteze sistem zheleznodorozhnoy avtomatiki i telemekhaniki na programmiruyemykh logicheskikh integralnykh skhemakh [Use of sum codes for synthesis of railway automation and remote control systems on programmable logic integrated circuits] // *Avtomatika na transporte*. 2015. T. 1. № 1. S. 84–107. ISSN 2412-9186.
15. Berger J.M. A Note on Error Detecting Codes for Asymmetric Channels // *Information and Control*. 1961. Vol. 4, issue 1. Pp. 68–73.
16. Nicolaidis M., Zorian Y. On-Line Testing for VLSI A Compendium of Approaches // *Journal of Electronic Testing: Theory and Applications*. 1998, № 12. Pp. 7–20.
17. Ubar R., Raik J., Vierhaus H.-T. Design and Test Technology for Dependable Systems-on-Chip (Premier Reference Source). Information Science Reference, Hershey New York, IGI Global, 2011. 578 p.
18. Das D., Touba N.A. Weight-Based Codes and Their Application to Concurrent Error Detection of Multilevel Circuits // *Proc. of the 17<sup>th</sup> IEEE VLSI Test Symposium, USA, CA, Dana Point*. April 25–29, 1999. Pp. 370–376.
19. Das D., Touba N.A., Seuring M., Gossel M. Low Cost Concurrent Error Detection Based on Modulo Weight-Based Codes // *Proc. of the 6th IEEE International On-Line Testing Workshop (IOLTW), Spain, Palma de Mallorca*. July 3–5, 2000. Pp. 171–176.
20. Ghosh S., Lai K.W., Jone W.B., Chang S.C. Scan Chain Fault Identification Using Weight-Based Codes for SoC Circuits // *Proc. of the 13<sup>th</sup> Asian Test Symposium, Taiwan, Kenting*. November 15–17, 2004. Pp. 210–215.
21. Sapozhnikov V.V., Sapozhnikov V.I., Yefanov D.V. Vzveshennyye kody s summirovaniyem dlya organizatsii kontrolya logicheskikh ustroystv [Weight sum codes for organization of logic devices monitoring] // *Elektronnoye modelirovaniye*. 2014. T. 36. № 1. S. 59–80. ISSN 0204-3572.
22. Sapozhnikov V.V., Sapozhnikov V.I., Yefanov D.V., Nikitin D.A. Modulno vzveshenny kod s summirovaniyem dlya sistem tekhnicheskogo diagnostirovaniya [Sum code for technical diagnosis systems] // *Informatika i sistemy upravleniya*. 2015. № 3. S. 53–62. ISSN 1814-2400.
23. Efanov D., Sapozhnikov V., Sapozhnikov V.I., Nikitin D. Sum Code Formation with Minimum Total Number of Undetectable Errors in Data Vectors // *Proceedings of 13<sup>th</sup> IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS-2015), Batumi, Georgia*. September 26–29, 2015. Pp. 141–148.
24. Yefanov D.V. Tekhnicheskoe diagnostirovaniye i monitoring ustroystv avtomatiki v metropolitenakh [Technical diagnostics and monitoring of automatic units in subways] // *Avtomatizatsiya v promyshlennosti*. 2014. № 3. S. 4–8. ISSN 1819-5962.

*Статья сдана в редакцию 11 февраля 2016 года*



# Организация и логистика

УДК 625.4.015

*А. В. Паранин, Е. Л. Проскуряков*

## Последовательность модернизации системы электроснабжения постоянного тока повышенного уровня напряжения в контактной сети

UDC 625.4.015

*A. V. Paranin, Ye. L. Proskuryakov*

## Succession for improvement of dc power supply with higher voltage in overhead system

### Аннотация

В статье отмечена ключевая роль тяжеловесного движения поездов в вопросе повышения провозных способностей и снижения эксплуатационных затрат железнодорожного транспорта. Подчеркнуто, что в настоящее время дальнейшее увеличение количества поездов повышенной массы ограничивается существующей системой тягового электроснабжения. Это увеличение тяговых токов и снижение напряжения на токоприемнике электровоза.

Рассмотрен вариант снятия данного ограничения с помощью внедрения системы повышенного напряжения, которая состоит из взаимосвязанных элементов «электровоз – устройства тягового электроснабжения». Отмечено, что поэтапное внедрение системы повышенного напряжения является одним из положительных моментов при недостаточном объеме финансирования реализации проекта.

Также представлен алгоритм оптимального распределения финансовых средств на поэтапный перевод существующей системы электроснабжения на повышенное напряжение. На его основе разработана полезная модель для ЭВМ с возможностью определения затрат на модернизацию элементов системы по двум вариантам. Проведены расчеты в разработанной полезной модели для ЭВМ на условном железнодорожном участке. Проведен анализ полученных результатов.

**Ключевые слова:** ограничения по пропуску тяжеловесных поездов, система электроснабжения повышенного напряжения, устройства электроснабжения, электровоз, полезная модель для ЭВМ, модернизация, экономический эффект.

DOI:10.20291/2079-0392-2016-2-67-72

### Summary

The article specifies the key role of heavy train traffic in enhancing the carrying capacity and reducing operating costs of railway transport. It is emphasised that further growth in the number of trains with increased weight is currently limited by the existing traction power system. This implies increase of traction currents and decrease of locomotive current collector voltage.

We have reviewed a possibility to remove this limitation by introducing a higher voltage supply system, which consists of interrelated elements «locomotive – traction power supply devices». It has been pointed out, that phase introduction of a higher voltage supply system is one of the positive means in case of shortage of financial means for project implementation.

We also represented algorithm for optimal allocation of funds for phased transfer of the existing power supply system to higher voltage. We have used it as a basis to develop a utility computer model able to determine the cost of modernisation of the system elements in two variants. We have conducted calculations in the newly developed utility computer model for a conventional railway section. Analysis of obtained results has been performed.

**Keywords:** limitations for handling heavy trains, higher voltage supply system, power supply devices, locomotive, utility computer model, modernisation, economic effect.

DOI:10.20291/2079-0392-2016-2-67-72

**Александр Викторович Паранин**, канд. техн. наук, доцент; кафедра «Электроснабжение транспорта» Уральского государственного университета путей сообщения, Екатеринбург, Россия. E-mail: AParanin@usurt.ru.

**Евгений Леонидович Проскуряков**, аспирант; кафедра «Электроснабжение транспорта» Уральского государственного университета путей сообщения, Екатеринбург, Россия. E-mail: EProskuryakov@svrw.ru.

**Aleksandr Viktorovich Paranin**, PhD in Engineering, Associate Professor; Transport Power Supply Department, Ural State University of Railway Transport, Ekaterinburg, Russia. E-mail: AParanin@usurt.ru.

**Yevgeny Leonidovich Proskuryakov**, PhD student; Transport Power Supply Department, Ural State University of Railway Transport, Ekaterinburg, Russia. E-mail: EProskuryakov@svrw.ru.



В настоящее время на железнодорожном транспорте особое внимание уделяют вопросу организации движения тяжеловесных поездов. Повышение веса поезда – это ключевой момент увеличения провозных способностей, повышения производительности локомотивов, а также снижения потребления электроэнергии. Внедрение новых электропоездов 2ЭС6, 2ЭС10 с асинхронными двигателями позволили повысить весовую норму поездов до 8000–9000 т.

Дальнейшее увеличение количества поездов массой 8000–9000 т невозможно для обеспечения тягового энергообеспечения. Так, на участке Екатеринбург-Сортировочный – Чепца при организации движения грузовых поездов массой 9000 т на ряде перегонов нет возможности одновременного движения во встречном направлении. При пропуске составов массой 8000 т интервал между поездами составляет от 20 до 30 мин, что при нормативе 10 мин приводит к дополнительному съему грузовых поездов и снижению пропускных способностей. Аналогичная ситуация складывается на Горьковской и Северной дорогах, где межпоездной интервал при следовании поездов повышенного веса и длины составляет от 10 до 20 мин [1].

Ограничения по системе электроснабжения при тяжеловесном движении обусловлены значительным увеличением тяговых токов, что приводит к перегреву проводов контактной сети, вызывающему снижение их механической прочности. Также к ограничениям необходимо отнести снижение напряжения на токоприемнике электропоезда, из-за чего снижается скорость движения поезда [2].

Один из способов снятия ограничения пропускной способности по системе электроснабжения постоянного тока – применение повышенного уровня напряжения постоянного тока (6 или 12 кВ). Способ прорабатывался еще в 60-х годах прошлого столетия. Сравнительный анализ систем питания контактной сети на переменном токе

напряжением 27,5 кВ и на постоянном токе 12 кВ рассматривался в работе [3].

Внедрение системы контактной сети постоянного тока повышенного напряжения позволит снять ограничение пропускной способности по системе электроснабжения и решить наиболее острые вопросы при организации тяжеловесного движения и увеличения объемов перевозок [4].

К одному из положительных моментов внедрения системы повышенного напряжения относится возможность этапности. Поэтапное внедрение можно рассматривать как в части участка внедрения, так и в части уровня напряжения. От условий выбора будет зависеть объем финансовых затрат на модернизацию системы электроснабжения. С точки зрения уровня повышенного напряжения, можно рассмотреть два этапа: первый – 6–12 кВ и второй – 24 кВ [4].

Учитывая, что по технико-экономическим показателям система 24 кВ превосходит систему 6–12 кВ, а финансовые затраты для реализации системы значительно выше, то систему повышенного напряжения 6–12 кВ можно рассматривать как промежуточный этап для перехода на систему 24 кВ, ввод которой возможен при проведении полномасштабной реконструкции с внедрением новых типов оборудования тяговых подстанций, контактной сети и электроподвижного состава [4].

При переходе на систему повышенного напряжения необходимо использовать системный подход, при котором система электрической тяги рассматривается как совокупность взаимосвязанных элементов «электропоезд» и «устройства тягового электроснабжения», которые требуют модернизации (рис.1).

По материалам статей [2, 4] можно сделать вывод, что внедрение системы повышенного напряжения контактной сети постоянного тока позволит снять ограничение пропускной способности по системе электроснабжения. По сравнению с существующей системой электроснабжения, здесь снижаются потери напряжения и электроэнергии

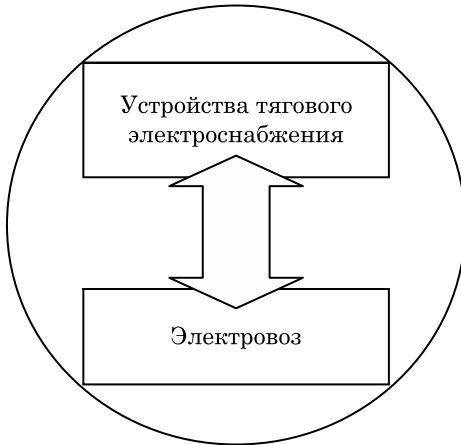


Рис. 1. Система перевода электрической тяги на повышенное напряжение

в контактной сети, уменьшаются значения рабочих токов [2].

Предложенный нами метод перевода участков постоянного тока 3 кВ на повышенное напряжение позволяет разработать алгоритм оптимального

распределения финансовых средств, выделенных на модернизацию, между элементами системы на каждом этапе реконструкции. Это особенно важно при имеющемся дефиците на реализацию инвестиционных программ ОАО РЖД [2].

Алгоритм поэтапного перевода участков постоянного тока на повышенное напряжение рассматривается в [2]. На первом этапе производят структурирование выбранного для внедрения участка на межподстанционные зоны, определить необходимое количество модернизированных электровозов, а также начальное состояние системы: одна модернизированная межподстанционная зона (C1) и один модернизированный электровоз (D1). Здесь же необходимо определить величину затрат на модернизацию одного электровоза и затраты на модернизацию каждой из C1...CN межподстанционных зон.

В соответствии с представленным на рис. 2 алгоритмом, следующий шаг

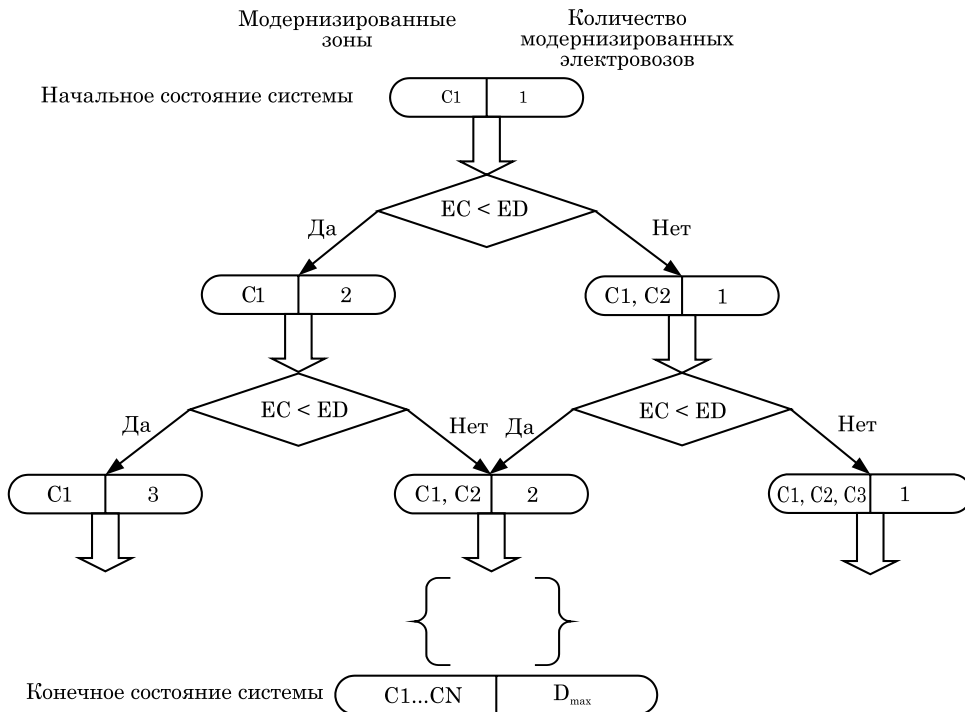


Рис. 2

определения последовательности – проверка условия  $EC < ED$ , где  $EC$  – экономический эффект, полученный при модернизации очередной межподстанционной зоны;  $ED$  – экономический эффект, полученный при модернизации следующего электровоза.

Если условие выполняется, то денежные средства целесообразно направлять на модернизацию электровоза. Если условие не выполняется, то проводим модернизацию устройств тягового электроснабжения на очередной межподстанционной зоне. Из алгоритма (рис. 2) видно, что при выполнении условия  $EC < ED$  в системе увеличивается количество электровозов, а при невыполнении – количество модернизированных зон. Сравнивать экономический эффект необходимо выполнять до тех пор, пока не будут модернизированы все межподстанционные зоны  $B1...BN$  и максимально необходимое количество электровозов  $D_{max}$  [2].

Для проверки этой идеи нами разработана полезная модель для ЭВМ. Разработанная программа позволяет определить последовательность модернизации элементов системы повышенного напряжения: устройства электроснабжения и электровозы. Чтобы провести расчет, в программе задается участок (с разбивкой на части) железной дороги между определенными станциями. Вариант разделения участка задает пользователь программы (деление на межподстанционные зоны или отдельные участки между промежуточными станциями). Определение затрат на модернизацию устройств электроснабжения в программе предусматривает два варианта: можно задать затраты для каждого конкретного участка (межподстанционные зоны) одной цифрой на основе проектно-сметной документации по реконструкции; возможность задать перечень требующих замены при модернизации элементов устройств электроснабжения [4]. Задается и количество таких элементов на участках и стоимость замены одного элемента. Общая стоимость модернизации участка определяется из

суммы затрат на замену всех необходимых элементов.

Для расчетов в программу вносится общее количество электровозов, которые обращаются на выбранном участке в течение суток согласно графику движения поездов, и затраты на модернизацию одного локомотива. Величина затрат на модернизацию может быть определена на основе смет, расчетов, калькуляций или другими способами.

Также необходимо ввести данные о величине выделенных инвестиций на внедрение системы повышенного напряжения на предполагаемый период.

Экономический эффект от внедрения системы повышенного напряжения включает в себя получение таких выгод от реализации вождения поездов повышенной массы, как повышение производительности локомотивов за счет сокращения необходимого количества локомотивов, снижение эксплуатационных затрат, сокращение потребления электроэнергии на тягу поездов и др.

В связи с тем, что основной задачей разработанной полезной модели для ЭВМ является оптимальное распределение финансовых средств на модернизацию элементов системы повышенного напряжения с получением максимального эффекта, а не точный расчет полученного экономического эффекта от внедрения системы повышенного напряжения, в данной программе экономический эффект для расчетов принимается исходя только из сокращения потребления электроэнергии. Для этого в программу вводятся результаты тяговых расчетов, выполненные с помощью комплекса программ для расчетов систем тягового электроснабжения КОР-ТЭС [2]. В результате расчетов определяется объем электрической энергии, затраченный на электроснабжение каждого в отдельности поезда из заданного графика движения поездов на всех зонах разделенного участка. Расчеты производятся для двух уровней напряжения: существующей 3,3 кВ и для системы повышенного напряжения 6 кВ или 12 кВ или 24 кВ. Экономический

Таблица 1

Характеристика условного участка для проведения расчетов  
определения последовательности модернизации элементов системы  
повышенного напряжения

Участок	А–Б	Б–В	В–Г	Г–Д	Д–Е	Е–З	З–Ж
Протяженность, км	11,13	13,1	12,9	12,7	15,6	17,2	11,35
Максимальный уклон на участке, ‰	10	6,3	5,8	6,2	5,4	6,0	3,8
Минимальный уклон на участке, ‰	–8,3	–5,4	–5,5	–5,4	–5,5	–5,8	–6,6

эффект в программе рассчитывается как разница суммарного потребления всеми поездами за сутки по заданному графику движения поездов при существующей системе электроснабжения 3,3 кВ и суммарного потребления всеми поездами за сутки по заданному графику движения поездов при существующей системе электроснабжения 3,3 кВ с учетом модернизированных участков электроснабжения и электровозов. Необходимо отметить, что в программе выбор участка модернизации устройств электроснабжения производится только между смежными участками.

Для проведения опытных расчетов в полезной модели для ЭВМ был выбран условный участок между двумя железнодорожными участками – А и Ж с характеристиками, приведенными в таблице 1, и случайным графиком из 55 тяжеловесных поездов (общая масса – 93680 т) в четном и нечетном направлениях. На данном участке электроснабжение осуществляется от восьми тяговых подстанций.

Для проведения расчетов в программу внесены данные о количестве элементов устройств электроснабжения, которые требуют замены при модернизации, и ориентировочная стоимость такой замены, данные об ориентировочной стоимости модернизации одного электровоза и одной тяговой подстанции. С помощью комплекса программ для расчетов систем тягового электроснабжения КОРТЭС выполнены тяговые расчеты и определен объем электрической энергии, затраченный на электроснабжение каждого поезда из заданного графика движения поездов,

на всех зонах разделенного участка. Тяговые расчеты проведены для системы электроснабжения 3,3 кВ и 12 кВ.

Далее проведены расчеты оптимального распределения финансовых средств, выделенных на модернизацию, между элементами системы повышенного напряжения.

В таблице 2 представлены результаты расчетов, проведенных в соответствии с алгоритмом, представленном на рис. 2, в части последовательности модернизации элементов системы повышенного напряжения.

Для выбранного участка при заданном графике движения поездов экономически целесообразно на начальных этапах модифицировать устройства

Таблица 2

Этапы модернизации элементов системы повышенного напряжения при расчетах, оптимального распределения финансовых средств

Этап	Модернизация элементов системы повышенного напряжения	
	устройства электроснабжения	электровозы
1	Д–Г	1
2	Е–Д	
3	З–Е	
4		3
5	Г–В	
6		3
7	В–Б	
8	Б–А	
9		1
10	З–Ж	
11		47

электрообеспечения, в том числе модернизацию тяговых подстанций и небольшого количества тягового подвижного состава. По завершении усовершенствования устройств электрообеспечения следует модернизировать оставшиеся электровагоны в зависимости от объема выделенных финансов.

Разработан алгоритм и на его основании создана программа для ЭВМ, позволяющая определить оптимальную последовательность модернизации элементов системы тягового электрообеспечения повышенного напряжения с точки зрения максимизации экономического эффекта при заданном объеме

выделенных финансовых средств. Алгоритм учитывает комплексный экономический эффект от модернизации как устройств тягового электрообеспечения, так и электровагона. Показан пример расчета такой оптимальной последовательности перевода системы тягового электрообеспечения с 3,3 на 12 кВ для заданного участка и графика движения поездов. Разработанная программа может быть использована для оптимального перевода на повышенное напряжение любых участков постоянного тока 3,3 кВ с целью снятия ограничения пропускной способности на всей сети ОАО «РЖД». ■

#### Литература

1. Иванов П. А. Важные технологические и технические аспекты // Железнодорожный транспорт. 2014. № 9. С. 19–22. ISSN 0048-4448.
2. Ефимов А. В., Проскуряков Е. Л. Поэтапное снятие ограничения пропускной способности участков постоянного тока // Транспорт Урала. 2014. № 1(40). С. 71–74. ISSN 1815-9400.
3. Тезисы докладов X научно-технической конференции УЭМИИТ и НТО СвЖД. Свердловск : МПС, 1966. 132 с.
4. Проскуряков Е. Л. Модернизация элементов контактной сети постоянного тока при поэтапном внедрении системы повышенного напряжения // Инновационный транспорт. 2014. № 4(14). С. 60–64.

#### References

1. Ivanov P.A. Vazhnye tekhnologicheskiye i tekhnicheskiye aspekty [Serious technological and technical aspects] // Zheleznodorozhny transport. 2014. № 9. S. 19–22. ISSN 0048-4448
2. Yefimov A.V., Proskuryakov Ye. L. Step-wise derestriction of capacity of direct current segments // Transport Urala [Transport of the Urals]. 2014. № 1 (40). S. 71–74. ISSN 1815-9400
3. Abstracts of speeches at the X scientific and technical conference at UEMIIT and NTO SvZhD. Sverdlovsk: MPS, 1966. 132 s.
4. Proskuryakov Ye.L. Modernization of elements of direct current contact-line during step-wise introduction of high-voltage systems // Innotransport. 2014. № 4(14). S. 60–64.

*Статья сдана в редакцию 16 апреля 2016 года*

# Безопасность деятельности человека

УДК 628.5

*А. Р. Закирова, Ж. М. Буканов*

## Исследования электромагнитных полей на рабочих местах персонала, обслуживающего контактную сеть

UDC 628.5

*A. R. Zakirova, Zh.M. Bukanov*

## Research of electromagnetic fields at workplaces of service personnel of contact lines

### Аннотация

Преобразователи тяговой подстанции служат генераторами высших гармоник тока и напряжения, поэтому в контактной сети постоянного тока присутствует спектр высших гармонических составляющих выпрямленного напряжения и тока до 1 кГц. Электротехнический персонал, обслуживающий контактную сеть, подвергается вредному воздействию электрического и магнитного (переменного и постоянного) полей. Здоровье работников, обслуживающих электрифицированный железнодорожный транспорт, зависит от эффективности разработанной системы защиты от вредного воздействия электромагнитных полей.

В качестве исследовательской задачи авторы воспользовались помощью специализированной программы EFC-400. При помощи программы можно создать модель контактной сети и получить данные напряженности ЭМП от разного рода тока и разного уровня напряжения.

Основное внимание в работе авторы акцентируют на полученные данные переменной составляющей магнитной индукции МП 50 Гц при выпрямленном токе, при работе электротехнического персонала контактной сети на высоте.

Для контроля магнитных полей переменного и постоянного тока в помощь персоналу, обслуживающему КС, разработано устройство, которое позволяет непрерывно контролировать уровень напряженности переменного и постоянного магнитных полей в течение 24 ч.

**Ключевые слова:** контактная сеть, магнитное поле, электрическое поле, электротехнический персонал, постоянный ток, напряжение контактной сети, напряженность магнитного поля.

DOI:10.20291/2079-0392-2016-2-73-83

### Summary

Converters of traction substation are generators of higher harmonic components of current and voltage, so in DC contact line there is a spectrum of higher harmonic components of rectified voltage and current up to 1 kHz. Electrical engineering personnel that supports contact line is exposed to harmful effects of electric and magnetic (alternating and direct) fields. Health of service personnel of electric railway transport depends on effectiveness of developed system of protection against exposure to hazardous electromagnetic fields.

As part of research task the authors took advantage of a specialised EFC-400 program. The software can be used to create a model of contact line and receive data of EMF intensity from different types of current and different voltage levels.

The paper's authors emphasise the data of variable component of magnetic induction of magnetic field 50 Hz with rectified current during operation of electrical personnel of contact line at heights.

To control alternating and direct current magnetic fields to aid the personnel chipping CL, a device has been developed that enables continuous monitoring of AC and DC magnetic field intensity during 24 hours.

**Keywords:** contact line, magnetic field, electric field, electrical engineering personnel, direct current, contact line voltage, magnetic field intensity.

DOI:10.20291/2079-0392-2016-2-73-83

**Альфия Резавановна Закирова**, канд.техн. наук, доцент; кафедра «Техносферная безопасность» Уральского государственного университета путей сообщения; Екатеринбург, Россия. E-mail: alfi\_2011@bk.ru

**Жомарт Магатович Буканов**, аспирант; кафедра «Техносферная безопасность» Уральского государственного университета путей сообщения; Екатеринбург, Россия. E-mail: bukanovjm@mail.ru.

**Alfia Rezavanovna Zakirova**, PhD in Engineering, Assistant Professor; Technospheric Safety Department, Ural State University of Railway Transport; Ekaterinburg, Russia. E-mail: alfi\_2011@bk.ru.

**Zhomart Magatovich Bukanov**, PhD student; Technospheric Safety Department, Ural State University of Railway Transport; Ekaterinburg, Russia. E-mail: bukanovjm@mail.ru.



Электрификация железнодорожного транспорта связана с проблемой обеспечения электромагнитной совместимости устройств электроснабжения со смежными электротехническими коммуникациями [1], обслуживаемыми электрифицированный железнодорожный транспорт; зависит от эффективности разработанной системы защиты от вредного воздействия электромагнитных полей.

В процессе трудовой деятельности на персонал, находящийся в зоне воздействия ЭМП постоянного и однофазного переменного тока тяговой сети, действуют одновременно высокие уровни напряженности ЭМП со спектром вышних гармонических составляющих выпрямленного напряжения и тока до 10 кГц [2].

Большой вклад в изучение воздействия ЭМП на биологические объекты, разработку нормативов, стандартов, способов и средств защиты от опасного и вредного воздействия ЭМП внесен отечественными учеными [3–11].

Проблема воздействия электромагнитных полей при разных частотных диапазонах на живые организмы рассматривается в [12].

Согласно теории Максвелла, переменные электрические и магнитные поля не могут существовать по отдельности – изменяющееся магнитное поле порождает электрическое поле, а изменяющееся электрическое порождает

магнитное. Поэтому персонал, обслуживающий контактную сеть, подвергается воздействию микЭМП [13].

Частотные, амплитудные и временные окна при действии низкочастотных МП на процессы транскрипции в лимфоцитах человека наблюдали в [14]. Эффект наиболее значителен, когда напряженность равна 10 мкТл, а частота – 60 Гц при экспозиции в 20 мин.

Данные об отклике функциональной характеристики центральной нервной системы человека на десяти дневное пребывание в магнитном вакууме приведены в [15]. Источником МП служили катушки Гельмгольца, в экспериментах использовали 8-метровую систему катушек для четырех испытуемых одновременно. У трех испытуемых средняя частота ритма нервной системы существенно ниже чем у первого.

Статистически значимый МБЭ в присутствии параллельно постоянного поля, который наблюдался при частоте 32 Гц и воздействии постоянного МП напряженностью 42 мкТл и параллельно переменному МП напряженностью 75 мкТл и 150 мкТл, отмечен в [16].

Данные по изменениям состояния человека при воздействии магнитного поля разной частоты сведены в таблицу 1.

Из таблицы 1 видно, что изменения в организме человека происходили при напряженности магнитного поля ниже

*Таблица 1*

Изменения в организме человека при воздействии магнитного поля  
разной частоты

Частота, Гц	$H$ , мкТл	ПДУ в РФ, $H$ , мкТл	Магнитобиологический эффект
32	42	100	Образование внутриклеточных ядер в лимфоцитах человека при воздействии параллельного переменного поля напряженностью 75 мкТл, 150 мкТл [14]
50–60	–	100	Вероятность возрастания лейкозов и опухоли мозга в результате длительной экспозиции МП промышленной частоты [16]
60	10	100	Процесс транскрипции в лимфоузлах человека [14]



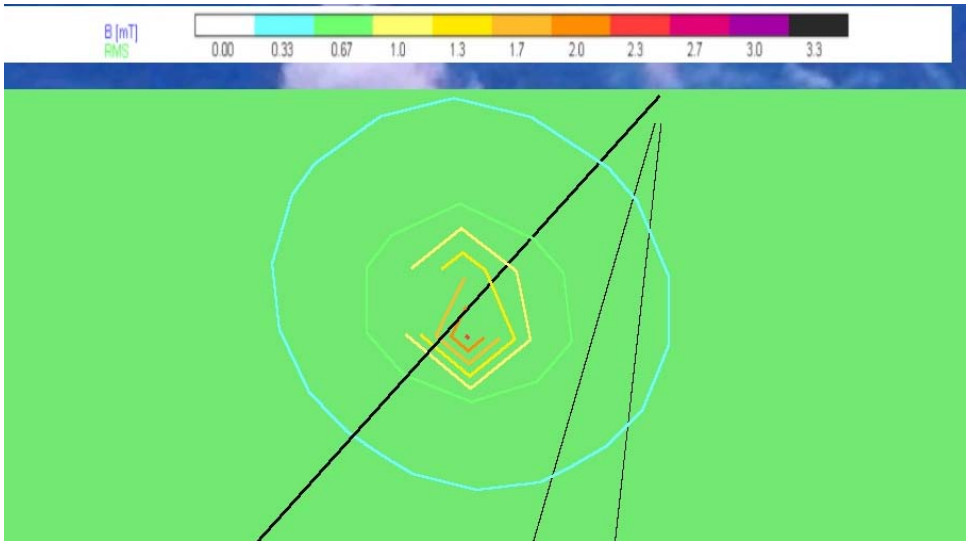


Рис. 1

ПДУ и частоте примерно равной промышленной.

Для проведения анализа электромагнитной обстановки вблизи контактной сети постоянного тока на рабочих местах электротехнического персонала дистанции электроснабжения рассчитаем напряженность МП и ЭП вблизи контактной сети и сравним с предельно допустимыми уровнями МП и ЭП (ПДУ) [17].

Анализ электромагнитной обстановки вблизи контактной сети 3 кВ (однопутный участок) и под пересечением контактной сети и высоковольтных линий электропередач 220 кВ проведен с помощью специализированной программой EFC-400.

Индукция постоянного МП вблизи КС смоделирована для следующих условий: расстояние от рельса до контактного провода  $h = 6,2$  м, ток  $I_{\text{КС}} = 100\text{--}3500$  А, тип провода 2МФ – 100 + М – 120.

Расчетные значения индукции постоянного МП (мТл) в 3D-формате вблизи КС при  $I_{\text{КС}} = 1500$  А приведены на рис. 1.

Из рис. 1 видно, что вблизи КС значения индукции постоянного МП составляют от 0,33 мТл до 2,3 мТл (от 330 мкТл до 2300 мкТл), при сравнении с уровнем ПДУ РФ (10 000 мкТл)

превышение не наблюдается, постоянное МП не оказывает вредного воздействия на персонал.

Проведен расчет постоянного МП при следующих условиях: ток  $I_{\text{КС}} = 100\text{--}3500$  А, тип провода 2МФ-100 + М-120. Полученные расчетные значения индукции постоянного МП сведены в таблицу 2.

Максимальное значение индукции постоянного МП зафиксировано у эквивалентного провода и составляет 5500 мкТл при токе в КС 3500 А.

Из таблицы 2 можно сделать вывод, что при обслуживании контактной сети электротехнический персонал, выполняющая работы у земляного полотна или со съемной изолированной съемной вышки при значениях тока от 100 А до 3500 А, находится под воздействием индукции постоянного МП, не превышающего ПДУ постоянного МП.

Напряженность магнитного поля, создаваемого прямолинейным проводником при нахождении его в вакууме, равна [18]

$$H = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{I}{r}, \quad (1)$$

где  $H$  – напряженность магнитного поля прямолинейного проводника, А/м;

Таблица 2

Величина индукции постоянного МП вблизи КС

$I_{\text{КС}}, \text{А}$	$H, \text{мкТл}$ при 1,8 м	$H, \text{мкТл}$ при 5,7 м	$H, \text{мкТл}$ при 6,2 м	$H, \text{мкТл}$ при 6,7 м	ПДУ $H, \text{мкТл}$	
100	12	89	156	89	10000 (от 61 до 480 мин воздействия)	20000 (от 11 до 60 мин воздействия)
200	30	268	469	268		
300	40	312	516	312		
400	50	357	625	357		
500	60	450	780	450		
1000	120	890	1600	890		
1500	175	1300	2300	1300		
2000	240	1800	3100	1800		
2500	300	2200	3100	2200		
3000	350	2700	4700	2700		
3500	400	3100	5500	3100		

$I$  – сила тока в проводнике, А;  $r$  – расстояние от проводника в плоскости, перпендикулярной проводнику, м.

В соответствии с формулой (1), напряженность магнитного поля прямо пропорциональна величине тока в проводнике, поэтому с увеличением расстояния от проводов КС к уровню головки рельса индукция постоянного МП прямо пропорционально уменьшается.

Так как в КС постоянного тока есть спектр высших гармонических составляющих выпрямленного напряжения и тока до 1 кГц, необходимо провести анализ МП вышеуказанного спектра частот. В программе EFC-400 проведен расчет переменного магнитного поля 50 Гц. Переменная составляющая

выпрямленного тока составляет 4,2 % от величины постоянного тока [19]. Проведен расчет МП 50 Гц (таблица 3).

Из таблицы 3 видно, что индукция магнитного поля МП 50 Гц в ряде случаев превышает ПДУ МП для 8-часового воздействия (100 мкТл):

при 5,7 м от уровня головки рельса и  $I_{\text{КС}} = 3000\text{--}3500 \text{ А}$ ;

6,2 м от уровня головки рельса и  $I_{\text{КС}} = 1500\text{--}3500 \text{ А}$ ;

6,7 м от уровня головки рельса и  $I_{\text{КС}} = 3000\text{--}3500 \text{ А}$ .

Следовательно, необходимо контролировать время нахождения электротехнического персонала в МП 50 Гц. Так как электротехнический персонал, обслуживающий контактную сеть, выполняет работы под напряжением со

Таблица 3

Величина переменной составляющей индукции переменного МП вблизи КС при выпрямленном токе от 500 до 3500 А

$I_{\text{КС}}, \text{А}$	$H, \text{мкТл}$ при 1,8 м	$H, \text{мкТл}$ при 5,7 м	$H, \text{мкТл}$ при 6,2 м	$H, \text{мкТл}$ при 6,7 м	ПДУ $H, \text{мкТл}$	
21 (4,2 % от 500 А)	1,8	19	33	19	100 (при 8 ч воздействия)	500 (при 4 ч воздействия)
42 (4,2 % от 1000 А)	2,7	38	66	38		
63 (4,2 % от 1500 А)	4,5	57	100	57		
84 (4,2 % от 2000 А)	6,3	75	131	75		
105 (4,2 % от 2500 А)	7,2	94	164	94		
126 (4,2 % от 3000 А)	9	113	197	113		
147 (4,2 % от 3500 А)	10	130	230	130		

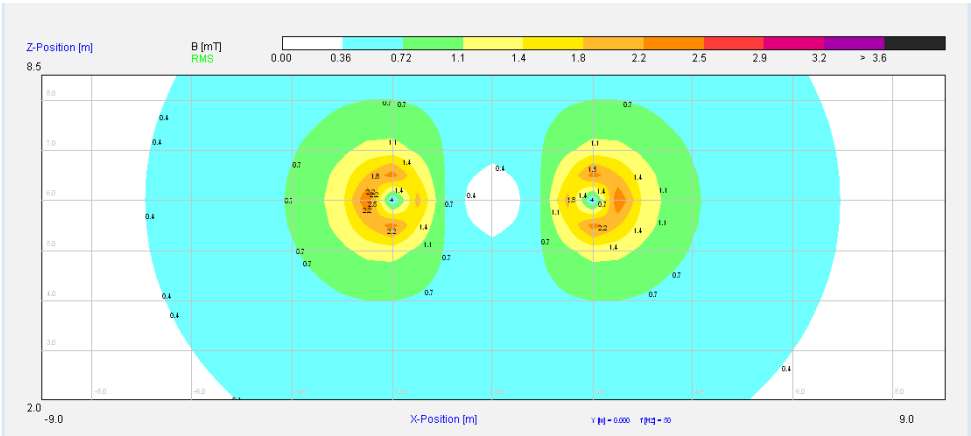


Рис. 2

сьемных изолированных вышек, высота которых составляет 5,6 м от уровня головки рельса, он попадает в зону воздействия индукции МП от 19 мкТл до 230 мкТл, что превышает ПДУ МП 50 Гц (100 мкТл) до 2,3 раза.

Проведен анализ магнитного поля вблизи контактной сети на двухпутном участке на расстоянии от рельса до контактного провода  $h = 6,2$  м, между проводами – 4 м при  $I_{\text{КС}} = 500\text{--}3500$  А, тип провода – 2МФ – 100 + М – 120.

Расчетные значения индукции постоянного МП (мТл) в 2D-формате вблизи КС на двухпутном участке при  $I_{\text{КС}} = 1500$  А приведены на рис. 2.

Из рис. 2 видно, что вблизи КС двухпутного участка значения индукции постоянного МП составляют от 0,36 мТл до 6 мТл (от 600 мкТл до 6000 мкТл), при сравнении с уровнем ПДУ РФ

(10 000 мкТл) превышение не наблюдается.

Величина индукции постоянного МП на расстоянии 2 м от уровня земли под контактной сетью составляет меньше 600 мкТл, что не превышает ПДУ.

Сведем полученные расчетные значения индукции постоянного МП из программы EFC-400 при разных значениях тока протекающего по КС в таблицу 4.

Из таблицы 4 видно, что индукция постоянного магнитного поля двухпутного участка изменяется от 60 до 9300 мкТл. Минимальное значение зафиксировано на уровне 1,8 м от головки рельса, а максимальное – на высоте 6,2 м от уровня головки рельса (составило 9300 мкТл, что не превышает ПДУ для 8-часового воздействия магнитного поля).

Таблица 4

Величина индукции постоянного МП вблизи КС двухпутного участка

$I_{\text{КС}}, \text{ А}$	$H, \text{ мкТл}$ при 1,8 м	$H, \text{ мкТл}$ при 5,7 м	$H, \text{ мкТл}$ при 6,2 м	$H, \text{ мкТл}$ при 6,7 м	ПДУ $H, \text{ мкТл}$	
500	60	450	780	450	10000 (от 61 до 480 мин воздействия)	20000 (от 11 до 60 мин воздействия)
1000	120	1500	2700	1500		
1500	175	2300	4000	2300		
2000	240	3000	5300	3000		
2500	300	3800	6700	3800		
3000	350	4600	8000	4600		
3500	400	5300	9300	5300		

Таблица 5

Величина переменной составляющей индукции переменного МП вблизи КС двухпутного участка при выпрямленном токе от 500 до 3500 А

$I_{\text{КС}}, \text{ А}$	$H, \text{ мкТл}$ при 1,8 м	$H, \text{ мкТл}$ при 5,7 м	$H, \text{ мкТл}$ при 6,2 м	$H, \text{ мкТл}$ при 6,7 м	ПДУ $H, \text{ мкТл}$	
21 (4,2 % от 500 А)	4	32	56	32	100 (при 8-часовом воздей- ствии)	500 (при 4-часовом воздей- ствии)
42 (4,2 % от 1000 А)	8	64	112	64		
63 (4,2 % от 1500 А)	12	96	168	96		
84 (4,2 % от 2000 А)	16	128	223	128		
105 (4,2 % от 2500 А)	20	160	279	160		
126 (4,2 % от 3000 А)	25	192	335	192		
147 (4,2 % от 3500 А)	30	223	391	30		

Проведем анализ переменной составляющей магнитной индукции МП вблизи КС двухпутного участка при выпрямленном токе электрической тяги (таблица 5).

Из таблицы 5 видно, что при выпрямленном токе 1000 А и больше наблюдается превышение переменной составляющей индукции переменного МП (высота 6,2 м от головки рельса). На уровне 2 м от головки рельса индукция переменного МП не превышает 30 мкТл при выпрямленном токе 3500 А, что не превышает ПДУ.

Таким образом, необходимо, чтобы работники обязательно применяли устройство, сигнализирующее об опасном уровне МП, а также сокращение

времени нахождения человека вблизи КС [17].

Проведем анализ электрического поля вблизи контактной сети с помощью специализированной программой EFC-400 при следующих данных: расстояние от рельса до контактного провода –  $h = 6,2 \text{ м}$ , напряжение в контактной сети –  $U_{\text{КС}} = \text{от } 3 \text{ кВ до } 3,9 \text{ кВ}$ , тип провода – 2МФ – 100 + М – 120.

Расчетные значения напряженности ЭП (В/м) в 2D-формате вблизи КС при  $U_{\text{КС}} = 3000 \text{ В}$  приведены на рис. 3.

Из рис. 3 видно, что вблизи КС значения напряженности ЭП 50 Гц составляют от 0,27 кВ/м до 1,6 кВ/м, при сравнении с уровнем ПДУ РФ (5 кВ/м) превышение его не наблюдается.

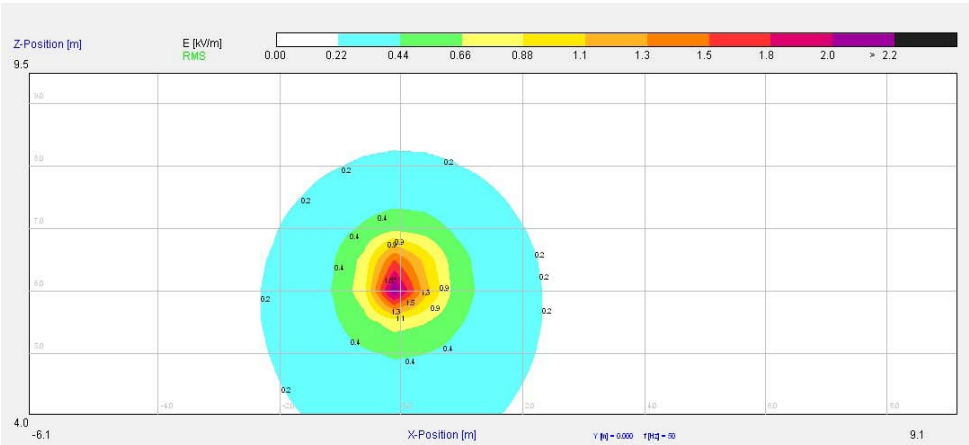


Рис. 3

Таблица 6

Величина ЭП вблизи КС при напряжении в КС 3000 В и 4000 В

Напряжение, В	$E$ , кВ, при $h = 2$ м	$E$ , кВ, при $h = 5,7$ м	$E$ , кВ, при $h = 6,2$ м	$E$ , кВ, при $h = 6,7$ м	ПДУ РФ, $E$ , кВ
3000	0,27	1,5	2,2	1,1	5
4000	0,4	1,1	3	1,4	

Полученные значения ЭП вблизи КС сведены в таблицу 6.

Напряженность ЭП при данных условиях (таблица 6) не оказывает вредного влияния на организм человека (электротехнического персонала, обслуживающего КС), разработка защитных мероприятий и средств не требуется.

Рассмотрим полученные результаты уровней МП при совместном воздействии МП от КС 3 кВ и ЛЭП 220 кВ. Расчет электрического и магнитного полей происходит отдельно, но можно одновременно оценить уровень магнитного или электрического полей от разных источников.

Расчетные значения индукции постоянного МП (мТл) в 3D-формате вблизи КС 3 кВ под пересечением ЛЭП 220 кВ, при  $I_{КС} = 3500$  А и  $I_{ЛЭП} = 500$  А приведены на рис. 4.

Из рис. 4 видно, что индукция постоянного МП изменяется от 0,64 мТл до 6,4 мТл для КС, в сравнении с уровнем ПДУ РФ (10 мТл) превышения

нет. Индукция переменного МП от ЛЭП 220 кВ распределяется от 0 мТл до 0,6 мТл, наблюдается превышение ПДУ (0,1 мТл). Расстояние от нижней фазы ЛЭП до оси опоры контактной сети больше 3 м, индукция МП от ЛЭП не распространяется на МП КС.

Проведем анализ переменной составляющей магнитной индукции МП 50 Гц от КС при выпрямленном токе и индукция МП от ЛЭП 220 кВ. Расчетные значения переменной составляющей магнитной индукции МП 50 Гц от КС под пересечением ЛЭП 220 кВ в 3D-формате при  $I_{КС} = 3500$  А и  $I_{ЛЭП} = 500$  А приведены на рис. 5.

Из рис. 5 видно, что индукция от ЛЭП 220 кВ и переменной составляющей магнитной индукции МП 50 Гц от КС не оказывают влияния друг на друга.

Полученные расчетные значения переменной составляющей магнитной индукции МП 50 Гц от КС под пересечением ЛЭП 220 кВ сведены в таблицу 7.

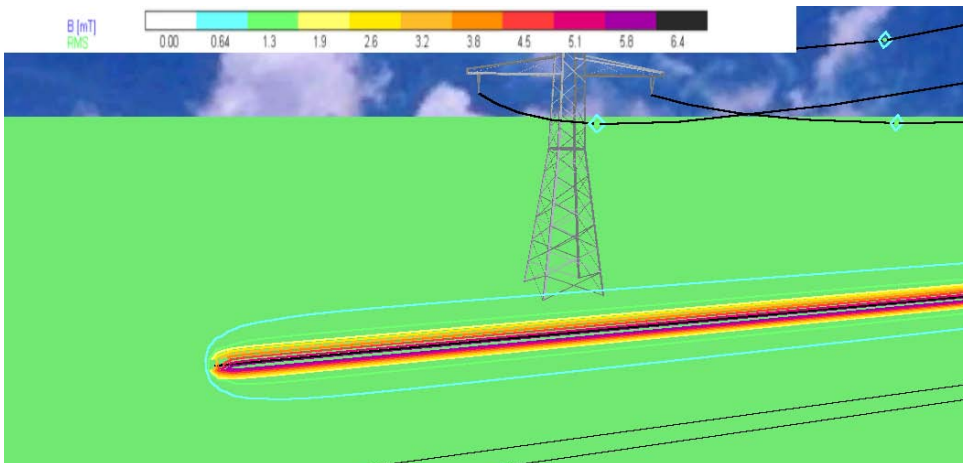


Рис. 4

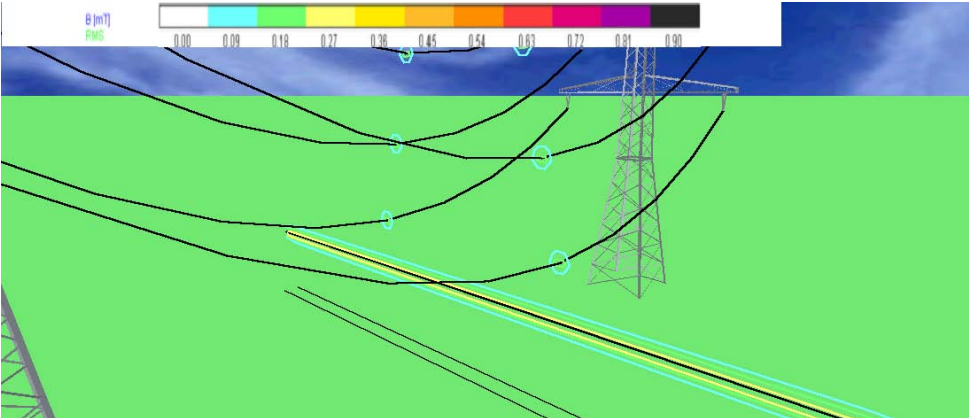


Рис. 5

Таблица 7

Расчетные значения переменной составляющей магнитной индукции  
МП 50 Гц от КС при выпрямленном токе вблизи КС 3 кВ под пересечением  
ЛЭП 220 кВ

$I_{\text{КС}}, \text{ A}$	$H, \text{ мкТл}$ при 1,8 м	$H, \text{ мкТл}$ при 5,7 м	$H, \text{ мкТл}$ при 6,2 м	$H, \text{ мкТл}$ при 6,7 м	ПДУ $H,$ мкТл	ПДУ $H,$ мкТл
126 (4,2 % от 3000 А)	9	113	197	113	100 (при 8-часовом воздей- ствии)	500 (при 4-часовом воздей- ствии)
147 (4,2 % от 3500 А)	10	130	230	130		

Значения переменной составляющей магнитной индукции при выпрямленном токе вблизи КС 3 кВ под пересечением ЛЭП 220 кВ превышают ПДУ на высоте 5,7 м и выше до 2,3 раз, что может негативно сказываться на здоровье электротехнического персонала. Максимальное значение зафиксировано при выпрямленном токе в КС 3500 А и составляет 230 мкТл.

Проведем анализ ЭП вблизи КС 3 кВ под пересечением ЛЭП 220 кВ при следующих данных: расстояние от земли до ближайшего провода ЛЭП 220 кВ –  $h = 13 \text{ м}$ , ток  $U_{\text{ЛЭП}} = 220 \text{ кВ}$ , тип провода – АС-240, расстояние от рельса до контактного провода  $h = 6,2 \text{ м}$ , ток  $U_{\text{КС}} = 4000 \text{ В}$ , тип провода 2МФ –100 + М –120.

Расчетные значения ЭП (кВ/м) в формате 3D вблизи КС 3 кВ под пересечением ЛЭП 220 кВ при  $U_{\text{КС}} = 4000 \text{ В}$  и  $U_{\text{ЛЭП}} = 220 \text{ кВ}$  приведены на рис. 6.

Из рис. 6 видно, что значения электрического поля изменяются от 3 кВ/м

до 30 кВ/м при сравнении с уровнем ПДУ РФ (5 кВ/м) – наблюдается превышение. Напряженность ЭП от КС и напряженность ЭП от ЛЭП 220 кВ влияют друг на друга. Воздействие ЭП на электротехнический персонал осуществляется от КС и от ЛЭП-220 кВ. Полученные значения ЭП вблизи КС представлены в таблице 8.

Воздействие ЭП в зоне работы электротехнического персонала составляет от 0 до 3 кВ/м, что не превышает ПДУ РФ (5 кВ/м), однако наблюдается превышение ПДУ РФ при высоте 8 м и более, что не исключает возможность попадания рабочего персонала в зону вредного воздействия ЭП.

Для контроля магнитных полей вблизи контактной сети необходимо разработать устройство, которое позволит непрерывно измерять уровни МП и сигнализировать о превышении ПДУ МП переменного и постоянного токов [20]. ■



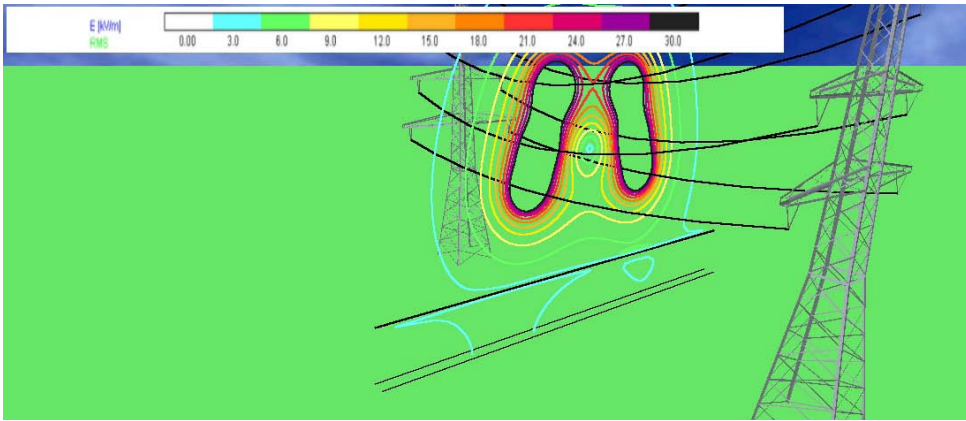


Рис. 6

Таблица 8

Величина ЭП вблизи КС при напряжении в КС 4000 В и ЛЭП 220 кВ

Напряжение, кВ	$E$ , кВ, при $h = 13$ м	$E$ , кВ, при $h = 12$ м	$E$ , кВ, при $h = 10$ м	$E$ , кВ, при $h = 8$ м	ПДУ РФ $E$ , кВ
220	30	18	12	6	5

#### Литература

1. Кузнецов К. Б., Мишарин А. С. Электробезопасность в электроустановках железнодорожного транспорта : учебное пособие для вузов ж.-д. транспорта. М. : Маршрут. 2005. 456 с. ISBN 5-7695-0766-7.
2. Kuznetsov K. B., Zakirova A. R. Higher harmonic components of rectifiers magnetic fields and their adverse health effects / Procedia Engineering 129 (2015). С. 415–419.
3. Байбурун В. Б. Динамический хаос в системах со скрещенными электрическими и магнитными полями // Вестник СГТУ. 2011. № 4(61). Вып. 3. С. 16–23.
4. Бинги В. Н. Магнитобиология: эксперименты и модели. М. : «МИЛТА», 2002. – 592 с. ISBN 5-94505-033-4.
5. Григорьев Ю. Г. Человек в электромагнитном поле (существующая ситуация, ожидаемые биоэффекты и оценки опасности) // Радиационная биология. Радиоэкология. 1997. С. 120–143.
6. Пальцев Ю. П., Рубцова Н. Б., Походзей Л. В. Электромагнитные поля в производственной и окружающей среде / Профессиональный риск для здоровья работников : руководство / под ред. Н. Ф. Измерова и Э. И. Денисова. – М. : Тривант. 2003. С. 167–171.
7. Пальцев Ю. П., Походзей Л. В., Рубцова Н. Б., Богачева Е. В. Совершенствование и гармонизация гигиенических нормативов электрических и магнитных полей // Медицина труда и промышленная экология. 2013. № 2. С. 5–8.
8. Холодов Ю. А., Козлов А. Н., Горбач А. М. Магнитные поля биологических объектов. М. : Книга по требованию, 2012. – 146 с.
9. Шандала М. Г. Методологические вопросы гигиенического нормирования неионизирующих электромагнитных излучений для населения // Биологические эффекты электромагнитных полей. Вопросы их использования и нормирования. 1986. С. 135–1504.
10. Ксенофонтов Б. С. О воздействии слабых электромагнитных полей на водные системы и разработка магнито- и электросместителей // Безопасность жизнедеятельности. № 12(96). 2008. С. 35–102.
11. Каданцев В. Н., Лупичев Л. Н., Савин А. В. Образование солитонных состояний в молекулярной цепочке при квантовом учете тепловых колебаний // Укр. физ. журн. 1988. № 8. С. 1135–1139.



12. Шандала М.Г. Методологические вопросы гигиенического нормирования неионизирующих электромагнитных излучений для населения // Биологические эффекты электромагнитных полей. Вопросы их использования и нормирования. Пушино. 1986. С. 135–1504.
13. Кузнецов К.Б., Закирова А.Р. Оценка электромагнитной обстановки и вероятности возникновения профессионального обусловленного заболевания // Вестник УрГУПС. 2014. № 4. С. 82–90. ISBN 2079-0392.
14. Goodman R., Henderson A. S. Transcription and translation in cells exposed to extremely low frequency electromagnetic fields // Bioelectroch. Bioener. 1991. Vol. 25. Pp. 335–355.
15. Libo A. R., Smith S. D., McLeod B. R. Experimental evidence for ion cyclotron resonance mediation of membrane transport // Mechanistic Approaches to Interactions of Electric and Electromagnetic Fields with Living Systems / Ed. by M. Blank, E. Findl. New York : Plenum, 1987. Pp. 109–132.
16. S. Tofani, A. Ferrara, L. Anglesio, G. Gilli. Evidence for genotoxic effects of resonant ELF magnetic fields // Bioelectroch. Bioener, 1995. Vol. 36. Pp. 9–13.
17. СанПиН 2.2.4.1191–03. Электромагнитные поля в производственных условиях. – М. : Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России, 2003. 38 с.
18. Ландсберг Г.С. Элементарный учебник физики. Т. 2. Электричество и магнетизм. – М. : Наука, 1985. 479 с
19. Четвергов В.А., Маслов Г.П., Поздняков О.И., Шалимов М.Г. Опытнo-конструкторская разработка, исследование и эксплуатационное освоение двенадцатипульсовых выпрямителей тяговых подстанций : отчет о НИР 1980. 149 с.
20. Устройство для контроля напряженности магнитных полей переменного и постоянного токов : пат. № 2572294 Рос. Федерации.

#### References

1. Kuznetsov K. B., Misharin A. S. Elektrobezopasnost v elektroustanovkakh zheleznodorozhnogo transporta: uchebnoye posobiye dlya vuzov zh.-d. transporta [Electrical safety in railway transport installations: Manual for higher education institutions of railway transport]. M. : Marshrut. 2005. 456 s. ISBN 5-7695-0766-7.
2. Kuznetsov K. B., Zakirova A. R. Higher harmonic components of rectifiers magnetic fields and their adverse health effects / Procedia Engineering 129 (2015). P. 415–419.
3. Bayburin V. B. Dinamicheskiy khaos v sistemakh so skreshchennymi elektricheskimi i magnitnymi polyami [Dynamic chaos in systems with crossed electric and magnetic fields] // Vestnik SGTU. 2011. № 4(61). Vyp. 3. S. 16–23.
4. Bingi V. N. Magnitobiologiya: eksperimenty i modeli [Magnetobiology: experiments and models]. M. : "MILTA", 2002. – 592 s. ISBN 5-94505-033-4.
5. Grigoryev Yu. G. Chelovek v elektromagnitnom pole (sushchestvuyushchaya situatsiya, ozhidayemye bioeffekty i otsenki opasnosti) [Man in the electromagnetic field (current situation, expected bioeffects and hazard assessment)] // Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya. 1997. S. 120–143.
6. Paltsev Yu. P., Rubtsova N. B., Pokhodzey L. V. Elektromagnitnye polya v proizvodstvennoy i okruzhayushchey srede / Professionalny risk dlya zdorovya rabotnikov: rukovodstvo / pod red. N. F. Izmerova i E. I. Denisova [Electromagnetic fields in the industrial and natural environment / Occupational health risks for workers: Manual / edited by N. F. Izmerov and Ye. I. Denisov]. – M. : Trovant. 2003. S. 167–171.
7. Paltsev Yu. P., Pokhodzey L. V., Rubtsova N. B., Bogacheva Ye. V. Sovershenstvovaniye i garmonizatsiya gigiyenicheskikh normativov elektricheskikh i magnitnykh poley [Development and harmonisation of health criteria for electric and magnetic fields] // Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya. 2013. № 2. S. 5–8.
8. Kholodov Yu. A., Kozlov A. N., Gorbach A. M.. Magnitniye polya biologicheskikh ob'yektov [Magnetic fields of biological objects]. M. : Kniga po trebovaniyu, 2012. – 146 s.
9. Shandala M. G. Metodologicheskiye voprosy gigiyenicheskogo normirovaniya neioniziruyushchikh elektromagnitnykh izlucheny dlya naseleniya [Methodological problems of health criteria of human exposure to non-ionising electromagnetic emissions] // Biologicheskkiye effekty elektromagnitnykh poley. Voprosy ikh ispolzovaniya i normirovaniya. 1986. S. 135–1504.

10. Ksenofontov B.S. O vozdeystvii slabykh elektromagnitnykh poley na vodnye sistemy i razrabotka magnitno- i elektrosmesiteley [About the impact of weak electromagnetic fields on water systems and development of magnetic and electric stirrers] // Bezopasnost zhiznedeyatel'nosti. № 12(96). 2008. S. 35–102.
11. Kadantsev V.N., Lupichev L.N., Savin A.V. Obrazovaniye solitonnykh sostoyany v molekulyarnoy tsepoche pri kvantovom uchete teplovykh kolebany [Creation of soliton states in molecular chain in the quantum accounting for thermal vibrations] // Ukr. fiz. zhurn. 1988. № 8. S. 1135–1139.
12. Shandala M.G. Metodologicheskiye voprosy gigiyenicheskogo normirovaniya neioniziruyushchikh elektromagnitnykh izlucheniye dlya naseleniya [Methodological problems of health criteria of human exposure to non-ionising electromagnetic emissions] // Biologicheskiye efekty elektromagnitnykh poley. Voprosy ikh ispolzovaniya i normirovaniya. Pushchino. 1986. S. 135–1504.
13. Kuznetsov K.B., Zakirova A.R. Otsenka elektromagnitnoy obstanovki i veroyatnosti vozniknoveniya professional'nogo obuslovlennogo zabolevaniya [Evaluation of electromagnetic environment and likelihood of occupational disease] // Vestnik UrGUPS. 2014. № 4. S. 82–90. ISBN 2079-0392.
14. Goodman R., Henderson A.S. Transcription and translation in cells exposed to extremely low frequency electromagnetic fields // Bioelectroch. Bioener. 1991. Vol. 25. Pp. 335–355.
15. Libo A.R., Smith S.D., McLeod B.R. Experimental evidence for ion cyclotron resonance mediation of membrane transport // Mechanistic Approaches to Interactions of Electric and Electromagnetic Fields with Living Systems / Ed. by M. Blank, E. Findl. New York : Plenum, 1987. Pp. 109–132.
16. S. Tofani, A. Ferrara, L. Anglesio, G. Gilli. Evidence for genotoxic effects of resonant ELF magnetic fields // Bioelectroch. Bioener, 1995. Vol. 36. Pp. 9–13.
17. SanPiN 2.2.4.1191–03. Electromagnetic fields under industrial conditions. – M. : Federal Center of Gossanepidnadzor of the Ministry of Health of Russia, 2003. 38 s.
18. Landsberg G.S. Elementarny uchebnyk fiziki. T. 2. Elektrichestvo i magnetizm [Elementary Physics. Vol. 2. Electricity and magnetism]. – M. : Nauka, 1985. 479 s.
19. Chetvergova V.A., Maslov G.P., Pozdnyakov O.I., Shalimov M.G. Opytno-konstruktorskaya razrabotka, issledovaniye i ekspluatatsionnoye osvoeniye dvenadtsatipul'sovyykh vypryamateley tyagovykh podstantsy: otchet o NIR 1980 [Experimental design and development, research and production of twelve pulse rectifiers for traction substations: research report 1980]. 149 s.
20. Device for controlling the direct and alternating current magnetic field strength : Patent № 2572294 Russian Federation.

*Статья сдана в редакцию 12 февраля 2016 года*

УДК 699-844

*А. Н. Скворцов*

## Расчёт эффективности звукоподавляющего офисно-производственного акустического экрана

UDC 699-844

*A. N. Skvortsov*

## Calculation of effectiveness of office and industrial noise rejection acoustic shield

### Аннотация

Одной из актуальных проблем современной экологии является исследование воздействия неблагоприятных факторов среды жизни на физическое развитие и здоровье населения. Хозяйственная деятельность человека привела к бурному росту промышленности, которая всегда сопровождается выделением повышенного шума. Статья посвящена решению актуальной задачи защиты населения от энергии шума производственных объектов. Производственные объекты повсеместно оснащены шумящим оборудованием; если уровень энергии шума превышает ПДУ, то проводятся шумозащитные мероприятия. Многие из них пользуются спросом, другие менее известны. В данной статье пойдет речь об одном из наиболее распространенных средств защиты от шума – акустическом экране. Предлагается расчет коэффициента звукопоглощения и акустической эффективности сложной конструкции нового офисно-производственного звукоподавляющего акустического экрана. Расчетным путем произведена оценка коэффициента звукопоглощения и акустической эффективности акустического экрана.

**Ключевые слова:** шум, охрана труда, акустическое загрязнение, звукозащитный материал.

DOI:10.20291/2079-0392-2016-2-84-91

### Summary

One of the urgent problems of modern ecology is the study of the impact of adverse factors of living environment on physical development and health of the population. Business activities have led to rapid growth of industry, which is always accompanied by higher noise release. The article is devoted to solving urgent problems of population protection against noise energy of production facilities. Production facilities everywhere are equipped with noisy equipment, if the noise level exceeds the maximum permissible level, noise control actions are taken. Many of them are in demand, and others are less well-known. This article refers to one of the most common means of noise protection – the acoustic shield. I suggest computation of sound absorption coefficient and acoustic efficiency of a complex structure of the new office and industrial noise rejection acoustic shield. Estimation of sound absorption coefficient and acoustic efficiency of the acoustic shield has been performed by calculation.

**Keywords:** noise, job safety, acoustic contamination, noise protection material.

DOI:10.20291/2079-0392-2016-2-84-91

Александр Николаевич Скворцов, преподаватель; кафедра безопасности жизнедеятельности Мордовского государственного университета им. Н.П. Огарёва. Саранск, Россия. E-mail: squortsow.sasha@mail.ru.

Aleksandr Nikolayevich Skvortsov, Professor; Life Safety Department, Ogarev Mordovia State University, Saransk, Russia. E-mail: squortsow.sasha@mail.ru.

**П**овышенный шум несёт серьёзные проблемы, связанные со здоровьем человека. Основным признаком воздействия шума на организм является медленное снижение слуха, а на его фоне развивается нейросенсорная тугоухость. Нейросенсорная тугоухость в последние годы занимает лидирующие позиции в профессиональной заболеваемости не только в РФ, но и в Польше, Германии, Финляндии, Норвегии, США и т.д.

По мнению Национального института по охране труда и здоровья США (NIOSH), более 30 млн рабочих, находящихся в зоне повышенного шума, будут иметь проблемы со слухом. Это утверждение особенно актуально для строительства, горнодобывающей промышленности, сельского хозяйства, транспорта и т.д. [1–3].

В области борьбы с шумом ведутся интенсивные исследования, которые базируются на трудах выдающихся отечественных и зарубежных ученых [4–9].

Сегодня существует большое разнообразие средств индивидуальной и коллективной защиты от шума (звукозащитная облицовка, штучные звукопоглотители, акустические экраны, перегородки, вкладыши, наушники, шлемы и т.д.).

Конструкция звукоподавляющего офисно-производственного акустического экрана представлена на рис. 1.

Звукоподавляющий офисно-производственный акустический экран предназначен для защиты персонала от повышенного шума на рабочих местах, состоит из каркаса и акустического полотна. Каркас включает в себя пару вертикальных опорных профилей установленных в опорные стойки и два горизонтальных профиля. В качестве звукозащитного материала используется звукоподавляющая ячеистая панель [10].

Как правило, такими конструкциями отгораживают небольшие источники шума, которые могут быть аппроксимированы как точечные источники звука. Они находятся вблизи к источнику

шума, снижая прямой звук. В точке расчёта наблюдается не только дифрагированный звук, но и звук, отражённый от поверхностей помещения. Свободные рёбра экрана представлены как источники вторичного звука [4,11,12].

В расчёте эффективности акустических экранов обычно применяют оптико-дифракционную теорию акустики с применением числа Френеля, учитывающего изменения разности, хода звуковых лучей при наличии и отсутствия акустического экрана. Но у такого подхода есть существенные недостатки: экран не позволяет учитывать материал и его акустические свойства и требует строгих допущений (АЭ звуконепроницаемый, бесконечный и т.д.), что уменьшает точность расчётов. Исходя из этого необходимы другие подходы, которые позволяют описать акустические процессы, связанные с АЭ [4].

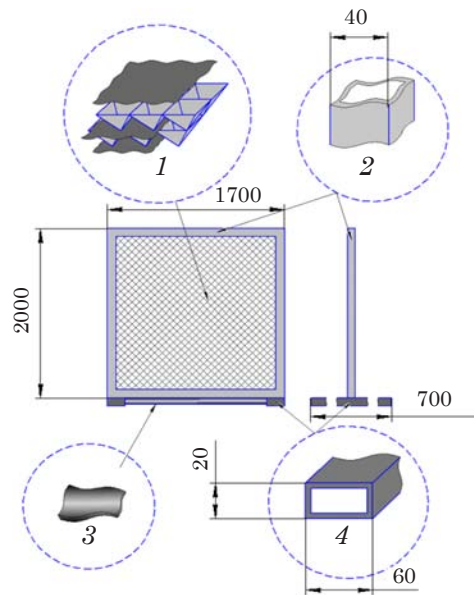


Рис. 1. Офисно-производственный звукоподавляющий акустический экран\*  
1 – звукозащитный материал (звукоподавляющая ячеистая панель); 2 – каркас звукоподавляющего облегчённого акустического экрана; 3 – звукозащитная резина; 4 – стойки офисно-производственного звукоподавляющего акустического экрана

\* Качество иллюстраций соответствует качеству предоставленных оригиналов.

Для расчёта акустической эффективности офисно-производственного акустического экрана воспользуемся расчётной схемой для офисно-производственных акустических экранов, которая даёт наиболее точную картину звука прошедшего за экран [4].

Расчётная схема офисно-производственного акустического экрана представлена на рис. 2.

Эффективность АЭ рассчитаем по формуле [4]:

$$\Delta L_{\text{АЭ}} = 10 \lg \left( \frac{x_{\text{ист}}}{2\pi(r_1 + r_2)^2} + \frac{4}{B_{\text{пом}} + \psi_{\text{пом}}} \right) - 10 \lg \left[ \frac{4}{B_{\text{пом}} \cdot \psi_{\text{пом}}} + \frac{E_{\text{ист}}(1 - \alpha_{\text{эк}}) \cdot \tau_{\text{эк}}}{2\pi^2 r_1^2} \times \right. \\ \times \arctg \frac{h_{\text{эк}} \cdot b_{\text{эк}}}{2\pi^2 r_2 \sqrt{4r_2^2 + h_{\text{эк}}^2 + b_{\text{эк}}^2}} + \left. \frac{E_{\text{ист}} \beta_{\text{дифр}} (1 - \alpha_{\text{эк}}) \lambda}{2\pi^3 r_1^2 h_{\text{эк}} r_2} \times \right. \\ \left. \times \arctg \frac{b_{\text{эк}}}{2h_{\text{эк}}} \cdot \arctg \frac{b_{\text{эк}}}{2r_2} \right], \quad (1)$$

где  $x_{\text{ист}}$  – коэффициент, учитывающий размеры ИПШ;  $\tau_{\text{эк}}$  – коэффициент звукопроводности АЭ;  $B_{\text{пом}}$  – акустическая постоянная помещения ( $\text{м}^2$ );

$\psi_{\text{пом}}$  – коэффициент, учитывающий неравномерность звукового поля в помещении;  $b_{\text{эк}}$  – ширина АЭ (м);  $\beta_{\text{дифр}}$  – коэффициент дифракции АЭ рассчитывается по формуле (2)

$$\beta_{\text{дифр}} = I_{\text{дифр}} / I_{\text{пад}}, \quad (2)$$

где  $I_{\text{дифр}}$  – интенсивность звука дифрагирующего на свободном ребре;  $I_{\text{пад}}$  – интенсивность звука, падающая на поверхность АЭ.

Для расчёта акустической эффективности данного экрана необходимо найти коэффициент звукопоглощения и коэффициент звукопроводности звукозащитного материала, в качестве которого используется звукоподавляющая ячеистая панель (рис. 3).

Звукоподавляющая ячеистая панель, содержащая параллельные листы с установленными между ними элементами, отличающаяся тем, что верхний, средний и нижний листы из монолитного поликарбоната с установленными между ними ячейками пирамидообразной формы из монолитного поликарбоната, соединены между собой посредством клеевого соединения, при этом ячейки первого слоя соединены основаниями с верхним листом, вершины которых соединены со средним листом в ребрах оснований ячеек второго

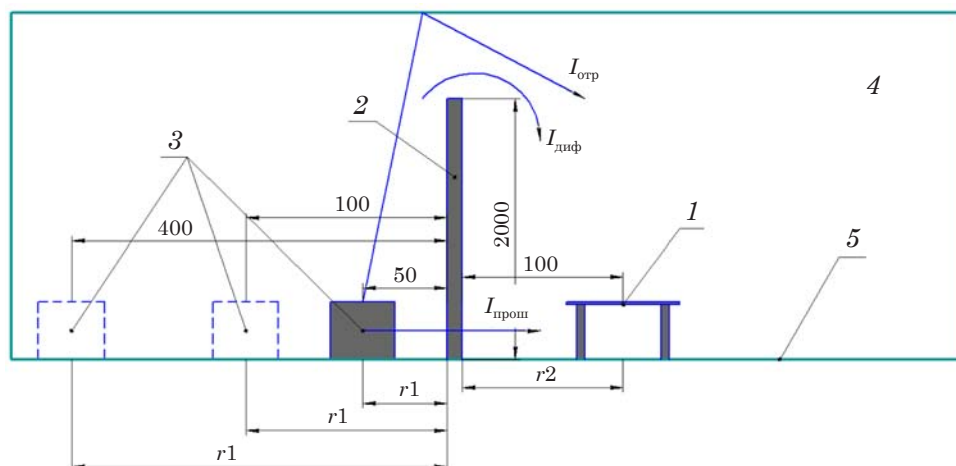


Рис. 2. Расчётная схема акустического экрана в производственном помещении  
1 – рабочая точка; 2 – акустический экран; 3 – источник шума; 4 – помещение; 5 – опорная поверхность

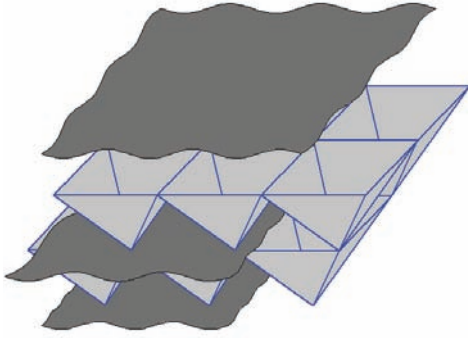


Рис. 3. Звукоподавляющая ячеистая панель (пат. RU 158599 U1)

ряда, основания которых соединены со средним листом, а вершины – с нижним листом [10].

На рис. 4 изображена упрощённая схема звукоподавляющей ячеистой панели, которая изготавливается из тонких пластин.

Звукоподавляющая ячеистая панель изготавливается таким образом, что звук, идущий через неё, встречает на своём пути пять слоёв тонкого листового материала, препятствующих его прохождению.

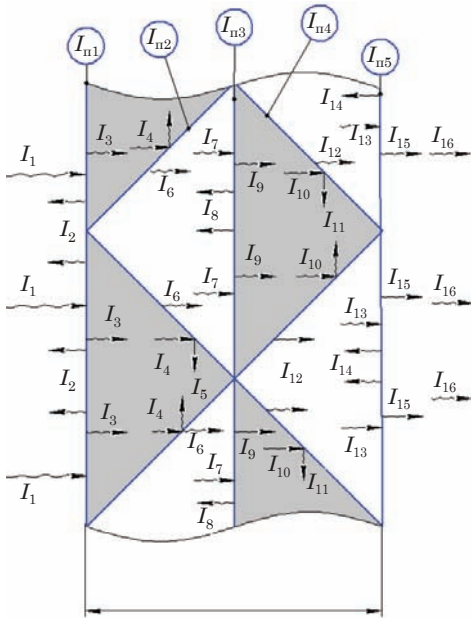


Рис. 4. Схема прохождения звука через звукоподавляющую ячеистую панель

Обозначения потоков:  $I_1, I_4, I_7, I_{10}, I_{13}$  – потоки звуковой энергии, падающие на листы 1,2,3,4,5;  $I_2, I_5, I_8, I_{11}, I_{14}$  – отражённые потоки звуковой энергии от листов 1,2,3,4,5;  $I_3, I_6, I_9, I_{12}, I_{15}$  – потоки звуковой энергии, прошедшие через листы 1,2,3,4,5;  $I_{16}$  – поток звуковой энергии, ушедший с листа 5.

Далее произведём расчёт коэффициента звукопроводности звукоподавляющей ячеистой панели.

Отношение интенсивности прошедшего звука к интенсивности падающего звука называется коэффициентом звукопроводности [5, 6]:

$$\tau = I_{\text{пр}} / I_{\text{пад}} \text{ или } I_{\text{пр}} = I_{\text{пад}} \cdot \tau. \quad (3)$$

Волновые процессы в материале рассмотрим с использованием интенсивности потока звуковой энергии.

Интенсивность отражённого звука  $I_2$  от листа 1 определяется:

$$I_2 = I_1 - I_3 = I_1 - I_1 \cdot \tau = I_1 \cdot (1 - \tau), \quad (4)$$

где  $I_3 = I_1 \cdot \tau$  – интенсивность звука прошедшего через лист 1; берём из формулы (3).

Потеря  $I_{n1}$  на демпфирование окружающим воздухом будет рассчитываться по формуле (3):

$$I_{n1} = I_3 \cdot \varepsilon \text{ отсюда } I_{n1} = I_1 \cdot \tau \cdot \varepsilon, \quad (5)$$

где  $\varepsilon = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{1}{\left(\frac{4}{3}\alpha_1 + \frac{2}{3}Q\right)^2}}}$  – коэффи-

циент потерь, учитывающий демпфирование окружающим воздухом [13];

$\tau = \frac{\ln(1 + Q^2)}{Q^2}$  – преобразованная фор-

мула Пэриса [13];  $Q = \frac{m_p \cdot f}{\rho \cdot c}$  – безраз-

мерный комплекс [13];  $f = \frac{\omega}{2\pi}$  – часто-

та, Гц;  $m_p$  – поверхностная плотность листового материала,  $\text{кг/м}^2$ ;  $\rho$  – плотность



воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  $c$  – скорость звука в воздухе, м/с;  $\alpha_1$  – коэффициент звукопоглощения листового материала.

Определим интенсивность звука падающего на пластину 2, пользуясь формулами (3), (5):

$$\begin{aligned} I_4 &= I_3 - I_{n1} = I_1 \cdot \tau - I_1 \cdot \tau \cdot \varepsilon = \\ &= I_1 \cdot (1 - \varepsilon). \end{aligned} \quad (6)$$

Интенсивность звука отражённого от пластины 2, определяем, пользуясь формулами (6), (8):

$$\begin{aligned} I_5 &= I_4 - I_6 = I_1 \cdot \tau(1 - \varepsilon) - \\ &I_1 \cdot \tau^2(1 - \varepsilon) = I_1 \cdot \tau^2(1 - \varepsilon). \end{aligned} \quad (7)$$

Звук, прошедший через лист 2, будет определяться с использованием формулы (6):

$$I_6 = I_4 \cdot \tau = I_1 \cdot \tau^2(1 - \varepsilon). \quad (8)$$

Потерю на демпфирование окружающим воздухом рассчитаем по формуле:

$$\begin{aligned} I_{n1} &= I_6 \cdot \varepsilon = I_1 \cdot \tau^2(1 - \varepsilon) \cdot \varepsilon = \\ &= I_1 \cdot \tau^2(1 - \varepsilon) \cdot \varepsilon. \end{aligned} \quad (9)$$

Определим интенсивность звука, падающего на лист 3, пользуясь выражениями (8), (9):

$$\begin{aligned} I_7 &= I_6 - I_{n1} = I_1 \cdot \tau^2(1 - \varepsilon) - \\ &- I_1 \cdot \tau^2(1 - \varepsilon) \cdot \varepsilon = I_1 \cdot \tau^2(1 - \varepsilon)^2. \end{aligned} \quad (10)$$

Интенсивность звука, отражённого от листа 3, определяем, пользуясь формулой (10):

$$\begin{aligned} I_8 &= I_7 - I_9 = I_1 \cdot \tau^2(1 - \varepsilon)^2 - \\ &- I_1 \cdot \tau^3(1 - \varepsilon)^2 = I_1 \cdot \tau^3(1 - \varepsilon)^2. \end{aligned} \quad (11)$$

Потерю на демпфирование окружающим воздухом рассчитаем по формуле:

$$\begin{aligned} I_{n1} &= I_9 \cdot \varepsilon = I_1 \cdot \tau^3(1 - \varepsilon)^2 \cdot \varepsilon - \\ &- I_1 \cdot \tau^3(1 - \varepsilon)^2 \cdot \varepsilon = I_1 \cdot \tau^3(1 - \varepsilon)^2. \end{aligned} \quad (12)$$

Звук, прошедший через лист 3, будет определяться согласно выражению (10):

$$\begin{aligned} I_9 &= I_7 \cdot \tau = I_1 \cdot \tau^2(1 - \varepsilon)^2 \cdot \tau = \\ &= I_1 \cdot \tau^3(1 - \varepsilon)^2. \end{aligned} \quad (13)$$

Определим интенсивность звука, падающего на лист 4, пользуясь формулами (12), (13):

$$\begin{aligned} I_{10} &= I_9 - I_{n3} = I_1 \cdot \tau^3(1 - \varepsilon)^2 - \\ &- I_1 \cdot \tau^3(1 - \varepsilon)^2 \cdot \varepsilon = I_1 \cdot \tau^3(1 - \varepsilon)^3. \end{aligned} \quad (14)$$

Интенсивность звука, отражённого от листа 4, определяем из соотношений (14), (16):

$$\begin{aligned} I_{11} &= I_{10} - I_{12} = I_1 \cdot \tau^3(1 - \varepsilon)^3 - \\ &I_1 \cdot \tau^4(1 - \varepsilon)^2 = I_1 \cdot \tau^4(1 - \varepsilon)^3. \end{aligned} \quad (15)$$

Звук, прошедший через лист 4, будет рассчитываться по формуле (14):

$$\begin{aligned} I_{12} &= I_{10} \cdot \tau = I_1 \cdot \tau^3(1 - \varepsilon)^3 \cdot \tau = \\ &= I_1 \cdot \tau^4(1 - \varepsilon)^3. \end{aligned} \quad (16)$$

Потеря на демпфирование окружающим воздухом вычисляется по выражению:

$$\begin{aligned} I_{n4} &= I_{12} \cdot \varepsilon = I_1 \cdot \tau^4(1 - \varepsilon)^3 \cdot \varepsilon = \\ &= I_1 \cdot \tau^4(1 - \varepsilon)^3 \cdot \varepsilon. \end{aligned} \quad (17)$$

Определим интенсивность звука, падающего на пластину 5, пользуясь формулами (16), (17):

$$\begin{aligned} I_{13} &= I_{12} \cdot I_{n4} = I_1 \cdot \tau^4(1 - \varepsilon)^3 - \\ &I_1 \cdot \tau^4(1 - \varepsilon)^3 \cdot \varepsilon = I_1 \cdot \tau^4(1 - \varepsilon)^4. \end{aligned} \quad (18)$$

Интенсивность звука, отражённого от листа 5, определяем из соотношений (18), (20):

$$\begin{aligned} I_{14} &= I_{13} - I_{15} = I_1 \cdot \tau^4(1 - \varepsilon)^4 - \\ &I_1 \cdot \tau^5(1 - \varepsilon)^4 = I_1 \cdot \tau^5(1 - \varepsilon)^4. \end{aligned} \quad (19)$$

Звук, прошедший через лист 5:

$$\begin{aligned} I_{15} &= I_{13} \cdot \tau = I_1 \cdot \tau^4(1 - \varepsilon)^4 \cdot \tau = \\ &= I_1 \cdot \tau^5(1 - \varepsilon)^4. \end{aligned} \quad (20)$$

Потеря на демпфирование окружающим воздухом в листе 5 составляет:



Таблица 1

Показатель	$\alpha$	(м)	$\rho_1$ (кг/м <sup>3</sup> )	$\rho$ (кг/м <sup>3</sup> ) при 20 °С	$c$ (м/с) при 20 °С
ЗПАЭ материал					
Полистирол	0,2	0,0005	1250	1,205	343,1

$$I_{n5} = I_{15} \cdot \varepsilon = I_1 \cdot \tau^5 (1 - \varepsilon)^4 \cdot \varepsilon = I_1 \cdot \tau^5 (1 - \varepsilon)^4 \cdot \varepsilon. \quad (21)$$

Интенсивность звука, уходящего с листа 5, вычисляется (17), (20):

$$I_{16} = I_{15} \cdot I_{n4} = I_1 \cdot \tau^5 (1 - \varepsilon)^4 - I_1 \cdot \tau^5 (1 - \varepsilon)^4 \cdot \varepsilon = I_1 \cdot \tau^5 (1 - \varepsilon)^5. \quad (22)$$

Подстановка полученных значений в формулу (3) позволяет определить коэффициент звукопроницаемости звукозащитного материала:

$$\tau_1 = I_{16} / I_1 = I_1 \cdot \tau^5 \cdot (1 - \varepsilon)^5 / I_1 = \tau^5 (1 - \varepsilon)^5. \quad (23)$$

Для определения коэффициента звукопоглощения звукоподавляющей ячейстой панели необходимо найти отношение интенсивности поглощённого в конструкции звука к интенсивности падающего потока звуковой энергии [5, 6]:

$$\alpha = I_{\text{погл}} / I_{\text{пад}}, \quad (24)$$

где  $I_{\text{пад}}$  – интенсивность падающего звука;  $I_{\text{погл}}$  – интенсивность поглощённого звука.

Принимая во внимание интенсивность всех звуковых потоков (рис. 4), получим:

$$\alpha = (I_{n1} + I_{n2} + I_{n3} + I_{n4} + I_{n5} + I_5 + I_8 + I_{11} + I_{14}) / I_1. \quad (25)$$

Значения  $I_{n1}$ ,  $I_{n2}$ ,  $I_{n3}$ ,  $I_{n4}$ ,  $I_{n5}$ ,  $I_5$ ,  $I_8$ ,  $I_{11}$ ,  $I_{14}$  принимаем аналогично соотношениям (5), (7), (9), (11), (12), (15), (17), (21):

$$\begin{aligned} \alpha = & \tau \cdot \varepsilon + \tau^2 \cdot (1 - \varepsilon) \cdot \varepsilon + \\ & + \tau^3 \cdot (1 - \varepsilon)^2 \cdot \varepsilon + \tau^4 \cdot (1 - \varepsilon)^3 \cdot \varepsilon + \\ & + \tau^5 \cdot (1 - \varepsilon)^4 \cdot \varepsilon + \tau^2 \cdot (1 - \varepsilon) + \\ & + \tau^3 \cdot (1 - \varepsilon)^2 + \tau^4 \cdot (1 - \varepsilon)^3 + \\ & + \tau^5 \cdot (1 - \varepsilon)^4. \end{aligned} \quad (26)$$

Исходные показатели по материалу, из которого может быть изготовлена звукоподавляющая ячейстая панель, приведены в таблице 1.

Подставляя цифровые значения в полученные формулы (1), (27), находим  $\alpha_{\text{АШ}}$ ,  $\Delta L_{\text{АШ}}^{\text{ном}}$  (таблица 2, рис. 5, 6).

Таблица 2

Коэффициент звукопоглощения и акустическая эффективность звукоподавляющего офисно-производственного акустического экрана

	Частота, Гц			
	500	1000	2000	4000
Коэффициент звукопоглощения	$\alpha$			
Материал				
Звукоподавляющая ячейстая панель (полистирол)	1,041631	0,5233043	0,24150375	0,096458914
Коэффициент звукопроницаемости	$\tau_1$			
Материал				
Полистирол	$2,7 \cdot 10^{-3}$	$1,6 \cdot 10^{-5}$	$4 \cdot 10^{-9}$	$1,1 \cdot 10^{-13}$
Акустическая эффективность АЭ	$\Delta L_{\text{АЭ}}$ (дБА)			
Расстояние до экрана 50 мм	1,66	7,94	10,94	15,06
Расстояние до экрана 100 мм	1,92	10	8,88	13,1
Расстояние до экрана 400 мм	2	7,16	5,32	9,31

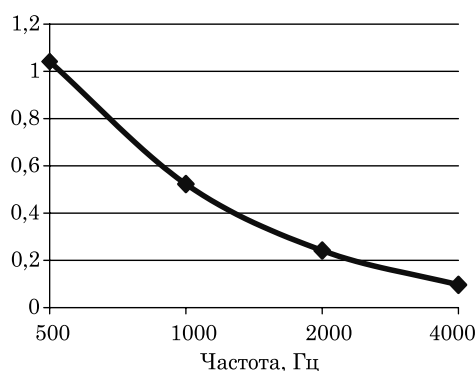


Рис. 5. Теоретический расчёт коэффициента звукопоглощения звукопоглощающей ячеистой панели изготовленной из полистирола

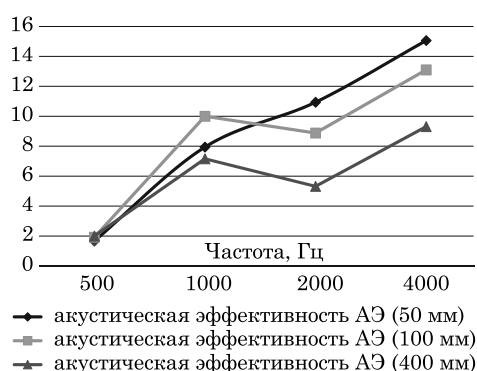


Рис. 6. Акустическая эффективность офисно-производственного звукопоглощающего акустического экрана

Такой экран предполагается изготавливать из полимерных упругих тонких листов, которые обеспечат лёгкость в изготовлении. Обладая небольшой толщиной и высокими звукоизолирующими свойствами, описанное изобретение может быть использовано там, где

в условиях ограниченного пространства необходимо обеспечить достаточное снижение шума. Офисно-производственный акустический экран позволит улучшить условия работы рабочему персоналу. ■

### Литература

1. Афанасьева Р.Ф. Сочетанное действие факторов производственной и окружающей среды на организм человека (аналитический обзор) // Бюллетень научного совета «Медико-экологические проблемы работающих». 2005. № 2. С. 5–70. ISSN 1810-5521.
2. Современные проблемы физиологии и патологии слуха / Н.С. Дмитриев, Г.А. Тавартикаладзе // 1-й Национальный конгресс аудиологов России и 5-й Международный симпозиум, г. Суздаль, 2004. С. 1–16.
3. Azizi M. Occupational Noise-induced Hearing Loss // International journal of Occupational and Environmental Medicine. 2010. № 3. – S. 116–123.
4. Тюрин Н.В. Исследование акустических экранов / XXVII сессия РАО, Санкт-Петербург, 16–18 апр. 2014. С. 1–16.
5. Иванов Н.И. Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом. М.: Логос, 2008. 424 с. ISBN 978-5-598704-286-0.
6. Осипов Г.Л., Бобылёв В.Н., Борисов Л.А. Звукоизоляция и звукопоглощение. М.: ООО «Изд-во Астрель», 2004. 450 с. ISBN 5-17-026286-8.
7. Everest, F.A. The master handbook of acoustic: 4-th edition. New York : McGraw-Hill, 2007. 641 p.
8. Gtinel B. Wavelet packet based analysis of sound fields in rooms using coincident microphone arrays / B. Giinel, H. Hacıhabiboglu, A. Kondo / Applied Acoustics, Vol. 68. № 7. 2007. P. 778–796.
9. Hannink M. Acoustic resonators for the reduction of sound radiation and transmission : PhD Thesis : University of Twente. Netherlands, 2007. 184 p.
10. Звукопоглощающая ячеистая панель : пат. РФ № 158599.
11. Савельев А.П., Скворцов А.Н. Звукопоглощающий облегченный акустический экран // Охрана и экономика труда. 2015. № 2(19). С. 56–61.
12. Cox T.J. Acoustic absorbers and diffusers; theory, design and application / T.J. Cox, P.D. Antonio. New York : Taylor and Francis, 2009. 477 p.
13. Мурзинов П.В. Выбор листового материала для звукоизолирующих облегченных структурированных панелей // Экология. Риск. Безопасность: м-лы Международн. научн.-практ. конф., г. Курган, 20 –21 окт. 2010. – Курган, 2010. С. 149–150.

## References

1. Afanasyeva R. F. Sochetannoye deystviye faktorov proizvodstvennoy i okruzhayushchey sredy na organizm cheloveka (analitichesky obzor) [Combined effect of industrial and environmental factors on human body (analytical review)] // Byulleten nauchnogo soveta "Mediko-ekologicheskiye problemy rabotayushchikh". 2005. № 2. S. 5–70. ISSN 1810-5521.
2. Sovremennyye problemy fiziologii i patologii slukha / N. S. Dmitriyev, G. A. Tavartkiladze [Modern problems of physiology and hearing disorders / N. S. Dmitriyev, G. A. Tavartkiladze] // 1-y Natsionalny congress audiologov Rossi i 5-y Mezhdunarodny simpozium, Suzdal, 2004. S. 1–16.
3. Azizi M. Occupational Noise-induced Hearing Loss // International journal of Occupational and Environmental Medicine. 2010. № 3. – S. 116–123.
4. Tyurina N. V. Issledovaniye akusticheskikh ekranov [Research on acoustic shields] / XXVII sessiya RAO, St. Petersburg, 16-18 apr., 2014. S. 1–16.
5. Ivanov N. I. Inzhenernaya akustika. Teoriya i praktika borby s shumom [Engineering acoustics. Theory and practice of noise reduction]. M. : Logos, 2008. 424 s. ISBN 978-5-598704-286-0.
6. Osipov G. L., Boblyov V. N., Borisov L. A. Zvukoizolyatsiya i zvukopogloshcheniye [Noise insulation and noise absorption]. M. : OOO "Izd-vo Astrel", 2004. 450 s. ISBN 5-17-026286-8.
7. Everest, F. A. The master handbook of acoustic: 4-th edition. New York: McGraw-Hill, 2007. 641 p.
8. Gtinel B. Wavelet packet based analysis of sound fields in rooms using coincident microphone arrays / B. Giinel, H. Hacihabiboglu, A. Kondozi // Applied Acoustics, T. 68. № 7. 2007. P. 778–796.
9. Hannink M. Acoustic resonators for the reduction of sound radiation and transmission : PhD Thesis : University of Twente. Netherlands, 2007. 184 p.
10. Zvukopodavlyayushchaya yacheistaya panel [Noise suppression cell panel]: Pat. RF № 158599.
11. Savelyev A. P., Skvortsov A. N. Zvukopodavlyayushchy oblegchyonny akustichesky ekran [Noise suppression light acoustic shield] // Okhrana i ekonomika truda. 2015. № 2(19). S. 56–61.
12. Cox T. J. Acoustic absorbers and diffusers; theory, design and application / T. J. Cox, P. D. Antonio. New York : Taylor and Francis, 2009. 477 p.
13. Murzinov P. V. Vybor listovogo materiala dlya zvukoizoliruyushchikh oblegchennykh strukturirovannykh paneley [Selection of sheet material for sound insulation of structured lightweight panels] // Ekologiya. Risk. Bezopasnost: m-ly Mezhdunar. nauchn.-prakt. konf., Kurgan, 20–21 okt., 2010. – Kurgan, 2010. S. 149–150.

*Статья сдана в редакцию 29 декабря 2015 года*

# Организация образовательного процесса

УДК 378.172

С. А. Марчук

## Организация процесса обучения студентов с использованием оздоровительных технологий физического воспитания

UDC 378.172

S.A. Marchuk

## Organization of training process for students using health-improving physical training techniques

### Аннотация

В современных социально-экономических условиях необходимы разработка и совершенствование педагогических технологий и образовательных программ на основе здоровьесберегающего принципа для студентов вуза. При наличии разнообразных методик и средств в теории и методике физического воспитания нет целенаправленного воздействия оздоровительных мероприятий на функциональные нарушения здоровья студентов.

В работе представлено научное обоснование развития функциональных нарушений, показана их связь с физическим развитием, умственной нагрузкой и психическим состоянием. По результатам исследований описаны психофизиологические особенности студентов, что позволило дополнить уже имеющиеся факторы, определяющие ухудшение здоровья

в период обучения в вузе. На основании данных ответной реакции организма на умственную нагрузку создана классификация оздоровительных упражнений, которая систематизирована с учетом образовательного процесса вуза. Экспериментальные данные позволили внести структурные преобразования в процесс физического воспитания и разработать образовательную программу, содержание которой дополнительно необходимыми знаниями о механизмах функциональных нарушений и мерах их профилактики. Малонагрузочные и безнагрузочные средства физической культуры, используемые в процессе учебной деятельности студентов, поддерживают функциональные возможности организма и расширяют его адаптационные резервы, предупреждают прогрессирование зрительных нарушений и сохраняют умственную

работоспособность. Исследования позволили выявить педагогические возможности образовательно-оздоровительных технологий, доказать их эффективность в профилактике нарушений, сохранении и укреплении здоровья студентов в процессе обучения в вузе.

**Ключевые слова:** образовательный процесс, физическое воспитание, здоровье, функциональные нарушения, образовательная программа, оздоровительные технологии.

DOI:10.20291/2079-0392-2016-2-92-99

### Summary

Under modern social and economic conditions development and improvement of teaching techniques and educational programs based on health saving principles for students of higher education institutions is necessary. With diverse methods and means available in theory and

Светлана Азатовна Марчук, канд. пед. наук, доцент; кафедра «Физическое воспитание» Уральского государственного университета путей сообщения; E-mail: wish59@yandex.ru.

Svetlana Azatovna Marchuk, PhD in Education, Assistant Professor; Physical Training Department, Ural State University of Railway Transport, E-mail: wish59@yandex.ru.

methodology of physical training there is no focus on the impact of health-improving measures on functional health situations among students.

The study provides scientific description of development of functional health situations, their alliance to physical development, mental workload, and mental state. Psychophysiological features of students were described based on the results of the research, which helped supplement the existing determinants of health deterioration during the period of studies at a higher education institution. Based on the data results of reaction on mental workload

a classification of health-improvement exercises has been drawn which is arranged with accounting to the educational process in the higher education institution. Experimental data helped introduce structural changes in the process of physical training, and to develop an educational program, the contents of which were completed with the necessary knowledge about mechanisms of functional disorders and measures for their prevention. Low load and load free means of physical education used in the course of educational activity for the students, support functionalities of the body and extend

its adaptation reserves, preventing progression of visual impairment and maintaining mental performance. Studies have revealed pedagogical possibilities of education and health technologies, proving their effectiveness in prevention of impairments, preservation and improvement of health of students during the learning process in higher education institutions.

**Keywords:** educational process, physical training, health, functional disorders, educational program, health-improvement techniques.

DOI:10.20291/2079-0392-2016-2-92-99

В условиях научно-технического прогресса профессиональная деятельность человека требует от него наравне с профессиональными знаниями и умениями иметь необходимую специальную психофизическую подготовку, в которой первостепенную роль играет здоровье [1]. Здоровье студенческой молодежи остается до конца неизученной и нерешенной проблемой.

Современные преобразования в экономической и социальной сфере страны остро отразились на состоянии здоровья молодежи и особенно студентов. Статистический анализ данных здоровья студентов вузов Екатеринбурга за последние десять лет показал, что более 50 % студентов имеют различные заболевания, более 30 % по состоянию здоровья вынуждены заниматься физической культурой в специальных медицинских группах. С переходом с курса на курс растет количество заболеваний: на 1 курсе – 34 %, а к 4 курсу – 38,5 %. Исследования заболеваемости среди студентов свидетельствуют, что наиболее часто встречающиеся отклонения в состоянии здоровья – это заболевания опорно-двигательного аппарата (28,6 %), кардио-респираторной

и пищеварительной систем (23,7 %), центральной нервной системы (3,1 %), зрительного анализатора (44,6 %) [2]. Таким образом, заболеваниям подвержены наиболее значимые функциональные системы для обеспечения жизнедеятельности человека.

Из научных исследований известно, что стресс является одной из основных причин развития многих заболеваний. Критические периоды развития хронических болезней связаны с учебными нагрузками, и их распространение и прогрессирование продолжается на протяжении всего процесса обучения.

Результаты исследований особенностей возникновения и прогрессирования заболеваний, например, близорукости, позволили по-новому оценить роль физической культуры.

Как показывает практика, проблема профилактики нарушений здоровья, в частности, зрения средствами физической культуры в вузах рассматривается мало. Учебные программы и методические рекомендации по организации и проведению образовательного процесса зачастую отражают общие положения и зачетные требования, но не учитывают индивидуальность функциональных нарушений у студентов.

В теории и методике физического воспитания отсутствует системный подход целенаправленного воздействия оздоровительных средств на функциональные нарушения у студентов.

Суть внедрения оздоровительных технологий физического воспитания в образовательный процесс студентов заключается в создании условий сохранения здоровья, комплексном мониторинге показателей функционального, психофизиологического и физического состояния, выявлении положительных и отрицательных факторов, влияющих на состояние здоровья студентов, проведении соответствующих коррекционных и профилактических мероприятий с целью оптимизации психофизического состояния и обеспечения успешности учебной деятельности.

Под оздоровительной технологией понимаем комплекс мероприятий, направленных на профилактику нарушений, сохранение и укрепление здоровья студентов, повышение адаптационных возможностей организма, формирование здоровьесберегающей грамотности, формирование устойчивой мотивации к физкультурной деятельности и ЗОЖ.

В условиях вуза при организации процесса по физическому воспитанию на основе здоровьесбережения применимы подходы, разработанные для системы образования в целом: системный, комплексный, деятельностный, личностно-ориентированный, гуманистический. Одним из главных критериев оценки деятельности преподавателя должно стать не только достижение результатов физической подготовленности, но и степень влияния занятий физической культурой на психофизиологическое, функциональное и умственное состояние студента.

При создании условий для сохранения и поддержания здоровья в процессе обучения студентов главным компонентом для решения этой проблемы является разработка образовательно-оздоровительной программы по физической культуре – обеспечение условий для профилактики нарушений, сохранения

и укрепления здоровья субъектов образовательного процесса.

Для планирования и внедрения оздоровительной программы с использованием современных технологий физического воспитания в образовательный процесс необходимо знать, что способствует или вызывает нарушение состояния организма студента или наоборот его улучшает, какими способами или приемами их можно усилить или устранить.

Для подтверждения актуальности изучаемой проблемы и достижения поставленной цели проведены исследования особенностей возникновения функциональных нарушений, в частности зрения у студентов в период обучения в вузе и на их основании разработана оздоровительная программа.

Исследования проводились на базе Российского государственного профессионально-педагогического университета (студенты первого-третьего курсов, 1812 чел.). При проведении констатирующего эксперимента привлечены шесть преподавателей (испытатели). Формирующий эксперимент проходил с привлечением студенток, имеющих близорукость первой степени ( $n = 30$ ). В ходе исследований осуществлялся предварительный, оперативный, поэтапный и итоговый контроль над студентами. Анализировались показатели физического развития, двигательной подготовленности, психофизических функций, умственной работоспособности, а также остроты зрения. Срезы объективных показателей проводились в начале, середине и в конце учебного года, в период относительно спокойной учебной работы и в период экзаменационной сессии. Все студенты были предварительно ознакомлены с методикой тестирования в процессе аудиторных занятий.

Для выявления факторов, влияющих на состояние функциональных систем и изучение эргометрических характеристик умственного труда, с помощью анкетирования изучен бюджет времени студентов ( $n = 100$ ). Обнаружено,



что наиболее значительные затраты времени приходится на учебную и самостоятельную работу у первокурсников, что составляет в среднем 11 ч/дн., у студентов второго курса – 8,2 ч/дн., третьего курса – 7,5 ч/дн. Большая часть студентов первого курса занимается самоподготовкой по 4–6 часов даже в выходные дни. Углубленный социологический опрос позволил выявить такие неблагоприятные факторы, как несбалансированное питание, неполноценный сон, неправильное распределение зрительной нагрузки, недостаточная двигательная активность, отсутствие валеологических знаний и оздоровительных мероприятий, что негативно отражается на психофизическом состоянии организма.

На здоровье студентов влияет физическая и функциональная подготовленность. Проведенный анализ показал, что только у 30 % студентов ( $n = 1812$ ) физическая подготовленность соответствует нормативным требованиям по всем тестируемым показателям, от 40 до 70 % студентов первого и второго курса по основным физическим качествам (быстрота, выносливость, сила) оцениваются неудовлетворительно, а именно эти качества профессионально и жизненно значимы [3]. Физическая подготовленность студентов третьего курса показала тенденцию к ее снижению в сравнении с показателями младших курсов, что связано в первую очередь с уменьшением количества аудиторных часов по физической культуре на старших курсах.

Функциональная подготовленность студентов определялась по параметрам

физической работоспособности с помощью теста  $PWC_{170}$ , который, помимо данных, отражающих развитие выносливости, позволяет с помощью специальной номограммы определить и мощность аэробно-окислительных функций.

Анализ полученных результатов показал, что у студенток первого и второго курса уровень значений  $PWC_{170}$  в начале учебного года не имеет значительных колебаний. Однако в годичном цикле обучения показатели имеют некоторые колебания; из таблицы 1 видно, что после экзаменационной сессии значения  $PWC_{170}$  и МПК ниже, чем в начале учебного года.

В период экзаменационной сессии при наличии повышенной умственной нагрузки мозг человека работает в режиме повышенной напряженности, затрачивая большое количество кислорода. Отмеченное снижение кислородопотребляющих процессов может негативно отразиться на физиологическом, психическом и умственном состоянии организма.

Согласно теории «энергетического правила скелетных мышц» И. А. Аршавского, состояние вегетативных функций непосредственно зависит от уровня двигательной активности. Исследования показали, что двигательная активность студенток в учебный период составляет примерно 60 % от необходимой, а во время экзаменационной сессии снижается почти в два раза. Снижение двигательной активности вызывает состояние гипокинезии и, как следствие, функциональные нарушения организма. Можно утверждать, что снижение двигательной активности, которая является

Таблица 1

Уровень физической работоспособности и максимального потребления кислорода у студенток первого и второго курсов

Курс	$PWC_{170}$ , кг·м/мин		МПК в пересчете на кг массы (мл/мин/кг)	
	сентябрь	январь	сентябрь	январь
	$M \pm m$	$M \pm m$	$M \pm m$	$M \pm m$
Первый ( $n = 50$ )	$556 \pm 39,1$	$512 \pm 34,7$	$29,1 \pm 1,67$	$27,3 \pm 2,03$
Второй ( $n = 50$ )	$566 \pm 32,2$	$588 \pm 41,4$	$27,8 \pm 1,55$	$26,6 \pm 2,05$



активатором не только мышечно-суставной системы, но и метаболических процессов, способствует снижению показателей  $PWC_{170}$  и МПК, что снижает общую адаптационную способность организма и ухудшает его функциональное состояние.

При сужении адаптационных приспособительных реакций, которые наблюдаются у студентов, повышенное психоэмоциональное напряжение в период экзаменационной сессии может стать определяющим для возникновения стресса, который, по мнению многих специалистов, является причиной патологических изменений в организме.

Сравнивая показатели психического состояния у студенток ( $n = 30$ ) с близорукостью в разные периоды обучения видно, что в период экзаменационной сессии происходит достоверное ( $p < 0,05$ ) повышение уровня реактивной тревожности  $46,68 \pm 2,24$  (б) и личностной тревожности  $42,32 \pm 1,98$  (б) в сравнении с показателями межсессионного периода  $35,64 \pm 1,76$  (б) и  $38,60 \pm 1,67$  (б) соответственно. Также произошли различия в состоянии психофизиологических функций: дифференцированная сенсомоторная реакция ухудшилась с  $654 \pm 60$  (мс) до  $955 \pm 49$  (мс); параметры объема и скорости переработки зрительной информации с  $496 \pm 22,3$  (бит) до  $415 \pm 14,6$  (бит) и с  $1,46 \pm 0,08$  (бит/с) до  $1,27 \pm 0,06$  (бит/с) соответственно; острота зрения снизилась на 27 % ( $p < 0,05$ ) в сравнении с исходным уровнем с  $0,52 \pm 0,03$  (у.е.) до  $0,38 \pm 0,02$  (у.е.).

Исследование психического, физиологического и физического состояния студентов показало, что большой объем зрительно-смысловой нагрузки, неблагоприятная эргономика труда и быта, низкая двигательная активность, слабая физическая подготовленность негативно отражаются на состоянии здоровья студентов, при этом зрение страдает в первую очередь. Проведенные лонгитюдные исследования показали, что с переходом с курса на курс количество студентов с нарушением зрения увеличивается на 5–8 % [4].

Выявленные психофизиологические особенности у студентов и обуславливающие их факторы позволили определить средства и методы физической культуры, с помощью которых необходимо осуществлять воздействие на физическое, психическое и функциональное состояние организма студентов.

Оценка эффективности педагогических воздействий средствами физической культуры в процессе учебной деятельности студентов с нарушениями зрения включала: улучшение показателей физической и функциональной подготовленности и общего состояния здоровья, оптимизацию психофизиологического состояния, совершенствование функций физиологических систем организма.

Для организации и проведения профилактики нарушений и сохранения здоровья студентов разработана и внедрена программа по физической культуре, включающая современные образовательные и оздоровительно-развивающие технологии.

С помощью экспериментальной программы решались воспитательные, образовательные, развивающие и оздоровительные задачи: формирование мотивационно-ценностного отношения к физической культуре и знаний в области физической культуры и здоровьесбережения; содействие укреплению и сохранению здоровья, обеспечение достаточного уровня физической и функциональной подготовленности, способствующего высокой работоспособности; овладение комплексом знаний и умений по самоконтролю за психическим, физическим и функциональным состоянием, рациональным использованием средств физической культуры в профилактике нарушений здоровья, в частности зрения.

В учебных программах по дисциплине «Физическая культура» не предусматривается профилактика нарушений здоровья, в том числе зрения, в программно-методическое обеспечение, в вариативную часть программы внесены некоторые изменения и дополнения.

Теоретический раздел дополнен следующими модулями, направленными

на приобретение специальных знаний о механизмах возникновения функциональных нарушений и мер профилактики с ними: «Социальные причины ухудшения здоровья», «Профилактика и коррекция нарушений здоровья средствами физической культуры», «Стресс и его воздействие на психофизическое здоровье человека», «Механизмы зрительного утомления», «Оздоровительная физическая культура при функциональных нарушениях здоровья», «Физическая культура в профессиональной подготовке будущего специалиста».

Содержание методического раздела предусматривает анализ и обсуждение результатов медицинского осмотра, антропометрических измерений, физической подготовленности, приобретенных умений и навыков по самодиагностике психофизиологического и функционального состояния организма, разучивание специальных комплексов упражнений направленных на профилактику умственного утомления, развития стресса, функциональных нарушений опорно-двигательного аппарата и зрения.

Учебно-тренировочный раздел изменен и дополнен следующими модулями.

1. Упражнения общеукрепляющей направленности, развивающие физические качества (упражнения, воздействующие на разные части тела и группы мышц; аэробные упражнения, направленные на координационные способности и выносливость; силовой тренинг с целью укрепления мышц).

2. Упражнения, направленные на снятие психоэмоционального напряжения и умственного утомления (суставная гимнастика, «стретчинг», упражнения на расслабление, дыхательная гимнастика).

3. Специальные упражнения для тренировки мышечного аппарата глаза (упражнения в сочетании с движениями глаз, подвижные игры, эстафеты с использованием передач и бросков мяча, упражнения, нормализующие функции мышечного аппарата глаза – моргание, отведение глаз в различных

направлениях, круговые движения глазами, точечный массаж, «пальминг» и др.).

Средства образовательно-оздоровительной программы использовались в разных формах организации занятий. В процессе умственной деятельности студентов основными видами активного отдыха являлись кратковременные физические упражнения: физкультурминутки, позо-тонические упражнения, релаксационные и динамические упражнения.

Для повышения двигательной активности студентам предлагались формы занятий во внеучебное время: активный час занятий физическими упражнениями, спортивно-оздоровительные мероприятия, самостоятельные занятия в форме утренней гимнастики, прогулки на свежем воздухе, оздоровительно-коррекционные мероприятия при выполнении домашних заданий, оздоровительные мероприятия выходного дня.

С целью повышения эффективности образовательного процесса по физической культуре разработаны учебное пособие, методические рекомендации, диагностическая программа, где классифицированы и систематизированы здоровьесберегающие мероприятия и даны инструкции по их применению. Цель данных разработок – научить преподавателей и студентов пользоваться специальными тестами и упражнениями при проведении организованных и самостоятельных занятий.

Для выявления результатов педагогического воздействия на психофизическое и функциональное состояние испытуемых проведены исследования некоторых параметров студенток с близорукостью. Эффект воздействия определялся по ответной реакции на предлагаемые тесты. Полученные результаты сравнивались с данными контрольной группы студенток, которые продолжали заниматься по общепринятой программе.

В результате внедрения экспериментальной программы под воздействием комплекса мероприятий произошло увеличение двигательной активности

Таблица 2

## Изменение двигательной активности студенток

Группа	Сентябрь	Ноябрь	Декабрь	Март	Май
	$M \pm m$	$M \pm m$	$M \pm m$	$M \pm m$	$M \pm m$
Экспериментальная	19093 $\pm$ 498	13655 $\pm$ 320	11646 $\pm$ 314	12969 $\pm$ 288	11020 $\pm$ 301
Контрольная	15270 $\pm$ 398	10400 $\pm$ 309	7082 $\pm$ 232	12320 $\pm$ 100	7840 $\pm$ 341

Примечание: двигательная активность определялась количеством шагов в сутки с помощью шагомера.

студентов почти на 30 %, в сессионный период – на 50 % (таблица 2).

Повышение двигательной активности положительно отразилось на физическом состоянии студентов. В конце учебного года в экспериментальной группе силовые характеристики увеличились на 30 % ( $p < 0,05$ ), общая выносливость – на 26 % ( $p < 0,05$ ), МПК – на 18 % ( $p < 0,02$ ), а работоспособность – 22 % ( $p < 0,05$ ) (таблица 3).

Снижение ЧСС и повышение работоспособности указывают на повышение адаптационных возможностей занимающихся. Следовательно, укрепляя здоровье, за счет улучшения двигательных функций и оптимизации рабочего дня улучшается общее функциональное состояние организма.

Знания и умения, приобретенные на теоретических и методических занятиях, способствовали правильной организации рабочего дня, рациональное применение комплекса оздоровительно-релаксационных мероприятий позволило оптимизировать психическое и функциональное состояние. В экспериментальной группе показатели реактивной и личностной тревожности составили  $35,08 \pm 2,12$  (б) и  $35,84 \pm 2,10$  (б) соответственно, что соответствует зоне умеренной тревожности, в контрольной же группе данные показатели более высокие: реактивная тревожность  $45,28 \pm 2,44$  (б) и личностная тревожность  $42,28 \pm 1,98$  (б). Снижение показателей уровня личностной тревожности у студенток экспериментальной группы

Таблица 3

## Сравнение двигательной подготовленности и функциональных показателей студенток в начале/конце учебного года

Контрольное испытание	Среднее значение показателя ( $M \pm m$ )	
	контрольная группа	экспериментальная группа
Бег 30 м, с	$\frac{6,3 \pm 0,13}{6,1 \pm 0,12} p > 0,05$	$\frac{6,4 \pm 0,14}{5,9 \pm 0,12} p < 0,05$
Бег 2000 м, мин	$\frac{12,10 \pm 1,103}{11,24 \pm 1,206} p > 0,05$	$\frac{12,21 \pm 1,012}{9,30 \pm 0,094} p < 0,05$
Поднимание туловища из исходного положения лежа на спине за 30 с (кол-во раз)	$\frac{15,2 \pm 0,92}{17,8 \pm 1,12} p < 0,05$	$\frac{15,6 \pm 1,06}{20,1 \pm 1,10} p < 0,02$
МПК	$\frac{35,2 \pm 2,42}{38,6 \pm 2,16} p > 0,05$	$\frac{36,6 \pm 2,75}{43,4 \pm 1,32} p < 0,02$
PWC <sub>170</sub>	$\frac{638 \pm 39,5}{694 \pm 42,8} p > 0,05$	$\frac{623 \pm 31,9}{783 \pm 38,5} p < 0,05$

Примечание: в числителе и знаменателе даны значения двигательной подготовленности и функциональных показателей в начале и в конце учебного года соответственно.

указывает на повышение их психоэмоциональной устойчивости.

Исследования остроты зрения в начале и в конце педагогического эксперимента показали, что своевременное применение специальных упражнений позволило сохранить зрение у студентов экспериментальной группы, а в контрольной группе данные показатели ухудшились.

Полученные данные в ходе экспериментального исследования подтвердили эффективность разработанной образовательно-оздоровительной программы.

Здоровьесберегающие мероприятия с учетом их классификации и систематизации способствовали оптимизации рабочего дня студента. Использование релаксационных и специальных упражнений показало наличие положительного эффекта при переключении с одного вида деятельности на другой, что позволило сохранить состояние психических и зрительных функций в рамках оптимальной рабочей зоны, а это положительно отразилось на здоровье, физической и умственной работоспособности студентов. ■

### Литература

1. Марчук С.А. Образовательно-оздоровительные технологии в психофизической подготовке студентов инженерных специальностей // Инновационный транспорт. № 3 (9). 2013. – С. 38–43. ISSN 2311-164X.
2. Марчук С.А., Пепеляев Ю.В. Здоровье как условие эффективной профессиональной деятельности будущего специалиста // Проблемы качества физкультурно-оздоровительной и здоровьесберегающей деятельности образовательных учреждений : сб. статей 3-й Междунар. научн.-практ. конф. Екатеринбург : ФГАОУ ВПО «Рос. гос. проф.-пед. ун-т». 2013. – С. 161–163.
3. Марчук С.А. Модель системы информационной поддержки психофизической готовности студентов к профессиональной деятельности // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1. URL: <http://www.science-education.ru/121-19201> (дата обращения: 20.05.2015).
4. Марчук С.А., Марчук В.А. Экзаменационный стресс как один из факторов развития близорукости у студенческой молодежи // Теория и практика физической культуры. № 5. 2006. – С. 59–60. ISSN 0040-3601.

### References

1. Marchuk S.A. Obrazovatelno-ozdorovitelnye tekhnologii v psikhofizicheskoy podgotovke studentov inzhenernykh spetsialnostey [Educational and health-improving techniques in psycho-physical training for engineering students] // Innovatsionny transport. № 3 (9). 2013. – S. 38–43. ISSN 2311-164X.
2. Marchuk S.A., Pepelyaev Yu.V. Zdorovye kak usloviye effektivnoy professionalnoy deyatel'nosti budushchego spetsialista [Health as condition for effective professional activity of the future specialist] // Problemy kachestva fizkulturno-ozdorovitelnoy i zdorovyeberegayushchey deyatel'nosti obrazovatelnykh uchrezhdeniy: sb. statey 3-y Mezhdunar. nauchn.-prakt. konf. Ekaterinburg : FGAOU VPO «Ros. gos. prof.-ped. un-t». 2013. – S. 161–163.
3. Marchuk S.A. Model sistemy informatsionnoy podderzhki psikhofizicheskoy gotovnosti studentov k professionalnoy deyatel'nosti [Model of the system of informational support for psycho-physical readiness of students for their professional activity] // Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. 2015. № 1. URL: <http://www.science-education.ru/121-19201> (date of reference: 20.05.2015).
4. Marchuk S.A., Marchuk V.A. Ekzamenatsionny stress kak odin iz faktorov razvitiya blizorukosti u studencheskoy molodezhi [Examination stress as a factor for development of myopia among young students] // Teoriya i praktika fizicheskoy kultury. № 5. 2006. – S. 59–60. ISSN 0040-3601.

*Статья сдана в редакцию 16 марта 2016 года*

УДК 316

*О. Н. Шестопалова, Т. В. Окунева*

## Роль университета в образовательных и профессиональных траекториях современной молодежи

UDC 316

*O. N. Shestopalova, T. V. Okuneva*

## University's role in educational and professional pathways for modern youth

### Аннотация

В статье раскрываются вопросы, затрагивающие планирование образовательных и профессиональных траекторий современной молодежи и роль университета в их реализации, с учетом сложившейся демографической и социально-экономической ситуации в России. Анализируя результаты социологического исследования, проведенного среди студентов Уральского государственного университета путей сообщения, а также их сопоставление с данными других исследовательских проектов, авторы подчеркивают противоречивость формирующейся ситуации на рынке образовательных услуг. Отмечают, что в условиях дефицита потребителей возрастает конкуренция среди вузов, востребованности выпущенных специалистов на рынке труда, но в то же время сами образовательные учреждения попадают в ситуацию нехватки преподавательских и научных

кадров. Такое положение, по мнению авторов, осложняется еще и тем, что на этапе выбора образовательной и профессиональной траектории молодым людям очень сложно учитывать требования будущего работодателя. Анализ мотивов выбора учебного заведения и ценностных ориентаций студентов демонстрирует, что планирование образовательной траектории происходит под воздействием ближайшего социального окружения молодежи и подразумевает выбор такого направления подготовки, которое позволит гарантировать в будущем эффективное трудоустройство и стабильный доход. В отношении профессиональных траекторий авторы приходят к выводу, что студенты выбирают специальность с перспективой дальнейшего карьерного роста, либо совмещения профессиональной и научной деятельности. Показано отношение студентов к приобретаемой специальности, желание

получить качественные профессиональные знания в выбранной профессии. В целом полученные данные говорят о возрастании роли профессии, любимого дела в жизни молодежи, с одной стороны, и с другой, о сохраняющейся высокой значимости высшего образования и тех возможностей, которые оно может дать. Доказано, что система высшего образования должна быть соотнесена с требованиями внешней и внутренней среды: учитывать потребности абитуриентов в получении образования и гибко реагировать на изменения рынка, а также реализовать возможности самообеспечения научно-педагогическими кадрами из числа студентов.

**Ключевые слова:** специальность, престиж профессии, трудоустройство, мотивы выбора специальности, высшее образование, оценка деятельности университета.

DOI:10.20291/2079-0392-2016-2-100-107

**Ольга Николаевна Шестопалова**, канд. социол. наук, доцент; кафедра «Управление персоналом и социология» Уральского государственного университета путей сообщения; Екатеринбург, Россия. E-mail: oshestopalova@usurt.ru.

**Татьяна Владимировна Окунева**, ст. преподаватель; кафедра «Управление персоналом и социология» Уральского государственного университета путей сообщения; Екатеринбург, Россия. E-mail: tokuneva@usurt.ru.

**Olga Nikolayevna Shestopalova**, PhD in Sociology, Associate Professor; HR Management and Sociology Department, Ural State University of Railway Transport; Ekaterinburg, Russia. E-mail: oshestopalova@usurt.ru.

**Tatiana Vladimirovna Okuneva**, Senior Lecturer; HR Management and Sociology Department, Ural State University of Railway Transport; Ekaterinburg, Russia. E-mail: tokuneva@usurt.ru.

### Summary

The article devises issues concerning the planning of educational and professional pathways for modern youth and university's role in the implementation of the above in view of the current demographic and social and economic situation in Russia. As they analyse the results of social research conducted among the students of Ural State University of Railway Transport and compare these with the data from other research projects, the authors hereof specify contradictory character of the currently developing situation in the educational services market. They note that in the situation of consumer deficit competition among universities, demand for graduate specialists in the labor market has increased, but at the same time, educational institutions themselves «fall» in a situation of shortage of teaching and research

staff. This situation, according to the authors, is also complicated by the fact, that at the stage when young people are choosing their educational and professional pathway, it is hard for them to account for the future employer's requirements. Analysis of the motives to choose an educational institution and values of students shows that planning of an educational pathway is influenced by the immediate social environment of young people and involves selection of an area of training, which will ensure effective employment and stable income in the future. Concerning professional pathways authors come to a conclusion that students choose a speciality with the prospect of further career growth, or a combination of professional and scientific work. They show students' attitude towards their acquired speciality, their desire to get high-quality professional knowledge in their

chosen profession. Considered all, the analysis results refer to an increase in the role of a profession, a career in the lives of young people, on the one hand, and on the other – the continuing high significance of higher education and the opportunities it can give. It has been proven that the system of higher education shall be related to the requirements of the external and internal environment: account for the students' need in education and to respond flexibly to market changes, as well as to manage the potential of self-sufficiency of scientific and pedagogical staff from among the students.

**Keywords:** speciality, occupational prestige, employment, motive for choosing a speciality, higher education, assessment of university activities.

DOI:10.20291/2079-0392-2016-2-100-107

В жизни человека очень много значит не только образование, но и учебное заведение, в котором удовлетворяются его образовательные потребности. Это особенно важно для понимания того, какую роль играет университет при планировании молодежью профессиональных и образовательных траекторий.

Термины «образовательная траектория», «профессиональная траектория» – это характеристики той части жизненного пути личности, которая связана с обучением, трудовой и профессиональной деятельностью, и максимально отражают существующие практики поведения молодых людей. Эти характеристики подразумевают не отдельно взятый этап из жизни человека, а последовательный процесс удовлетворения личностных потребностей в развитии и самореализации.

Выбор образовательной траектории связан с трудностями профессионально-

го самоопределения: это и выбор формы и направления послешкольного образования и конкретного места работы [1]. Профессиональная траектория определяет реализацию полученных знаний в конкретной деятельности, выбор профессии, рабочего места под воздействием внешних и внутренних факторов. Процессы эти, безусловно, тесно взаимосвязаны и не оканчиваются только получением определенного образовательного уровня или занятия должности, но охватывают более длительный период.

Университетское образование и место университета в профессиональных и образовательных траекториях молодежи может рассматриваться с двух позиций. Во-первых, востребованность выпускников университета на рынке труда, что определяется качеством подготовки, наличием специальностей, востребованных работодателями, а также конкурентоспособностью молодых специалистов. Во-вторых, университет сам



нуждается в восполнении профессорско-преподавательского состава, то есть выступает как работодатель и служит площадкой для реализации научного потенциала региона. Поэтому система высшего образования должна быть не только ориентирована на формирование и воспроизводство интеллектуально-культурного потенциала общества, но и соотнесена с требованиями потребителя и его ожиданиями [2].

Однако сегодня специфику положения университета определяет прежде всего демографическая ситуация. Спад рождаемости, которым характеризовался конец 1990-х, привел к снижению количества выпускников общеобразовательных школ, а значит, и потенциальных студентов высших учебных заведений. И в ближайшие шесть-семь лет тенденция сокращения спроса на образовательные услуги будет сохраняться [3]. В условиях дефицита потребителей возрастет конкуренция среди вузов по качеству образовательной услуги, востребованности специальностей на рынке труда, но сами вузы также могут оказаться в условиях дефицита преподавательских кадров. На этапе выбора образовательной и профессиональной траектории очень сложно учитывать требования будущего работодателя. Связано это со значительным сроком обучения и невозможностью прогноза потребностей работодателей, а также рыночной конъюнктуры на момент окончания университета. Абитуриенты же планируют свои профессиональные траектории именно на этапе поступления в университет, ориентируясь на текущую рыночную ситуацию и особенности социально-экономического развития (исходя из опыта родителей). Значит, и вузам необходимо учитывать потребности абитуриентов в получении образования и гибко реагировать на изменения рынка, подстраивая содержание учебных дисциплин под меняющуюся рыночную ситуацию.

И здесь важно понимать мотивы поступления в высшие учебные заведения и специфику образовательных

траекторий, характерных для современной молодежи. Исследователи выделяют как минимум три из них, имеющие отношение к высшему образованию: для легитимации уже занимаемой позиции в организации, карьерного роста, для развития и приумножения своего интеллектуального и культурного капитала [4]. Если первая траектория, как правило, исключает потребности в очном высшем образовании, то для второй и, в особенности, третьей характерно то, что знания определяют возможность практического использования и реализации научной деятельности.

Для сохранения положения на рынке образовательных услуг университет должен ориентироваться прежде всего на то, востребованы ли специальности, по которым обучаются студенты, для складывающейся экономической ситуации, отвечают ли выпускники требованиям работодателей и гарантируют ли они трудоустройство. При анализе результатов деятельности университета необходимо учитывать профессиональные траектории молодых людей и место в них научной деятельности, т.е. возможность самообеспечения научно-педагогическими кадрами.

Для понимания роли университета в образовательных и профессиональных траекториях современной молодежи мы провели социологическое исследование. Опрошено 650 студентов университета; отбор проводился на основе квотной выборки, что сохранило репрезентативное представительство всех факультетов. Распределение по гендерному признаку выглядит следующим образом: доля девушек составляет 51 %, юношей – 49 %. Возраст опрошенных – от 17 до 23 лет.

Анализ показал, что максимальное влияние на принятие решения о поступлении в университет оказали такие факторы, как получение перспективной специальности (70,5 %), желание получить высшее образование (69,5 %), престиж вуза (44,2 %), интерес, склонность к специальности (37,9 %). На выбор вуза меньше влияет мнение родителей,





Рис. 1. Факторы, определяющие выбор учебного заведения (% к числу ответивших)

наличие знаний по профильным предметам, возможность «поступить на бюджет» (рис. 1). Доминирует у всех респондентов возможность плавного продвижения по карьерной лестнице и получения стабильного дохода.

То, что студент хочет стать материально независимым, подтверждают данные нашего исследования: студенты 1 курса (42,9 %), 3 курса (46,3 %), 4 курса (52,6 %), 5 курса (32,4 %) считают своим идеалом богатого, материально независимого человека. Желание разбогатеть и вера в то, что это достижимо, тесно связаны. Так, по данным всероссийских исследований допускают для себя вероятность разбогатеть 66 % молодых россиян [5]. Ответы на вопрос – какие личностные качества либо внеш-

ние обстоятельства позволяют людям достичь материального благополучия? – дают возможность реконструировать образ богатого человека: целеустремленный, много работает, обладающий неплохим умом, интеллектом и умеющий рассчитывать свое время и жизнь, или богатыми могут быть только богатые [6]. Эти представления во многом основаны на укоренившихся в сознании и поведении молодежи стереотипов автономности, самостоятельности, личной ответственности за свои успехи и неудачи [7].

Для уточнения представлений студентов о жизненном успехе и достижении своего идеала нами был задан вопрос: «С чем у вас ассоциируется успех?» (рис. 2).

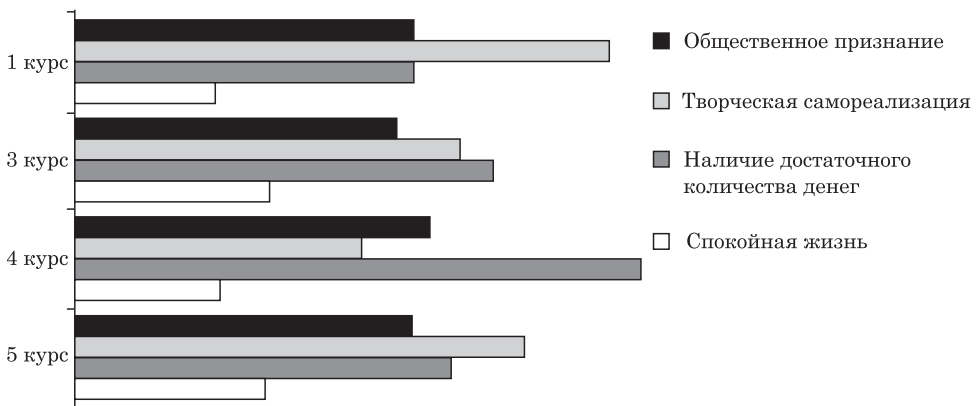


Рис. 2. Ассоциации студентов с категорией «успех»

Как видим, составляющие успеха для студентов 1 и 5 курсов – «творческая самореализация» (39,7 и 33,3 % соответственно), а для студентов 3 и 4 курса – «наличие достаточного количества денег» (31 и 42,1 %). При этом творческую самореализацию следует рассматривать как выявление и реализацию способностей, возможностей молодых людей в интересующей практической деятельности, выражение собственной индивидуальности (значимой и нужной для себя и для других).

Высокий уровень значимости в системе карьерных и жизненных ориентаций молодежи в целом имеют такие ценности, как «профессиональные достижения» и «желание делать то, к чему лежит душа». Сравнение результатов исследований прошлых лет среди студентов УрГУПС показало, что их значение существенно возросло. Так, в 2011 г. 15,1 % студентов 1 курса отмечали ценность профессионального достижения и 30 % из них стремились делать то, к чему лежит душа, в 2013 г. – 18 и 37,3 % соответственно, а в 2015 г. – 29,9 и 44,2 %.

Оценки будущей специальности по уровню будущего дохода и возможностей карьерного роста также довольно оптимистичные (таблица).

Чем выше уровень карьерных ожиданий, тем на больший уровень дохода рассчитывают студенты, что в целом

объясняет высокие оценки перспектив выбранной специальности и желание связать с нею свою будущую профессиональную деятельность. Во многом это предопределило выбор молодежи учебного заведения и специальности; более половины опрошенных связывает будущие профессиональные успехи и достижения с возможностями приобретаемой профессии, ее востребованностью на рынке труда (89,6 % студентов 1 курса, 84,2 % – 4-го, 91,7 % – 5-го) и желанием получить глубокие профессиональные знания в выбранной области (83,1 % студентов 1 курса, 66,7 % – 3-го, 83,4 % – 5-го). Эти данные позволяют нам говорить о возрастании роли профессии, любимого дела в жизни молодежи, с одной стороны, с другой, о сохраняющейся высокой значимости высшего образования и тех возможностей, которые оно может дать.

Несмотря на то, что «школьники и студенты получают представление о важности отдельных профессий от родителей, сверстников, средств массовой информации, а не от людей, которые в современной экономической ситуации в стране определяют ценность знаний и умений специалиста <...>, и современный бизнес пока не стал ведущим субъектом выработки ориентаций подрастающего поколения на будущую трудовую деятельность» [8], более 70 %

Зависимость оценки перспектив получаемой специальности по параметрам будущего дохода и возможностей карьерного роста (% к числу ответивших)

Оценка возможности продвижения по карьерной лестнице	Быстрое продвижение	Средний уровень продвижения	Продвижение маловероятно	Трудно сказать	Итого
Оценка уровня будущего дохода					
Высокооплачиваемая профессия	59,5	21,4	7,1	11,9	100,0
Средний доход – достойное существование	20,0	62,5	5,0	12,5	100,0
Удовлетворение базовых потребностей	0,0	100,0	0,0	0,0	100,0
Трудно сказать	30,0	10,0	20,0	40,0	100,0

опрошенных студентов считают, что работа по специальности будет интересной, обеспечит им стабильный доход, даст чувство уверенности в завтрашнем дне. Около 30 % отметили, что не имеют четкого представления о работе по получаемой специальности, несмотря на высокие показатели удовлетворенности ею. Осведомленность о работе по получаемой специальности у студентов факультета экономики и управления выше, чем у студентов технических специальностей. По нашему мнению, это связано с тем, что студенты-технари имеют ограниченные возможности совмещать учебу и работу по той специальности, которой они обучаются в вузе, или не имеют ее вовсе.

Однако интерес к получаемой специальности у части студентов к пятому курсу постепенно снижается (с 47,4 % у первокурсников до 36,1 % у пятикурсников). Это объясняется тем, что молодые люди с каждым годом, знакомясь с новыми особенностями и нюансами выбранной профессии, получают возможность лучше оценить свои склонности и способности, перспективу реализации профессионального потенциала в избранной ими сфере.

Но хочется подчеркнуть, что студенты технических специальностей старших курсов удовлетворены своей будущей профессией больше, чем выпускники факультета экономики и управления. После окончания вуза большинство из них собирается устроиться на работу по специальности.

По этому показателю студенты УрГУПС выглядят наиболее реалистично в сравнении со старшекурсниками и абитуриентами Екатеринбурга. Так, по данным исследований, для 31 % характерно разочарование в выбранной специальности [1], а среди студентов университета путей сообщения 5 курса таких не более 12 %, 3 курса – не более 8 %, среди первокурсников – не более 5 %.

Кроме того, в процессе исследования выявлено, что большинство студентов желает продолжить обучение

в магистратуре/аспирантуре (34,7 %), а также получить второе высшее образование (24,2 %). Среди старшекурсников 11 % опрошенных готовы связать свою профессиональную деятельность с наукой и образованием

Исследование также показало, что большинство опрошенных удовлетворены уровнем и качеством преподаваемых дисциплин, возможностями реализации научно-исследовательской деятельности в университете. Количество студентов, довольных этим показателем, к окончанию обучения только увеличивается (с 87,5 % на первом курсе до 89,5 % у пятикурсников). Существенно снижается число тех, кто затруднился с ответом на этот вопрос (с 16,7 % у студентов 1 курса до 5,6 % – у студентов 5 курса).

Студенты университета реализуют образовательные траектории, которые связаны с тем, чтобы получить такую специальность, которая гарантирует им не просто трудоустройство, а позволит сделать успешную карьеру, а также в последующем совместить профессиональную и научную деятельность. Причем выпускники ориентируются именно на получение такой специальности либо образовательного уровня, которые гарантируют им трудоустройство и повысят конкурентоспособность на рынке труда, а совмещение профессиональной и научной карьеры позволит самому университету восполнить потребность в научно-педагогических кадрах.

Данные, полученные в ходе нашего исследования, подтверждаются результатами ежегодного распределения студентов. С 2012 г. в университете ежегодно становились выпускниками более 700 чел. Из них уже к окончанию обучения распределено более 90 %. Этот показатель снизился в 2015 г. из-за роста в этом же году числа выпускников вообще и выпускников экономических специальностей, которые организовывали свое трудоустройство самостоятельно. Но и в 2015 г. трудоустройство было гарантировано 63,7 % выпускников университета. Специфика вуза определяет основного работодателя

выпускников: предприятия железнодорожного транспорта и транспортной отрасли Уральского региона, на которые трудоустраивается ежегодно более 60 % всех выпускников. Исключение составил лишь 2015 г., когда на предприятия транспортной отрасли распределено немногим менее 50 % всех выпускников университета. Сравнительный анализ профессиональных планов выпускников других вузов позволяет сделать вывод, что сегодня существует тенденция депрофессионализации, смены профессии или работы не по специальности [10], что не характерно для выпускников УрГУПС.

В целом профессиональные траектории студентов университета и других технических вузов региона совпадают, что подтверждается результатами исследований уральских социологов, и реализуются в двух жизненных сценариях. Первый связан с возможностью получения солидного универсального базового образования, второй подразумевает получение технической

специальности с целью успешной инженерной карьеры в сфере высокотехнологического промышленного производства [9].

Таким образом, прогнозируемое существенное сокращение спроса на образовательные услуги со стороны молодежи в ближайшие несколько лет, с одной стороны, усилит межвузовскую конкуренцию, определит потребность в расширении спектра образовательных услуг, их качества. С другой стороны, УрГУПС, осуществляющий подготовку специалистов, работающих главным образом на предприятиях железнодорожного транспорта, имеет конкурентное преимущество, так как способен гарантировать последующую занятость для большинства своих выпускников. Сложность функционирования университета в этот период будет состоять в том, чтобы обеспечить свою деятельность научно-педагогическими кадрами, их своевременным пополнением и развитием. ■

### Литература

1. Онишко А. А. Образовательные потребности и траектории современной молодежи // Дискуссия. 2013. № 2 (32). С. 64–67. ISSN 2077-7639.
2. Сухова О. В., Шестопалова О. Н. Реализация качества образовательной услуги в рамках внедрения эффективного контракта // Дискуссия. 2015. № 6 (58). С. 65–73. ISSN 2077-7639.
3. Череди́нченко Г. А. Образовательные траектории и профессиональные карьеры (на материалах социологических исследований молодежи). – М. : ИС РАН, 2012. 332 с. ISBN 978-5-89697-217-4.
4. Константиновский Д. Л., Вознесенская Е. Д., Череди́нченко Г. А., Хохлушкина Ф. А. Образование и жизненные траектории молодежи: 1998–2008 гг. – М. : ЦСПиМ, 2011. – 296 с. ISBN 978-5-89697-191-7.
5. Богатство и богатые. Портит ли человека богатство? Портит ли бедность? Сколько россиян хотят разбогатеть? [Электронный ресурс]. URL : <http://fom.ru/TSennosti/12055> (дата обращения: 15.01.2016).
6. Кертман Г. Отношение к богатству в России: очевидности и парадоксы [Электронный ресурс]. URL : <http://fom.ru/blogs/12057> (дата обращения: 15.01.2016).
7. Шестопалова О. Н. Стереотипы трудового поведения молодых работников: социологический анализ : автореф. дисс. ... на соиск. уч. ст. канд. социол. наук. – Екатеринбург, 2009. – 20 с.
8. Меренков А. В. Особенности и проблемы формирования профессиональных ориентаций учащейся молодежи // Университетское управление: практика и анализ. 2009. № 6. С. 31–37. ISSN 1999-6640.
9. Воспроизводство инженерных кадров: вызовы нового времени / под общ. ред. Л. Н. Банниковой. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2015. – 364 с. ISBN 978-5-7996-0000.
10. Положение молодежи Свердловской области в 2014 году : научные основы доклада правительству Свердловской области : коллективная монография / под общ. ред. проф. Ю. Р. Вишневого. – Екатеринбург : УрФУ, 2015. – 352 с. ISBN 978-5-91128-103-8.

11. Шестопалова О. Н., Печеркина С. М. Современные технологии привлечения и закрепления молодых педагогических кадров // Управление персоналом в инновационной среде : монография / под ред. Н. И. Шаталовой. – Екатеринбург : Изд-во УрГУПС, 2014. С. 214–218. ISBN 978-5-94614-255-5.
12. Абрамова С. Б. Социологический подход к исследованию денег: основания и перспективы // Известия Уральского федерального университета. Сер. 3: Общественные науки. 2009. Т. 70. № 4. С. 133–141. ISSN 2227-2291.

#### References

1. Onipko A. A. Obrazovatelnye potrebnosti i trayektorii sovremennoy molodezhi [Educational Needs and Pathways of Modern Youth] // Diskussiya. 2013. № 2 (32). S. 64–67. ISSN 2077-7639.
2. Sukhova O. V., Shestopalova O. N. Realizatsiya kachestva obrazovatelnoy usluzhi v ramkakh vnedreniya effektivnogo kontrakta [Development of Quality of Educational Services during Implementation of an Effective Contract] // Diskussiya. 2015. № 6 (58). S. 65–73. ISSN 2077-7639.
3. Cherednichenko G. A. Obrazovatelnye traektorii i professionalnye karyery (na materialakh sotsiologicheskikh issledovaniy molodezhi) [Educational Pathways and Professional Careers (based on the materials of sociological youth research)]. – М. : IS RAN, 2012. 332 s. ISBN 978-5-89697-217-4.
4. Konstantinovsky D. L., Voznesenskaya Ye. D., Cherednichenko G. A., Hokhlushkina F. A. Obrazovaniye i zhiznennye trayektorii molodyozhi: 1998–2008 gg. [Educational and Life Pathways of Youth: 1998–2008]. – М. : TsSPiM, 2011. – 296 s. ISBN 978-5-89697-191-7.
5. Bogatstvo i bogatyie. Portit li cheloveka bogatstvo? Portit li bednost? Skolko rossiyan khotyat razbogatat? [Wealth and the Rich. Does wealth spoil a human? Does poverty soil? How many Russians want to grow wealthy?] [Electronic resource]. URL: <http://fom.ru/TSennosti/12055> (date of reference: 15.01.2016).
6. G. Kertman. Otnosheniye k bogatstvu v Rossii: ochevidnosti i paradoksy [Attitude towards wealth in Russia: obviousness and paradoxes] [Electronic resource]. URL: <http://fom.ru/blogs/12057> (date of reference: 15.01.2016).
7. Shestopalova O. N. Stereotipy trudovogo povedeniya molodykh rabotnikov: sotsiologicheskyy analiz [Stereotypes of employer behavior among young workers: sociological analysis] : avtoref. diss. ... na soisk. uch. st. kand. sotsiol. nauk. – Ekaterinburg, 2009. – 20 s.
8. Merenkov A. V. Osobennosti i problemy formirovaniya professionalnykh oriyentatsy uchashcheyshya molodezhi [Specific features and problems of formation of professional orientation for young students] // Universitetskoye upravleniye: praktika i analiz. 2009. № 6. S. 31–37. ISSN 1999-6640.
9. Vospriizvodstvo inzhenernykh kadrov: vyzovy novogo vremeni / pod obshch. red. L. N. Bannikovoy [Reproduction of engineering personnel: challenges of modern times / General editorship by L. N. Bannikova]. – Ekaterinburg : Izd-vo Ural. un-ta, 2015. – 364 s. ISBN 978-5-7996-0000.
10. Polozheniye molodezhi Sverdlovskoy oblasti v 2014 godu: nauchnye osnovy doklada pravitelstvu Sverdlovskoy oblasti: kollektivnaya monografiya / pod obshch. red. prof. Yu. R. Vishnevskogo [Situation for young people of Sverdlovsk Region in 2014: Scientific basis for the report to the Government of the Sverdlovsk Region: multi-author monograph / General editorship by Prof. Yu. R. Vishnevsky] – Ekaterinburg : UrFU, 2015. – 352 s. ISBN 978-5-91128-103-8.
11. Shestopalova O. N., Pecherkina S. M. Sovremennyye tekhnologii privlecheniya i zakrepleniya molodykh pedagogicheskikh kadrov [Modern technologies to attract and retain young teaching staff] // Upravleniye personalom v innovatsionnoy srede: monografiya / pod. red. N. I. Shatalovoy. – Ekaterinburg : Izd-vo UrGUPS, 2014. S. 214–218. ISBN 978-5-94614-255-5.
12. Abramova S. B. Sotsiologicheskyy podkhod k issledovaniyu deneg: osnovaniya i perspektivy [Sociological approach towards the study of money: basis and prospects] // Izvestiya Uralskogo federalnogo universiteta. Ser. 3: Obshchestvennye nauki. 2009. T. 70. № 4. S. 133–141. ISSN 2227-2291.

*Статья сдана в редакцию 29 марта 2016 года*

# Аспирантская тетрадь

УДК 65.012.122

*Т. К. Чернушевич*

## Риски в сетевых организационных структурах

UDC 65.012.122

*T. K. Chernushevich*

## Risks in networked organisational structures

### Аннотация

В работе дана характеристика сетевых организационных структур, их становления и развития. Рассмотрен общий подход определения рисков в сетевых организационных структурах. Приведены результаты анализа определения рисков в подсистемах социально-экономической системы. Рассмотрена математическая интерпретация рисков в технико-технологической, экономической, социальной и организационной подсистемах. Даны авторские определения понятия «риск» для каждой из подсистем.

В статье предложено рассчитывать в отдельности риски интегратора и риски хозяйствующих субъектов и на их основе производить оценку организационной сети.

**Ключевые слова:** сетевые организационные структуры, риски сетевого взаимодействия, системные риски, риски интегратора, риски элементов сети, управление рисками.

DOI:10.20291/2079-0392-2016-2-108-118

### Summary

The study provides characteristics of networked organisational structures, their formation and development. General approach to defining risks in networked organisational structures is described. Results of analysis of risk determination in subsystems of social and economic system are presented. Mathematical interpretation of risks in technical and technological, economic, social and organisational subsystems is examined. Author's definitions of «risk» for each subsystem are provided.

The article suggests performance of separate calculations for integrator risks and risks of commercial entities, and evaluation of organisational network based on such calculations.

**Keywords:** networked organisational structures, risks of network communication, system risks, integrator risks, risks of network elements, risk management.

DOI:10.20291/2079-0392-2016-2-108-118

Таисия Константиновна Чернушевич, аспирант; кафедра «Путь и железнодорожное строительство» Уральского государственного университета путей сообщения; Екатеринбург, Россия. E-mail: tk\_ch@mail.ru.

Taisia Konstantinovna Chernushevich, PhD student; Railway Construction and Railway Track Department, Ural State University of Railway Transport; Ekaterinburg, Russia. E-mail: tk\_ch@mail.ru.



Современные экономические условия выстраивают вектор перехода от традиционных форм управления крупными организациями к сетевому взаимодействию, так как привычный управленческий инструментарий не соответствует новым требованиям работы предприятий в условиях мирового экономического объединения. Это обусловлено тем, что производственно-хозяйственная деятельность субъектов диверсифицируется, и организации вынуждены применять качественно новый подход в управлении. Переход к современным более эффективным методам управления предприятиями связан с сетевым взаимодействием. «Сетизация – это метод стратегического менеджмента, заключающийся в формировании сети с ее узлами и связями для достижения целей соответствия с потребностями и ожиданиями партнеров и деловой конъюнктуры» [1]. Иными словами, речь идет о создании сетевых организационных структур [1–7].

Под сетевой организационной структурой далее будем понимать такую организационно-экономическую форму, которая характеризуется множеством свободно связанных принципиально равных и независимых партнеров, объединенных в сеть интегратором [2–4]. В настоящей работе под интегратором сети будем понимать крупную компанию.

Общепризнано, что основной целью формирования сетевой структуры является синергетический эффект от совместной деятельности хозяйствующих субъектов [10].

Сетевое взаимодействие характеризуется возможностью субъектов, входящих в сеть, работать как внутри организационной структуры, так и на свободном рынке [2–6].

Может показаться, что наконец-то удалось максимально эффективно объединить два абсолютно противоположных принципа деятельности предприятий – конкуренцию и интеграцию. Однако в результате сетевого объединения необходимо решить противоречащие задачи: с одной стороны, определение

степени децентрализации, с другой, обоснование организационно-распорядительного воздействия интегратора на элементы сети и сеть в целом.

Для сетевых организационных структур не существует единой количественной оценки децентрализации и распорядительного воздействия, так как не существует двух одинаковых сетей. К тому же, есть и изменение сетевых структур по времени. Значит, в процессе производственно-хозяйственной деятельности элементов сети эти параметры необходимо постоянно настраивать [5–8].

Крайне важно верно определить параметры децентрализации и организационно-распорядительного воздействия интегратора, потому что нарушение этих пропорций приводит к рискам как в результате деятельности хозяйствующих субъектов сети, так и сети в целом.

Попытаемся разобраться, что означает в сетевой организационной структуре понятие «риск». В настоящей работе мы придерживаемся неоклассической теорией рисков с дополнениями Дж. Кейнса, практическое использование которой приведено в [11–13]. Основные положения неоклассической теории рисков сводятся к следующему. Предприниматели, работающие в условиях неопределенности с прибылью как случайно-переменной величиной, должны руководствоваться двумя положениями: размерами ожидаемой прибыли и величиной ее возможных колебаний в ту или иную сторону (отклонений от ожидаемой величины).

Поведение предпринимателя в таких условиях определяется предельной полезностью, то есть он должен выбрать тот вариант инвестирования средств, в котором колебания прибыли будут наименьшими. Из неоклассической теории риска следует, что верно определенная прибыль всегда будет иметь большую полезность, чем прибыль ожидаемого размера, связанная с возможными колебаниями [11].

Дж. М. Кейнс считал, что недооцененность часто встречающейся в практике предпринимателей склонности



к азарту приводит к большим потерям, объясняя это тем, что ради большей прибыли управленец, как правило, идет на больший риск [11]. Это и стало основным дополнением Дж. М. Кейнса в неоклассическую теорию рисков.

В социально-экономических системах понятие «риск» многомерно и неоднозначно, существует множество его определений и классификаций.

Мы склонны к следующему определению: риск – это вероятность наступления неблагоприятного события, в результате приводящего к различного рода издержкам.

Для анализа понятия «риск» и его математической формализации условно разделим социально-экономическую систему на четыре подсистемы, или системы более низкого уровня: экономическую, технико-технологическую, социальную и организационную (управленческую). Рассмотрим основные модели определения рисков в этих подсистемах.

#### **Риски экономической системы**

Риск экономической системы (финансовый риск) – это вероятность возникновения неблагоприятных финансовых последствий: потеря в результате деятельности предприятия дохода, капитала. Финансовый риск появился одновременно с возникновением денежного обращения и с популярностью различного рода денежных отношений: инвестор – эмитент, кредитор – заёмщик, продавец – покупатель, экспортёр – импортёр. Финансовый риск является неотъемлемой составляющей экономической деятельности в условиях рынка. Адам Смит, исследуя и анализируя прибыль, выделял в структуре предпринимательского дохода такую составляющую, как плата за риск в виде возмещения возможного убытка, связанного с экономической деятельностью организаций [5–7].

Стремление каждого предпринимателя – предвидеть риски, а лучше – управлять ими. Но для того чтобы управлять рисками, необходимо их количественно измерять и оценивать.

Далее рассмотрим основные методы и модели оценки финансового риска.

*Модель оценки долгосрочных активов (САРМ).* Эта модель помогает определить справедливую доходность актива, основываясь на его риске. Смысл этой модели заключается в тесной взаимосвязи между нормой доходности с риском финансового инструмента, и описывается следующим образом [12,14]:

$$E(R_i) = R_f + \beta_i \cdot (E(R_m) - R_f), \quad (1)$$

где  $E(R_i)$  – ожидаемая ставка доходности на долгосрочный актив;  $R_f$  – безрисковая ставка доходности;  $\beta_i$  – коэффициент чувствительности актива к изменениям рыночной доходности  $R_m$ , выраженный как ковариация доходности актива  $R_i$  с доходностью всего рынка  $R_m$  по отношению к дисперсии доходности всего рынка  $\sigma^2(R_m)$ ;  $E(R_m)$  – ожидаемая доходность рыночного портфеля;  $E(R_m) - R_f$  – премия за риск, равна разнице ставок рыночной и безрисковой доходности;  $\beta$  – коэффициент, является мерой рыночного риска актива, показывая изменчивость доходности актива к доходности на рынке в среднем.

Так как финансы любого предприятия являются открытой системой, то при планировании капиталовложений необходимо учитывать конъюнктуру финансового рынка. Теория САРМ как раз и позволяет прогнозировать издержки инвестиционных проектов.

*Оценка кредитного риска предприятий.* Составляющим финансового риска предприятия служит кредитный риск, который связан с возможностью предприятия вовремя и в полном объеме расплатиться по своим обязательствам (такое свойство предприятия еще называют кредитоспособностью). Крайняя стадия потери кредитоспособности называется риском банкротства, когда предприятие не может погасить свои обязательства полностью. К методам оценки кредитного риска относят модели диагностики риска (Э. Альтмана, Р. Таффлера, Р. Лиса). Модели схожи между собой, отличаются, как правило, только коэффициентами-константами у неизвестных.

Разберем более подробно модель оценки кредитного риска Р. Лиса [13]:

$$Z_{lis} = 0,063 \times k_1 + 0,092 \times k_2 + 0,057 \times k_3 + 0,0014 \times k_4 + \quad (2)$$

где  $k_1$  – отношение оборотного капитала к сумме активов;  $k_2$  – отношение прибыли от реализации к сумме активов;  $k_3$  – отношение нераспределенной прибыли к сумме активов;  $k_4$  – отношение собственного и заемного капиталов.

Для того чтобы определить уровень кредитного риска, необходимо рассчитанный критерий Р. Лиса сопоставить с некоторым заданным уровнем риска:  $> 0,037$  – низкий уровень риска;  $< 0,37$  – высокий уровень риска.

*Определение риска по методологии VaR (Value at Risk).* Value at Risk (VaR) – мера риска, выраженная в денежных единицах, которую с заданной вероятностью не превысят ожидаемые в течение данного периода времени потери [11–14]. Для расчета меры риска VaR на практике используют несколько подходов: историческое моделирование; построение параметрической модели; статистическое (имитационное) моделирование с применением метода Монте-Карло.

Основная идея метода исторического моделирования заключается в том, что историческое распределение прибыльности останется неизменным в течение следующего периода. Поэтому при оценке VaR используется эмпирическое распределение прибыльности. Этот метод не требует предположения о нормальном распределении и серийной независимости наблюдений. Согласно этому подходу, форма используемого распределения определяется на основе эмпирических данных [11].

Параметрический метод расчета VaR подразумевает аналитическое получение оценки риска на основе статистической модели финансового результата по операции. Пусть имеется  $n$  активов, стоимость которых  $V_i$  может изменяться случайным образом [11]. Темпы возможного прироста стоимости акти-

вов обозначим  $r_i$  и назовем их доходностями. Вектор доходностей (случайных величин) этих активов  $r = (r_1, r_2, \dots, r_n)$  и  $\Sigma = [\sigma_{ij}]$  – ковариационная матрица (матрица ковариаций  $\sigma_{ij}$ ) доходностей. Все доходности вычисляются для выбранного периода  $T$  [11].

Портфель активов характеризуется вектором структуры  $d = (d_1, d_2, \dots, d_n)$ ,

где  $d_i = \frac{V_i}{\sum_{j=1}^n V_j}$  – доля стоимости  $i$ -го актива в портфеле. Тогда доходность портфеля выразится через доходности активов следующим образом:  $r_p = d^T \cdot r = \sum_{i=1}^n d_i \cdot r_i$ ,

а ожидаемая (математическое ожидание) доходность портфеля будет посчитана через ожидаемые доходности активов:  $\mu_p = \sum_{i=1}^n d_i \cdot \mu_i$ ; дисперсия портфеля

будет равна  $\sigma_p^2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sigma_{ij} \cdot d_i \cdot d_j$  [6].

Если предполагается нормальное распределение доходностей, то, следовательно, величина VaR оценивается как [11]:

$$\text{VaR} = -V_p \cdot (\mu_p - v_\alpha \cdot \sigma_p), \quad (3)$$

где  $v_\alpha$  – односторонняя  $\alpha$ -квантиль стандартного нормального распределения;  $V_p$  – расчетная стоимость финансового инструмента или портфеля.

Знак «минус» перед формулой необходим для положительности полученного значения. Чаще всего ожидаемую доходность портфеля принимают равной нулю. Поэтому

$$\text{VaR} = V_p \cdot \sigma_p \cdot v_\alpha. \quad (4)$$

Таким образом, для использования данного метода необходимо знать матрицу ковариаций. Эта матрица может быть получена как на основе исторических данных, так и на основе прогнозов.

Метод Монте-Карло – общее название группы численных методов, основанных на получении большого числа реализаций стохастического (случайного) процесса, который формируется

таким образом, чтобы его вероятностные характеристики совпадали с аналогичными величинами решаемой задачи [12–17].

Идея этого метода чрезвычайно проста и состоит в следующем. Вместо того чтобы описывать случайный процесс с помощью аналитического аппарата, производится «розыгрыш» случайного явления с помощью последовательных операций, дающих случайный результат. Конкретное осуществление случайного процесса складывается каждый раз по-иному, поэтому в результате статистического моделирования (розыгрыша) возникает каждый раз новая, отличная от других искусственная реализация этого процесса. При числе повторений  $N \geq 100$  метод дает статистически устойчивое сходство результата. При этом на основании перечисленных исходных данных формируется массив случайных значений величин.

Возможность моделирования случайных событий, величин и процессов может быть использована для моделирования реальных ситуаций и явлений, в том числе связанных с опасностями (рисками). Получение нескольких реализаций случайного события или случайной величины вряд ли будет целесообразным, но анализ большого числа реализаций или наблюдений позволяет делать оценки их средних характеристик. Такой подход положен в основу метода Монте-Карло, в котором используются различные предельные соотношения теории вероятностей – законы больших чисел и предельные теоремы.

Обширность методологии VaR позволяет применить ее при оценке рисков финансовой деятельности предприятий и получить результаты, не противоречащие здравому смыслу. Организации, которые проходят через процесс вычисления VaR, вынуждены встать перед фактом математического моделирования производственной деятельности с целью вычисления и количественной оценки рисков для их эффективного управления.

### Риски в технико-технологических подсистемах

Риск в технических системах – комплексный показатель надежности и безопасности элементов техносферы. Он выражает вероятность аварии или катастрофы при эксплуатации машин, механизмов, реализации технологических процессов, строительстве и эксплуатации зданий и сооружений [8].

Рассматривая отказ как случайное событие, удобной мерой надежности технических объектов следует признать вероятность безотказной работы системы (а мерой безопасности – вероятность безаварийной работы). Показатель вероятности безотказной работы говорит, что в пределах заданной наработки отказ объекта не возникает.

Вероятность безотказной работы определяется в предположении, что в начальный момент (начало исчисления наработки) объект находился в работоспособном состоянии.

Обозначим через  $t$  наработку объекта. Тогда вероятность безотказной работы объекта [18–20]:

$$P(t) = P\{\tau > t\}, \quad (5)$$

где  $\tau$  – наработка на отрезке  $[0, t]$ , на котором наступило событие отказа (случайная величина).

В технической литературе эту функцию называют функцией надежности.

Аналогично можно определить вероятность безаварийной работы, рассматривая происшествие как отказ из-за перехода объекта в предельное состояние (устанавливаемого из соображений безопасности), а наработку (или время) от начального момента до достижения предельного состояния – как ресурс  $T$  (или срок службы)

$$S(t) = S(T > t). \quad (6)$$

Функцию  $S(t)$  в этом случае называют (по аналогии с функцией надежности) функцией безопасности.

В более общем случае, когда состояние объекта характеризуется набором параметров, функция безопасности  $S(t)$  определяется вероятностью случайного

события, состоящего в том, что на отрезке времени  $[0, t]$  ни разу не возникнет особая ситуация, вызванная отказом и приводящая к происшествию.

Функция безопасности  $S(t)$  связана с функцией распределения  $H(t)$  и плотностью распределения  $h(t)$  случайной величины  $T$  соотношениями:

$$\begin{aligned} H(t) &= 1 - S(t), \\ h(t) &= \frac{dH(t)}{dt} = -\frac{dS(t)}{dt}. \end{aligned} \quad (7)$$

Дополнение функции безопасности  $S(t)$  до единицы (то есть функция распределения случайной величины  $T$  в теории вероятностей)

$$1 - S(t) = H(t) \quad (8)$$

в теории безопасности и риска называется функцией риска, или техническим риском.

Эту функцию особенно удобно использовать применительно к отказам или совокупностям отказов, последствия которых представляют опасность для людей, окружающей среды, а также связаны с серьезным материальным и (или) моральным ущербом.

Статистическую оценку  $\tilde{h}(t)$  для плотности распределения  $h(t)$  случайной величины  $T$  принимают в виде [8]:

$$\tilde{h}(t) = \frac{n(t + \Delta t / 2) - (t - \Delta t / 2)}{N \Delta t}, \quad (9)$$

где  $N$  – число объектов, работоспособных в начальный момент;  $n(t + \Delta t / 2)$  – число объектов, переходящих в предельные состояния на отрезке от 0 до  $t + \Delta t / 2$ ;  $n(t - \Delta t / 2)$  – число объектов, переходящих в предельные состояния на отрезке от 0 до  $t - \Delta t / 2$ .

Интенсивность технического риска  $\lambda(t)$  (аналог интенсивности отказов в теории надежности) определяют по формуле:

$$\lambda(t) = \frac{h(t)}{[1 - H(t)]} = -\frac{S'(t)}{S(t)}. \quad (10)$$

Этот параметр является важной характеристикой в теории безопасности, так как он определяет вероятность того, что после безотказной работы до момента  $t$  происшествие произойдет в последующем отрезке времени  $\Delta t$ .

Интенсивность технического риска  $\lambda(t)$  и его приближенные статистические оценки широко используются при анализе безопасности и риска объектов в процессе эксплуатации.

Статистическую оценку для интенсивности технического риска принимают в виде [18–20]:

$$\lambda(t) = \frac{n(t + \Delta t / 2) - (t - \Delta t / 2)}{[N - n(t)] \cdot \Delta t}. \quad (11)$$

Практически для оценки интенсивности риска  $\lambda(t)$  используют приближенные оценки исходя из того, что для высоконадежных систем  $S(t) \approx 1$ . Поэтому интенсивность риска приближенно равна плотности распределения ресурса, что приводит к следующим приближенным оценкам:

$$\lambda(t) \approx \tilde{h}(t) \approx h(t) = v(t). \quad (12)$$

Технический риск определяется степенью организации производства, проведением превентивных мероприятий (регулярной профилактики оборудования, мер безопасности), возможностью проведения ремонта оборудования. Данный риск относится к группе внутренних рисков, поскольку предприниматель может оказывать непосредственное влияние на него, и, как правило, технический риск зависит непосредственно от деятельности организации и ответственности при работе персонала.

#### Риски социальной подсистемы

Социальный риск – это вероятность наступления неблагоприятных событий (увольнение, гибель, ранение и т.д.), влияющих на качество жизни людей или группы людей, по возможности минимизируемых при условии реализации социальной ответственности гражданского общества [22].

Социальный риск характеризует масштабы и тяжесть негативных последствий чрезвычайных ситуаций, а также различного рода явлений и преобразований, снижающих качество жизни людей. Оценка социального риска  $I$  производится по результатам факторного анализа и метода парных сравнений [23]. Эта оценка состоит из взвешенной совокупности факторов, ведущих к возникновению социального риска. Для этого значение каждого из факторов умножается на соответствующий ему вес, а результаты складываются [23]:

$$I = \omega_1 \cdot f_1 + \omega_2 \cdot f_2 + \dots + \omega_n \cdot f_n, \quad (13)$$

где  $f_n$  – собственное значение  $i$ -го фактора;  $\omega_n$  – вес  $i$ -го фактора.

Данная методика расчета производит учет и оценку социальных рисков в субъектах сети, что позволяет оптимизировать кадровые издержки при стратегическом планировании на предприятии, улучшить микроклимат в коллективе, а также избежать неблагоприятных ситуаций при социальном взаимодействии.

### **Риски организационной (управленческой) системы**

Сетевая организационная структура – это сложный многофункциональный живой организм, и эффективность ее работы зависит от многих факторов. Однако одним из основополагающих факторов является качественное управление предприятием, адаптированное к современным условиям взаимодействия. Качественное управление, в свою очередь, формируется из принятых менеджментом рациональных управленческих решений.

Принимаемые управленческие решения всегда спроектированы на будущее, поэтому менеджер, принимающий решение, не может с абсолютной уверенностью знать, как будут развиваться события, как будет развиваться ситуация, то есть в момент принятия решения значителен элемент неопределенности и риска.

Управленческие риски составляют часть общих рисков компании. Они представляют собой набор желательных или нежелательных ситуаций, вызванных управленческими решениями, которые могут возникнуть либо при реализации решений, либо спустя некоторое время. К оценке благоприятного исхода рискованного решения, безусловно, проявляется меньший интерес, нежели чем к оценке неблагоприятного результата принятого решения.

Величина среднего риска управленческого решения определяется базовой формулой [21]:

$$R = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m g_{ij}(V) P_j P_i(j, z_j) X_i, \quad (14)$$

где  $P_i$  – вероятность получения ущерба в результате наступления неблагоприятного события  $i$ -го типа;  $P_j$  – вероятность наступления неблагоприятного события  $j$ -го типа;  $X_i$  – величина ущерба;  $R$  – количественная мера риска;  $n$  – число возможных вариантов ущерба при наступлении любого неблагоприятного события;  $g_{ij}(V)$  – вероятность выбора объектом ситуации с вероятностью наступления неблагоприятного события  $P_j$  и законом распределения ущерба  $P_i(j, z_j)$ , зависящим от принятых защитных мер  $z_i$ .

Умение идти на риск является неотъемлемым качеством современного управленца. При принятии решения менеджер руководствуется не только профессиональной интуицией – главенствующую роль занимают количественные показатели общей эффективности субъектов права сети. Только после того как произойдет оценка рисков экономической системы, рисков технико-технологического процесса, а также рисков социальной составляющей, управленец может принять требуемое решение, но оно тоже несет в себе риск. Представленная математическая модель позволяет оперативно совершить оценку рисков при принятии менеджером управленческого решения, и позволяет произвести коррекцию принятого

решения, в сторону благополучного исхода сложившейся ситуации.

Сетевая организационная структура является многоэлементным симбиозом профессиональной деятельности. И, конечно же, оценка рисков ее функционирования – это крайне актуальная тема научных исследований. Особый интерес исследования представляет оценка рисков в сетевых структурах, сформированных вокруг крупной компании. Анализируя риски в сетях, говорить о рисках всей структуры не приходится. В сети как в организационно-экономическом образовании полученный результат усредняется, принятые решения о дальнейшем развитии не приносят желаемого результата. Учитывая эту особенность, нужно отдельно оценивать риски как интегратора, так и риски хозяйствующих субъектов. Также при оценке рисков интегратора и хозяйствующих субъектов стоит разделить элементы взаимодействия на подсистемы или системы более низкого уровня, что и было сделано в представленной статье, во избежание усредненных некорректных значений.

Как было сказано ранее, каждый субъект права сетевой структуры может работать как внутри структуры, так и на свободный рынок. Поэтому субъекты сталкиваются с тремя видами рисков, а именно, с внешними рисками (при работе на рынок) –  $R_v$ , внутренними рисками (риски производственно-хозяйственной деятельности субъекта права) –  $R_v$  и рисками при непосредственном взаимодействии интегратора с субъектами сети –  $R_s$  (рис.). Тогда:

$$\begin{aligned} R_r &= F(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n); \\ R_v &= F(y_1, y_2, y_3, \dots, y_n); \\ R_s &= F(z_1, z_2, z_3, \dots, z_n), \end{aligned} \quad (15)$$

где  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n, y_1, y_2, y_3, \dots, y_n, z_1, z_2, z_3, \dots, z_n$  – расчетные значения оценочных показателей.

В результате выполненного анализа можно констатировать: для интегратора

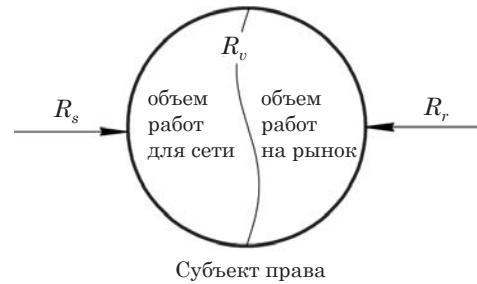


Схема классификации рисков в субъектах сети

сети важны качественная оценка рисков, вызванных управленческим воздействием на хозяйствующих субъектах, а также оценка рисков поведения субъекта права при взаимодействии с рынком.

Для элементов сети важно определить внутрисубъектные риски и правила игры на свободном рынке. При заключении рискованных рыночных контрактов ради получения большей прибыли появляется высокая вероятность невыполнения существующих обязательств по текущим сетевым соглашениям. Этот факт вынуждает интегратора отказаться от совместной работы с субъектом права, лишая его возможности стабильного и надежного заработка в сети.

Работая в условиях рыночной конъюнктуры, сетевые структуры лишены возможности безрискового сотрудничества. При настройке прочности и устойчивости сети оптимизируется работ в целом структуры и минимизируются риски, но не их исключение. Этот факт еще раз подчеркивает важность оценки неблагоприятного исхода событий в сетевом дизайне.

Рассмотренные в статье методы оценки рисков позволяют в дальнейшем моделировать ситуации взаимоотношений интегратора с хозяйствующими субъектами, основанные на возникновении рисков как у интегратора при взаимодействии с элементами сети, так и у элементов сети.

В сетевой организационной структуре представляется необходимым разде-



лить риски интегратора и риски субъектов хозяйствования. Произведенное дифференцирование позволяет определить два интегральных показателя рискованности, а именно, интегральный показатель рискованности интегратора и такой же показатель, но только рассчитанный для элементов сети.

### Литература

1. Неклесса А. И. Глобализация, геоэкономика и сетевая культура // *Философия хозяйства*. 2002. № 4. С. 57–78.
2. Патюрель Р. Создание сетевых организационных структур // *Проблемы теории и практики управления*. 1997. № 3. С. 76–81.
3. Сай В. М. Формирование организационных структур управления : научная монография. – М. : ВИНТИ РАН, 2002. – 437 с. ISBN 5-94614-030-2.
4. Владимирова И. Г. Компании будущего: организационный аспект // *Менеджмент в России и за рубежом*. 1999, № 2. – С. 58–72.
5. Громов И. Д., Сай В. М. Моделирование взаимоотношений хозяйствующих субъектов элементарной организационной сети с разделенными интересами // *Современные проблемы транспортного комплекса России*. 2013. № 3. С. 199–208. ISSN 2222-9396.
6. Антропов В. А., Громов И. Д. Организационные показатели взаимодействия хозяйствующих субъектов промышленности в сети с разделенными интересами // *Вестник УрГУПС*. 2015. № 1. С. 29–37. ISSN 2079-0392.
7. Громов И. Д. Формализация и настройка организационных сетей с разделенными интересами // *Вестник РГУПС*, 2015. № 2 (58). С. 80–89. ISSN 0201-727X.
8. Громов И. Д., Чернушевич Т. К. Оценка рисков в деятельности сетевых организационных структур // *Вестник УрГУПС*. 2015. № 2 (26). С. 83–89. ISSN 2079-0392.
9. Сулейманова Д. А., Ахмедова Л. А. Комплексная оценка и анализ финансово-хозяйственной деятельности предприятия // *Проблемы современной экономики*. 2010. № 4 (36). С. 127–130. ISSN 1818-3395.
10. Балтин В. Э., Скобелева Е. В. Оценка эффекта синергии создания и функционирования холдинга // *Вестник ОГУ*. 2006. № 8. ISSN 1814-6457.
11. Бланк И. А. Управления финансовыми рисками. – Киев : Ника-Центр, 2005. – 600 с. ISBN 978-5-370-01821-3.
12. Есипов В. Е., Маховикова Г. А., Мирзажанов С. К. Риски в оценке: теория, методы измерения : учебное пособие. – СПб : Изд-во СПбГУЭФ, 2008. – 136 с. ISBN 978-5-406-01877-4.
13. Найт Ф. Х. Риск, неопределенность и прибыль / пер. с англ. – М. : Дело, 2003.
14. RiskMetrics, J.P.Morgan/Reuters. RiskMetrics – Technical Document. URL: <http://www.jpmorgan.com/RiskManagement/RiskMetrics/RiskMetrics.html> (дата обращения: 22.03.2016).
15. Парамонова А. В., Левина И. З. Учет рисков предприятия в региональной отраслевой экономической системе // *Современные научные исследования и инновации*. 2014. № 8 [Электронный ресурс]. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2014/08/36716> (дата обращения: 09.03.2016).
16. Абалкин Л. И. Экономическая безопасность России // *Вестник РАН*. 1997. Т. 67. № 9. С. 771–776.
17. Мартынюк В. Ф., Лисанов М. В., Кловач Е. В., Сидоров В. И. Анализ риска и его нормативное обеспечение // *Безопасность труда в промышленности*. 1995. № 11. С. 55–62.
18. Лапин В. Л., Рыжков Ф. Н., Попов В. М., Томаков В. И. Безопасное взаимодействие человека с техническими системами. Курск, 1995. 238 с.
19. Голубков Е. П. Использование системного анализа в отраслевом планировании. М. : Экономика, 1977. 135 с.
20. Быков А. Л., Мурзин Н. В. Проблемы анализа безопасности человека, общества, природы. – СПб : «Наука», 1997.
21. Евланов Л. Г. Теория и практика принятия решений. М. : Экономика, 1984. 176 с.
22. Шарков Ф. И. Основы региональной социальной политики. М. : Изд-во АТиСО, 2000.
23. Кашник О. И. Социальная безопасность организаций: теоретико-прикладные аспекты / О. И. Кашник, Е. Г. Тимофеева // *Развитие системы управления персоналом в современных организациях : сб. ст.* – Екатеринбург, 2009. ISSN 1812-7320.



## References

1. Neklessa A.I. Globalizatsiya, geoekonomika i setevaya kultura [Globalization, Economics and Network Culture] // *Filosofiya khozyaystva*. 2002. № 4. S. 57–78.
2. Patyurel R. Sozdaniye setevykh organizatsionnykh struktur [Creation of organisational network structures] // *Problemy teorii i praktiki upravleniya*. 1997. № 3. S. 76–81.
3. Say V.M. Formirovaniye organizatsionnykh struktur upravleniya: nauchnaya monografiya [Formation of organizational management structures: Scientific monograph]. – M. : VINITI RAN, 2002. – 437 s. ISBN 5-94614-030-2.
4. Vladimirova I.G. Kompanii budushchego: organizatsionny aspekt [Companies of the Future: organisational aspect] // *Menedzhment v Rossii i za rubezhom*. 1999, № 2. – S. 58–72.
5. Gromov I.D., Say V.M. Modelirovaniye vzaimootnosheny khozyaystvuyushchikh subyektov elementarnoy organizatsionnoy seti s razdelennymi interesami [Modelling of Relations between Economic Entities of an Organisational Network with Separated Interests] // *Sovremennyye problemy transportnogo kompleksa Rossii*. 2013. № 3. S. 199–208. ISSN 2222-9396.
6. Antropov V.A., Gromov I.D. Organizatsionnye pokazateli vzaimodeystviya khozyaystvuyushchikh subyektov promyshlennosti v seti s razdelennymi interesami [Organisational Factors of Interaction between Economic Industrial Entities in a Network with Separated Interests] // *Vestnik UrGUPS*. 2015. № 1. S. 29–37. ISSN 2079-0392.
7. Gromov I.D. Formalizatsiya i nastroyka organizatsionnykh setey s razdelennymi interesami [Formalisation and Settings of Organisational Networks with Separated Interests] // *Vestnik RGUPS*, 2015. № 2 (58). S. 80–89. ISSN 0201-727X.
8. Gromov I.D., Chernushevich T.K. Otsenka riskov v deyatelnosti setevykh organizatsionnykh struktur [Evaluation of risks in the activity of network organisational structures] // *Vestnik UrGUPS*. 2015. № 2 (26). S. 83–89. ISSN 2079-0392.
9. Suleymanova D.A., Akhmedova L.A. Kompleksnaya otsenka i analiz finansovo-khozyaystvennoy deyatelnosti predpriyatiya [Complex evaluation and analysis of financial and business performance of an enterprise] // *Problemy sovremennoy ekonomiki*. 2010. № 4 (36). S. 127–130. ISSN 1818-3395.
10. Baltin V.E., Skobeleva Ye.V. Otsenka effekta sinergii sozdaniya i funktsionirovaniya kholdinga [Assessment of synergy of creation and functioning of the holding] // *Vestnik OGU*. 2006. № 8. ISSN 1814-6457.
11. Blank I.A. Upravleniya finansovymi riskami [Financial risk management]. – Kiev : Nika-Zentr, 2005. – 600 s. ISBN 978-5-370-01821-3.
12. Yesipov V.Ye., Makhovikova G.A., Mirzazhanov S.K. Riski v otsenke: teoriya, metody izmereniya: uchebnoye posobiye [Risks Assessment: Theory, methods of measurement: training material]. – Spb : Izd-vo SPbGUEF, 2008. – 136 s. ISBN 978-5-406-01877-4.
13. Knight F.H. Risk, Uncertainty, and Profit / translated from English. – M. : Delo, 2003.
14. RiskMetrics, J.P. Morgan/Reuters. RiskMetrics – Technical Document. URL: <http://www.jpmorgan.com/RiskManagement/RiskMetrics/RiskMetrics.html> (date of reference: 22.03.2016).
15. Paramonova A.V., Levina I.Z. Uchyot riskov predpriyatiya v regionalnoy otraslevoy ekonomicheskoy sisteme [Accounting for Enterprise Risks in the Regional Sectoral Economic System] // *Sovremennyye nauchnye issledovaniya i innovatsii*. 2014. № 8 [Electronic source]. URL:<http://web.snauka.ru/issues/2014/08/36716> (date of reference: 09.03.2016).
16. Abalkin L.I. Ekonomicheskaya bezopasnost Rossii [Russia's Economic Security] // *Vestnik RAN*. 1997. T. 67. № 9. S. 771–776.
17. Martynyuk V.F., Lisanov M.V., Klovach Ye.V., Sidorov V.I. Analiz riska i yego normativnoye obespecheniye [Analysis of risk and its regulatory support] // *Bezopasnost truda v promyshlennosti*. 1995. № 11. S. 55–62.
18. Lapin V.L., Ryzhkov F.N., Popov V.M., Tomakov V.I. Bezopasnoye vzaimodeystvie cheloveka s tekhnicheskimi sistemami [Safe Interaction of a Human with Engineering Systems]. Kursk, 1995. 238 s.
19. Golubkov Ye.P. Ispolzovaniye sistemnogo analiza v otraslevom planirovanii [Use of System Analysis in Sectoral Planning]. M. : Ekonomika, 1977. 135 s.
20. Bykov A.L., Murzin N.V. Problemy analiza bezopasnosti cheloveka, obshchestva, prirody [Problems of Analysis of Human, Public, and Environmental Safety]. – Spb : Nauka, 1997.

21. Yevlanov L.G. Teoriya i praktika prinyatiya resheny [Theory and Practice of Decision Making]. M. : Ekonomika, 1984. 176 s.
22. Sharkov F.I. Osnovy regionalnoy sotsialnoy politiki [Basics of Regional Social Policy]. M. : Izd-vo ATiSO, 2000.
23. Kashnik O.I. Sotsialnaya bezopasnost organizatsy: teoretiko-prikladnye aspekty [Social Security of Organisations: Theoretical and Practical Aspects] / O.I. Kashnik, Ye.G. Timofeyeva // Razvitiye sistemy upravleniya personalom v sovremennykh organizatsiyakh: sb. st. – Ekaterinburg, 2009. ISSN 1812-7320.

*Статья сдана в редакцию 19 апреля 2016 года*

УДК 621.315.23:621.315.98

*В.В. Полянов*

## Методика моделирования электромагнитной совместимости на участках тяжеловесного движения поездов

UDC 621.315.23:621.315.98

*V.V. Polyakov*

## Method for simulating of electromagnetic compatibility on heavy-weight railway traffic sections

### Аннотация

С возрастанием объемов перевозок на железнодорожном транспорте увеличиваются нагрузки на инфраструктуру электроснабжения, что приводит к росту уровней электромагнитных излучений. За счёт этого возрастает вероятность аварийного режима функционирования контактной сети, вследствие которого токи достигают очень высоких величин и могут привести к серьезным авариям в смежных цепях хозяйств автоматики и телемеханики и связи. Такие аварии нередко становятся причиной различных отказов, влияющих на качество и безопасность перевозочного процесса, приводят к порче аппаратуры и могут служить причиной возгораний. Поэтому ужесточаются требования по обеспечению электромагнитной совместимости объектов инфраструктуры, в том числе по соблюдению требований по надежности и информационной безопасности систем связи и СЦБ. Существующие методики определения наведенных токов и напряжений не учитывают нагрузок, возникающих при современных объемах движения. Поэтому актуальной является задача моделирования электромагнитных процессов в многопроводных системах. Но математические модели электромагнитной совместимости на железнодорожном транспорте в силу своей сложности не всегда позволяют получить численные значения наведенных токов и напряжений в цепях связи и СЦБ. В статье предложена методика, включающая в себя математическую и имитационную модели и позволяющая вычислить распределение токов и напряжений вдоль линейных сооружений железнодорожного транспорта в зависимости от количества линий в системе и нагрузке тяговой сети. Результаты моделирования сопоставлены с данными эксперимента.

**Ключевые слова:** электромагнитная совместимость, тяжеловесное движение поездов, наведенные токи, наведенные напряжения.

DOI:10.20291/2079-0392-2016-2-119-127

### Summary

With increasing volumes of railway traffic the load on power supply infrastructure grows, which leads to increased levels of electromagnetic radiation. This causes increasing likelihood of an emergency mode of contact line operation, which causes currents to reach extremely high values and may lead to serious accidents in the adjacent circuits of automation and remote control, and communication infrastructure. Such accidents are often the cause of various failures, affecting the quality and safety of the transportation process, leading to deterioration of equipment, and may cause fires. Therefore, stricter requirements for ensuring electromagnetic compatibility of infrastructural objects are introduced, including compliance with the requirements for reliability and information security of communication systems, signals and interlocking. Existing methods for evaluating induced currents and voltages do not account for loads resulting from modern traffic volumes. Therefore, the problem of simulation of electromagnetic processes in multi-wire systems appears urgent. However mathematical models of electromagnetic compatibility of railway transport due to their complexity do not always make it possible to obtain the numerical values of induced currents and voltages in the communication and signalling circuits. The article proposes a method that includes mathematical and simulation models and allows to calculate distribution of currents and voltages along linear structures of railway transport, depending on the number of lines in the system and load of traction network. The results of simulation are compared with the experimental data.

**Keywords:** electromagnetic compatibility, heavy-weight railway traffic, induced currents, induced voltages.

DOI:10.20291/2079-0392-2016-2-119-127

Валерий Валерьевич Полянов, аспирант; кафедра «Инфокоммуникационные системы и информационная безопасность» Омского государственного университета путей сообщения; Омск, Россия. E-mail: PolyakovVV@mail.ru.

Valery Valeryevich Polyakov, PhD student; Infocommunicational Systems and Information Security, Omsk State University of Railway Transport; Omsk, Russia. E-mail: PolyakovVV@mail.ru.

Для повышения эффективности перевозочного процесса и обеспечения требуемого грузооборота применяются различные конфигурации тяжёловесных поездов. В этих условиях возрастает не только механическая нагрузка на сооружения инфраструктуры, но и электромагнитная: повышенные токи в контактной сети и рельсовых цепях, предельные нагрузки на тяговых подстанциях, уровни наведенных токов и напряжений в линиях и аппаратуре автоматики и связи. Это не учтено в существующих методиках защиты от наведенных напряжений и нормативных документах, которые разрабатывались без учета особенностей вождения тяжёловесных поездов и предельных режимов работы. В действующих нормативных документах [1–3] не рассматривается специфика функционирования линий связи и СЦБ в условиях предельных тяговых нагрузок. Поэтому определение наведенных токов и напряжений и обеспечение электромагнитной совместимости линейных сооружений автоматики и связи на участках тяжёловесного движения крайне актуально.

### Математическое моделирование

Математической моделью, описывающей процесс распространения токов и напряжений, вызванных магнитным влиянием контактной сети, в каждой линии является система дифференциальных уравнений, порядок которой зависит от числа линий, входящих в единую электромагнитную систему [4]:

$$\begin{cases} -\frac{dU_K}{dx} = (R_K + j\omega L_K) \cdot I_K + \\ + \sum_{i=1}^n I_i \cdot j\omega M_{iK} - j\omega M_{K-кк} \cdot I_{кк} \cdot e^{-\gamma x}, \\ -\frac{dI_K}{dx} = (G_K + j\omega C_K) \cdot U_K + \\ + \sum_{i=1}^n (G_{iK} + j\omega C_{iK})(U_i - U_K), \end{cases}$$

где  $R_K, L_K, G_K, C_K$  – собственные параметры  $k$ -го провода;  $M_{iK}, G_{iK}, C_{iK}$  – взаимные

параметры между  $i$ -м и  $k$ -м проводами системы, рассчитанные в спектре частот;  $M_{K-кк}$  – взаимная индуктивность между  $k$ -м проводом и контактной сетью;  $U_K, I_K, U_i, I_i$  – токи и напряжения в  $i$ -м и  $k$ -м проводах системы;  $I_{кк}$  – ток контактной сети.

Электромагнитная система железнодорожной инфраструктуры, состоящая из четырех проводов, описывается системой из шести уравнений:

$$\begin{cases} -\frac{dU_1}{dx} = (R_1 + j\omega L_1) \cdot I_1 + j\omega M_{12} \cdot I_2 + \\ + j\omega M_{13} \cdot I_3 - j\omega M_{1-кк} \cdot I_{кк} \cdot e^{-\gamma x}, \\ -\frac{dI_1}{dx} = (G_1 + j\omega C_1) \cdot U_1 + \\ + (G_{12} + j\omega C_{12})(U_1 - U_2) + \\ + (G_{13} + j\omega C_{13})(U_1 - U_3), \\ -\frac{dU_2}{dx} = (R_2 + j\omega L_2) \cdot I_2 + j\omega M_{12} \cdot I_1 + \\ + j\omega M_{23} \cdot I_3 - j\omega M_{2-кк} \cdot I_{кк} \cdot e^{-\gamma x}, \\ -\frac{dI_2}{dx} = (G_2 + j\omega C_2) \cdot U_2 + \\ + (G_{12} + j\omega C_{12})(U_2 - U_1) + \\ + (G_{23} + j\omega C_{23})(U_2 - U_3), \\ -\frac{dU_3}{dx} = (R_3 + j\omega L_3) \cdot I_3 + j\omega M_{13} \cdot I_1 + \\ + j\omega M_{23} \cdot I_2 - j\omega M_{3-кк} \cdot I_{кк} \cdot e^{-\gamma x}, \\ -\frac{dI_3}{dx} = G_3 \cdot U_3 + (G_{13} + j\omega C_{13})(U_3 - U_1) + \\ + (G_{23} + j\omega C_{23})(U_3 - U_2). \end{cases} \quad (1)$$

Параметры с индексом «1» относятся к жиле кабеля, «2» – к оболочке, «3» – к рельсу, а индекс «кк» – к контактному проводу.

Решение данной системы аналитически (методом подстановки) связано с вычислительными трудностями и не представляется возможным, поэтому целесообразно рассматривать решение в прикладной программной среде MathCAD. Анализ методов решения систем неоднородных дифференциальных уравнений в программной среде показал, что оптимальным способом является применение преобразования Лапласа,

т.к. позволяет оперировать с функциями комплексных переменных.

Методика численного моделирования процесса распространения токов и напряжений вдоль многопроводной линии описана на рис. 1.

Преобразование Лапласа для левых и правых частей системы неоднородных дифференциальных уравнений запишется в виде системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ):

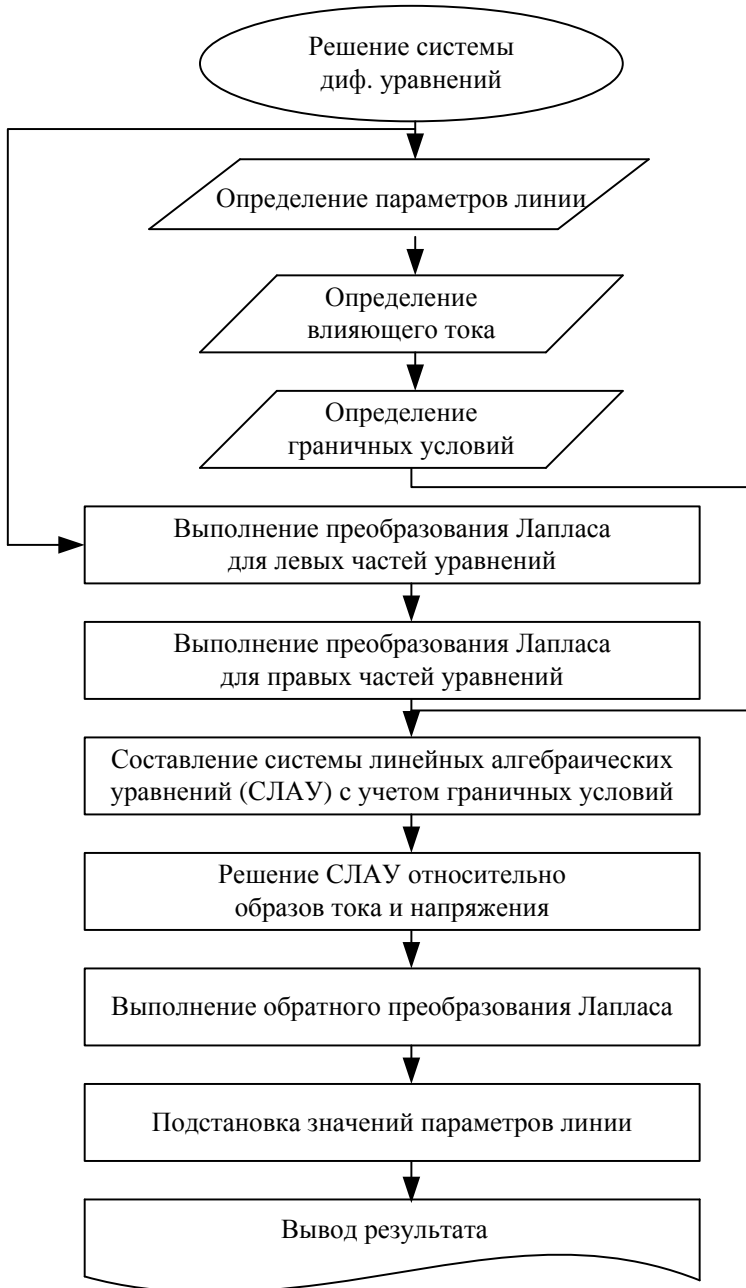


Рис. 1. Блок-схема численного моделирования

$$\begin{cases}
-s \cdot U_1 + U_{1H} = (R_1 + j\omega L_1) \cdot I_1 + \\
+ j\omega M_{12} \cdot I_2 + j\omega M_{13} \cdot I_3 - j\omega M_{1-кк} \cdot \frac{I_{кк}}{s}, \\
-s \cdot I_1 + I_{1H} = (G_1 + j\omega C_1) \cdot U_1 + \\
+ (G_{12} + j\omega C_{12})(U_1 - U_2) + (G_{13} + j\omega C_{13})(U_1 - U_3), \\
-s \cdot U_2 + U_{2H} = (R_2 + j\omega L_2) \cdot I_2 + \\
+ j\omega M_{12} \cdot I_1 + j\omega M_{23} \cdot I_3 - j\omega M_{2-кк} \cdot \frac{I_{кк}}{s}, \\
-s \cdot I_2 + I_{2H} = (G_2 + j\omega C_2) \cdot U_2 + \\
+ (G_{12} + j\omega C_{12})(U_2 - U_1) + \\
+ (G_{23} + j\omega C_{23})(U_2 - U_3), \\
-s \cdot U_3 + U_{3H} = (R_3 + j\omega L_3) \cdot I_3 + j\omega M_{13} \cdot I_1 + \\
+ j\omega M_{23} \cdot I_2 - j\omega M_{3-кк} \cdot \frac{I_{кк}}{s}, \\
-s \cdot I_3 + I_{3H} = G_3 \cdot U_3 + (G_{13} + j\omega C_{13})(U_3 - U_1) + \\
+ (G_{23} + j\omega C_{23})(U_3 - U_2),
\end{cases}$$

где  $U_I(x,s)$ ,  $I_I(x,s)$  – образы функций тока и напряжения в линии;  $s$  – оператор Лапласа;  $U_H$ ,  $I_H$  – ток и напряжение в начале линии (граничные условия).

Решение данной СЛАУ позволяет получить выражение для изображений тока и напряжения в линии, а обратное преобразование Лапласа – перейти к значениям оригиналов тока и напряжения в зависимости от координаты  $x$  (длины цепи).

Однако при решении системы дифференциальных уравнений высших порядков возникает проблема

определения граничных условий, т.е. токов и напряжений в начале и конце каждой линии. В связи со сложностью электромагнитной системы целесообразно проводить вычисления граничных условий с помощью прикладных пакетов имитационного моделирования.

### Имитационное моделирование

Имитационное моделирование процесса распространения токов и напряжений в линейных сооружениях проведено в программной среде Simulink (Matlab) по схеме (рис. 2).

Моделирование проведено с учетом линейных сооружений инфраструктуры – контактной сети, рельсов, жилы и оболочки магистральной кабельной линии.

В соответствии с требованиями к тяжеловесному движению [5, 6], инфраструктура железнодорожного транспорта должна обеспечивать пропуск пакета из трех тяжеловесных поездов 6300–9000–6300 т с интервалом 10 мин при условии движения поездов графикового веса по соседнему пути. В соответствии с техническими характеристиками локомотивов ВЛ-80, ВЛ-80к (при работе в режиме многих единиц), максимальный ток составляет 110 А для поезда графикового веса, 155 А – для поезда 6300 т, 192 А – для поезда 9000 т [7]. В качестве максимального эквивалентного тока контактной сети принят ток

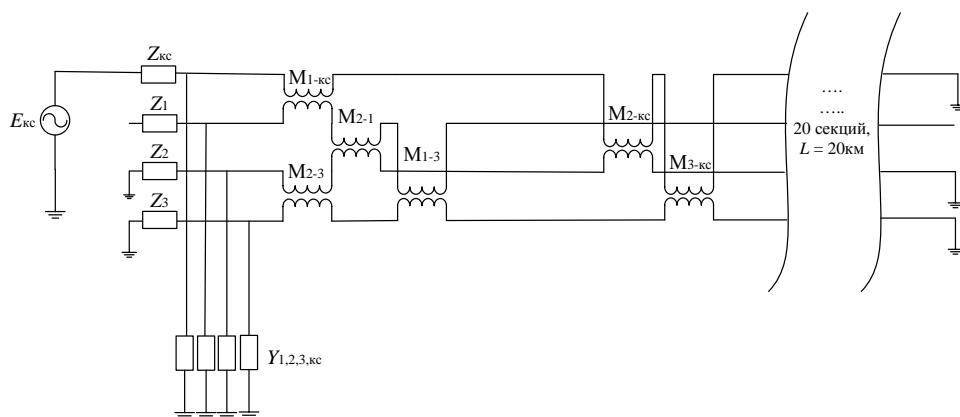


Рис. 2. Схема имитационного моделирования



Таблица 1

Результаты моделирования при движении пакета поездов повышенного веса

Параметр	В начале линии ( $x = 0$ )		В конце линии ( $x = 15,9$ км)	
	по результатам моделирования	по существующей методике	по результатам моделирования	по существующей методике
$U_{ж}, В$	91,4	32,1	-91,4	-32,1
$I_{ж}, А$	0	0	0	0
$U_{об}, В$	0	0	0	0
$I_{об}, А$	5,3	1,7	-5,3	-1,7

пуска всех поездов на участке 932 А. В результате получены значения для токов и напряжений на частоте 50 Гц.

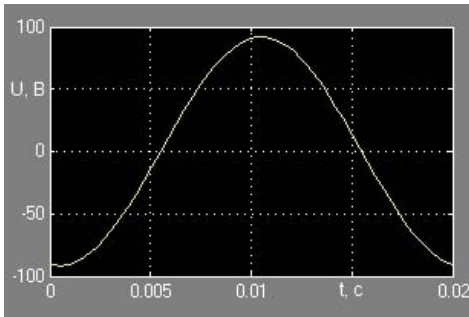
Результаты вычислений токов и напряжений в начале кабельной линии связи приведены в таблице 1.

Вычисления проведены с использованием имитационной модели и по рекомендациям «Правил защиты от влияния электрифицированных железных дорог» [1, 2].

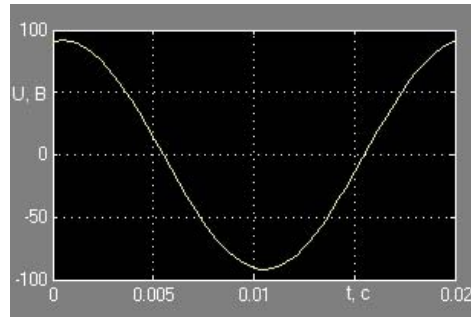
Осциллограммы токов и напряжений на концах жилы и оболочки кабеля при условии тяжеловесного движения поездов приведены на рис. 3.

#### Сравнение результатов с экспериментальными данными

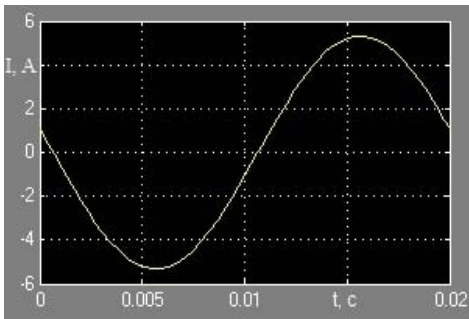
Выполнение экспериментальных исследований в лабораторных условиях связано с большими погрешностями, поскольку не позволяет учесть все



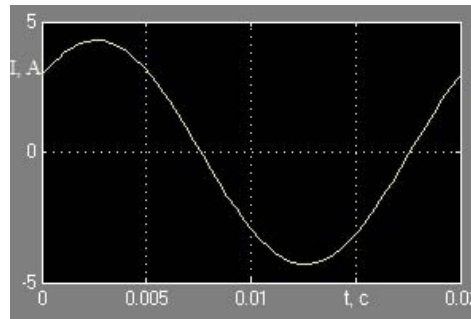
а)



б)



в)



г)

Рис. 3. Осциллограммы токов и напряжений при движении пакета тяжеловесных поездов  
 а – напряжение жилы в начале линии  $U_{ж-н}$ ; б – напряжение жилы в конце линии  $U_{ж-к}$ ;  
 в – ток оболочки в начале линии  $I_{ж-н}$ ; г – ток оболочки в конце линии  $I_{ж-к}$

особенности инфраструктуры, величины и спектральный состав токов и напряжений, а также точно повторить конфигурацию линейных сооружений. Поэтому эксперимент проведен в условиях эксплуатации железнодорожного транспорта.

Для получения достоверных результатов эксперимента в условиях эксплуатации обеспечено синхронное измерение влияющего тока в контактной сети и наведенного напряжения в кабеле.

Для фиксации и соотношения величин с учетом интенсивности движения и поездной обстановки измерения проводились в периоды прохождения поездов графического веса и длины (весом 2 тыс. т); тяжеловесного поезда (8 тыс. т); пакета тяжеловесных поездов (6,8,9 тыс. т).

Измерения проведены на участке тяжеловесного движения, электрифицированном переменным током с двухсторонним питанием контактной сети с применением на фидерах № 1 и № 2 цифрового устройства релейной защиты. Контактная подвеска выполнена с применением проводов марок ПБСМ-70 + МФ-100. Вдоль перегона проложен магистральный кабель № 1 – МКБАБ 7×4×1,2, металлопокрыты которого заземлены на вводах в дома связи «И» и «Ч» в соответствии со схемой

измерения. При прохождении поездов проводились синхронные измерения наведенных потенциалов в изолированной жиле и токов на тяговой подстанции. Документированные результаты измерений токов на тяговой подстанции выгружены в виде файла с интервалом 1 с.

Результаты эксперимента приведены в таблице 2.

При прохождении пакета тяжеловесных поездов на участке потенциалы в жиле кабеля на ст. «И» достигали 55 В при влияющем токе от фидера №2 – 475 А. При расчете по предложенной методике напряжение «жила-земля» составило 43,2 В при аналогичном токе в контактной сети (475 А). Таким образом, эксперимент с погрешностью 9,5 % подтверждает результаты математического и имитационного моделирования.

Погрешность вызвана наличием в контактной сети высших гармонических и нестационарных составляющих, которые не были учтены при моделировании (моделирование проведено на частоте 50 Гц). Наличие в контактной сети процессов, отличных от 50 Гц, подтверждают осциллограммы напряжения в жиле, зафиксированные в момент прохождения тяжеловесных поездов (рис. 4).

Таблица 2

Результаты эксперимента

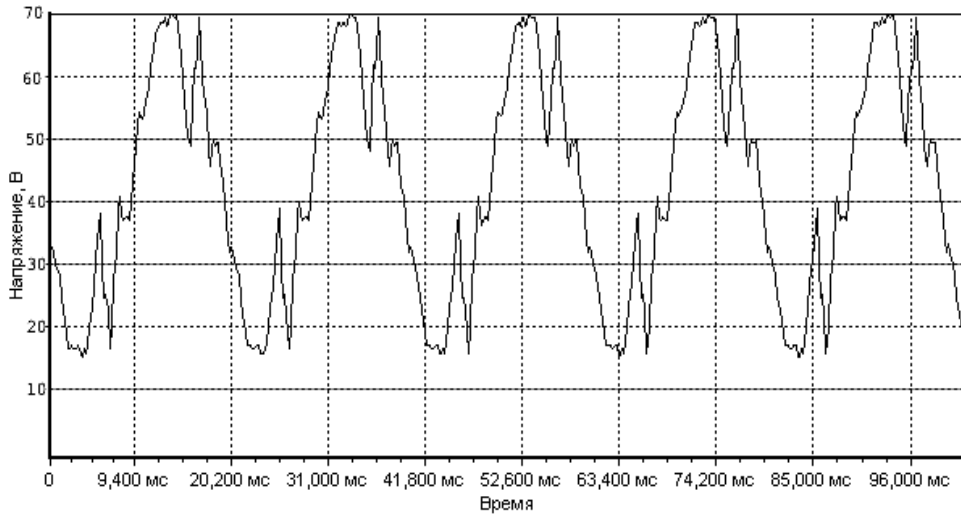
№	$I_{\text{тп}}$ «И»	$I_{\text{ф1}}$ (от В)	$I_{\text{ф2}}$ (от И)	Поездная обстановка	$U_{\text{ж-з}}$	
					эксперимент	предложенная методика
1	450	204	151	2000 т – 3 шт., 6300 т – 1 шт.	4,3	4,1
2	250	53	52	2000 т – 3 шт.	1,6	1,5
3	250	51	55	2000 т – 4 шт.	2,2	2,1
4	270	318	41	2000т – 2 шт., 9000 т – 1 шт.	4,6	4,3
5	435	434	111	2000 т – 1 шт., 9000 т – 2 шт.	11	10,3
6	750	296	456	2000 т – 1 шт., 6300 т – 2 шт., 9000 т – 2 шт.	52	47,6
7	930	411	475	2000 т – 1 шт., 6300 т – 2 шт., 9000 т – 2 шт., 8000 т – 1 шт.	55	49,8
8	890	370	464	2000 т – 1 шт., 6300 т – 3 шт., 9000 т – 1 шт., 8000 т – 1 шт.	52	47,2

Из рис. 4, а видно, что помимо основной частоты наведенного напряжения присутствуют фронты длительностью 2–3 мс, амплитудой 20 В, а также кратковременные процессы (0,2–0,3 мс) низкого уровня (0,1–0,3 В).

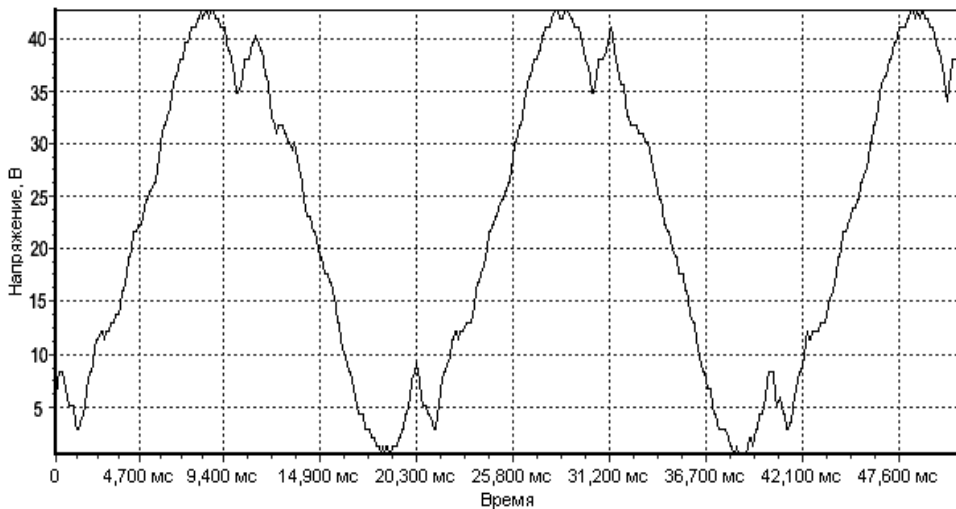
На рис. 4, б представлена осциллограмма, на которой помимо 50 Гц также выделяются другие гармоники и нестационарные процессы длительностью до 2 мс и амплитудой до 5 В.

Обе осциллограммы сняты при прохождении поездов повышенного веса, но имеют различный спектральный состав; причиной этому является различные условия работы двигателей электровозов (режимы старта, тяги, торможения).

Предложенная методика определения токов и напряжений, индуктированных контактной сетью в продольных линиях, позволяет учитывать особенности железнодорожной инфраструктуры:



а)



б)

Рис. 4. Осциллограммы напряжения «жила-земля» при движении тяжеловесного состава

количество линий, тяговые нагрузки, электромагнитные характеристики. В результате вычислений получены результаты более точные, чем по существующей методике, – отклонение от экспериментальных значений менее 10 %. Такие значения получены благодаря применению математического и имитационного моделирования в рамках одной методики.

### Литература

1. Репнева В.П. Правила защиты устройств проводной связи и проводного вещания от влияния тяговой сети электрифицированных железных дорог переменного тока. М. : Транспорт, 1989. 134 с.
2. Попов Д.А. Защита кабелей технологической связи ОАО «РЖД» от воздействия атмосферных, коммутационных перенапряжений и влияния тяговой сети электрифицированных железных дорог. СПб : Гипротрансигнальсвязь, 2010. 94 с.
3. Репнева В.П. Правила защиты устройств проводной связи от влияния тяговой сети электрических железных дорог постоянного тока. М. : Транспорт, 1969. 43 с.
4. Математическая модель влияния импульсного электромагнитного поля на систему линейных сооружений железнодорожного транспорта : проблемы защиты систем передачи информации от электромагнитных влияний на железнодорожном транспорте : межвуз. темат. сб. науч. тр. / Омский гос. ун-т путей сообщ. ; под ред. В. Е. Митрохина. Омск : ОмГУПС, 1995. 54 с.
5. Морозов В.Н. Инструкция по организации обращения грузовых поездов повышенной массы и длины на железнодорожных путях общего пользования. М. : РЖД, 2012. 64 с.
6. Морозов В.Н. Инфраструктура железнодорожного транспорта на участках обращения грузовых поездов повышенного веса и длины. Технические требования. М. : РЖД, 2010. 37 с.
7. Васьюк Н.М., Козельский Н.П. Электровоз ВЛ80С : руководство по эксплуатации. М. : Транспорт, 1982. 622 с.

### References

1. Repneva V.P. Pravila zashchity ustroystv provodnoy svyazi i provodnogo veshchaniya ot vliyaniya tyagovoy seti elektrifitsirovannykh zheleznykh dorog peremennogo toka [Rules for protection of wire communication and wire broadcasting devices against the influence of traction network of electrified alternating current railways]. M. : Transport, 1989. 134 s.
2. Popov D.A. Zashchita kabeley tekhnologicheskoy svyazi ОАО «RZhD» ot vozdeystviya atmosferynykh, kommutatsionnykh perenapryazheny i vliyaniya tyagovoy seti elektrifitsirovannykh zheleznykh dorog [Protection of Russian Railways JSC technological communication cables against weather, switching surges and impact of traction network of electrified railways]. SPb : Giprottranssignalsvyaz, 2010. 94 s.
3. Repneva V.P. Pravila zashchity ustroystv provodnoy svyazi ot vliyaniya tyagovoy seti elektricheskikh zheleznykh dorog postoyannogo toka [Rules for protection of wire communication devices against the influence of traction network of alternating current electric railways]. M. : Transport, 1969. 43 s.
4. Matematicheskaya model vliyaniya impulsnogo elektromagnitnogo polya na sistemu lineynykh sooruzheny zheleznodorozhnogo transporta: problemy zashchity sistem peredachi informatsii ot elektromagnitnykh vliyany na zheleznodorozhnom transporte: mezhvuz. temat. sb. nauch. tr. [Mathematical model of the effect of pulsed electromagnetic field on the system of linear structures of railway transport: problem of protecting data transmission systems from electromagnetic influences on railway transport: interuniversity themed collection of scientific works] / Omsky gos. un-t putey soobshch.; pod red. V.Ye. Mitrokhina [Omsk State University of Railway Transport; edited by V.Ye. Mitrokhin]. Omsk : OmGUPS, 1995. 54 s.
5. Morozov V.N. Instruksiya po organizatsii obrashcheniya gruzovykh poyezdov povyshennoy massy i dliny na zheleznodorozhnykh putyakh obshchego polzovaniya [Guidelines on handling freight trains of increased weight and length on public railway tracks]. M. : RZhD, 2012. 64 s.

6. Morozov V. N. Infrastruktura zheleznodorozhnogo transporta na uchastkakh obrashcheniya Грузовых поездов повышенного веса и длины. Tekhnicheskiye trebovaniya [Railway transport infrastructure on heavy and long freight train handling sections. Technical requirements]. М. : RZhD, 2010. 37 s.
7. Vasko N. M., Kozelsky N. P. Elektrovoz VL80S: rukovodstvo po ekspluatatsii [Locomotive VL80S: Operation Manual]. М. : Transport, 1982. 622 s.

*Статья сдана в редакцию 21 марта 2016 года*

## Уважаемые коллеги!

### Информирую вас о требованиях, предъявляемых к оформлению статей.

При наборе используйте Word-2003 или Word-2007; шрифт (по всему тексту, в том числе в рисунках и таблицах) — тип Times, размер шрифта — 14, межстрочное расстояние — 1,5, абзацный отступ — 1,25 (1,27) см, поля — 2 см; расстановка переносов по всему тексту — автоматическая.

Набор формул: простые формулы и сочетания символов ( $x^2 < y^2$ ;  $E = mc^2$ ;  $a^2 + b^2 = c^2$ ;  $Q_{i-1}$ ;  $\psi_j$ ) — только в текстовом режиме, сложные

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

или  $S_i^m$ ) — только в редакторе формул Equation или в MathType.

Написание букв: русские (а, б, в, А, Б, В), греческие (Θ, Σ, Ω, Ψ, α, β, δ, ε, λ, π), а также цифры и функции (1, 2, 3; I, II, III; max, lg, sin и т.п.) пишутся только прямо; латинские (a, b, n, A, B, N и т.д.) — только курсивом. Исключение — курсив во вспомогательном тексте (слова «Таблица» и «Рис.», примечания в рисунках и ссылки в тексте на эти примечания).

Оформление текста: левый верхний край — инициалы, фамилия; заголовков — все буквы ПРОПИСНЫЕ, жирные, расположение — по центру набора; таблиц и рисунков: в таблицах размер шрифта — на полтора-два размера меньше, чем в основном тексте (11,5–12), расположение текста в «шапке» таблицы — по центру, в столбцах — по ширине; межстрочное расстояние — 1; слово «Таблица» — курсивное начертание, в правый край таблицы; название таблицы — начертание нормальное (прямое), расположение — по центру таблицы. В рисунках (графиках, диаграммах): размер подрисуноч-

ной подписи — 14, расположение — по центру набора, слово «Рис.» — курсив, название рисунка — нормальное начертание, описание рисунка (экспликация) — нормальное начертание, условные обозначения — курсивное начертание, их расшифровка — нормальное. Расположение таблиц и рисунков — строго после ссылки на них.

Кроме того, рисунки обязательно прилагаются к материалу (один рисунок — один файл; формат — \*.jpg).

Ссылки на литературу в тексте пишутся в квадратных скобках ([1], [1, 2] или [3–5]); нумерация сквозная. Список литературы/источников оформляется по ГОСТ 7.0.5–2008.

В конце статьи обязательно ставится дата отсыла 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»*



### Уважаемые читатели и авторы журнала «Вестник УрГУПС»!

Если вам нравится наш журнал, вы можете оказать содействие в его развитии, перечислив денежные средства по реквизитам:

Ассоциация выпускников УЭМИИТ-УрГУПС

ИНН-КПП 6670317893/667001001

ОГРН 1156600001470

620075, Свердловская обл., г. Екатеринбург, ул. Шевченко, д. 20, помещение 1

Р/с 40703810863010000192

в ПАО КБ «УБРИР» филиал ССБ

к/с 30101810900000000795

БИК 046577795

**Назначение платежа:** «Пожертвование для поддержки научных журналов УрГУПС».

Ваша финансовая поддержка позволит нам увеличить число публикаций, повысить индексы цитирования журнала и наших авторов.

### Уважаемые руководители инновационных компаний и предприятий!

Предлагаем вам услуги по продвижению вашей продукции через сеть Ассоциации выпускников УЭМИИТ-УрГУПС.

Ассоциация выпускников УЭМИИТ-УрГУПС – это кооперация большого числа неравнодушных людей различных сфер деятельности, окончивших наш университет.

Кроме того, предлагаем услуги по подбору молодых специалистов, по организации поиска решений прикладных и научных задач в рамках диссертационных работ, выполняемых в УрГУПС.

Всю необходимую информацию вы можете получить по тел. (343) 221-24-67

или на сайте <http://www.usurt.ru/vypuschnikam/assotsiatsiya-vypusnikov-urgups>

<b>Извещение</b>	<p><b>Получатель:</b> Ассоциация выпускников УЭМИИТ-УрГУПС</p> <p><b>КПП:</b> 667001001 <b>ИНН:</b> 6670317893</p> <p><b>ОКТМО:</b> 65701000 <b>Р/сч.:</b> 40703810863010000192</p> <p><b>в:</b> ПАО КБ «УБРИР» филиал ССБ</p> <p><b>БИК:</b> 046577795 <b>К/сч.:</b> 30101810900000000795</p> <p><b>Код бюджетной классификации (КБК):</b> _____</p> <p><b>Платеж:</b> Пожертвование для поддержки научных журналов УрГУПС</p> <p><b>Платательщик:</b> _____</p> <p><b>Адрес плательщика:</b> _____</p> <p><b>ИНН плательщика:</b> _____ <b>№ л/сч. плательщика:</b> _____</p> <p><b>Сумма:</b> _____ руб. ____ коп.</p> <p>Подпись: _____ Дата: «____» _____ 2016 г.</p>
<b>Квитанция</b>	<p><b>Получатель:</b> Ассоциация выпускников УЭМИИТ-УрГУПС</p> <p><b>КПП:</b> 667001001 <b>ИНН:</b> 6670317893</p> <p><b>ОКТМО:</b> 65701000 <b>Р/сч.:</b> 40703810863010000192</p> <p><b>в:</b> ПАО КБ «УБРИР» филиал ССБ</p> <p><b>БИК:</b> 046577795 <b>К/сч.:</b> 30101810900000000795</p> <p><b>Код бюджетной классификации (КБК):</b> _____</p> <p><b>Платеж:</b> Пожертвование для поддержки научных журналов УрГУПС</p> <p><b>Платательщик:</b> _____</p> <p><b>Адрес плательщика:</b> _____</p> <p><b>ИНН плательщика:</b> _____ <b>№ л/сч. плательщика:</b> _____</p> <p><b>Сумма:</b> _____ руб. ____ коп.</p> <p>Подпись: _____ Дата: «____» _____ 2016 г.</p>

ф. СП-1



## АБОНЕМЕНТ

на ~~газету~~  
журнал

**70070**

(индекс издания)

### Вестник УргУПС

(наименование издания)

Количество  
комплектов:

на 2017 год по месяцам:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
X	X	X	X	X	X						

**Куда**

(почтовый индекс)

(адрес)

**Кому**

(фамилия, инициалы)

## ДОСТАВОЧНАЯ КАРТОЧКА

на ~~газету~~  
журнал

**70070**

(индекс издания)

### Вестник УргУПС

(наименование издания)

Стои- мость	подписки	руб. ____ коп.	Количество комплектов:	
	переадресовки	руб. ____ коп.		

на 2017 год по месяцам:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
X	X	X	X	X	X						

**Куда**

(почтовый индекс)

(адрес)

**Кому**

(фамилия, инициалы)